

UDK 621.31

ENJAAC 40(1-6) 1-424

ISSN 0013-7448

energija

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Zagreb, prosinac 1991.

SADRŽAJ ENERGIJE U 1991. GODINI

	str. br.		str. br.
<i>Alerić S.</i> : Metoda za izbor broja agregata (proizvodnih grupa) u hidroelektranama	363 6	<i>Maljković Z.</i> : Podsinhrone oscilacije u mreži kao uzrok torzijskog naprezanja rotora turboagregata	7 1
<i>Babić S.</i> : Utjecaj načina modeliranja generatora na rezultate proračuna prijelazne stabilnosti elektroenergetskog sistema	155 3	<i>Markovčić B.</i> : 100 godina trofaznog visokonaponskog prijenosa električne energije	169 3
<i>Baće M.</i> : Visokotemperaturni supravodiči i stupanj korisnog djelovanja magnetskih spremnika energije	315 5	<i>Mikulecky A. — Čabrajac S.</i> : Održavanje energetskih transformatora	389 6
<i>Čaršimamović S.</i> : Proračunavanje prijelaznog prenapona oklopa metalom oklopljenih plinom SF ₆ izoliranih postrojenja (Istraživanje utjecaja na sniženje prenapona) I dio	257 4	<i>Muftić Dž.</i> : Prilog razvoju novih postupaka optimizacije u projektiranju dalekovoda (I. dio)	87 2
<i>Čaršimamović S.</i> : Proračunavanje prijelaznog prenapona oklopa metalom oklopljenih plinom SF ₆ izoliranih postrojenja (Proračunavanje parametara i ograničenja primjene) II dio	341 5	<i>Muftić Dž.</i> : Prilog razvoju novih postupaka optimizacije u projektiranju dalekovoda (II. dio)	175 3
<i>Černohous F.</i> : Mala hidroelektrana Dubrava 2 x 340 kW	323 5	<i>Mužek Z.</i> : Mogućnosti opskrbe gorivom termoelektrana Hrvatske elektroprivrede	295 5
<i>Drezga I.</i> : Kratkoročno optimiranje rada višenamjenskog hidroenergetskog sustava sliva	77 2	<i>Naumovski I. — Bistrić M.</i> : Izbor osnovnih karakteristika sklopne opreme u izmjeničnim sistemima nazivnog napona iznad 420 kV	241 4
<i>Fagarazzi A.</i> : Pouzdanost napajanja gradskih mreža srednjeg napona s prikazom mogućnosti povećanja pouzdanosti	305 5	<i>Neveščanin J.</i> : Trendovi tehnološkog razvoja i nova orijentacija projektiranja i izvedbe postrojenja SN i mjesnih TS SN/NN u elektrodistribuciji	231 4
<i>Filipović V. — Drezga I.</i> : Matematički model za određivanje osnovnih energetskih karakteristika hidroelektrana	369 6	<i>Nikolovski S.</i> : Pokazatelji pouzdanosti višestrukih nadzemnih vodova	109 2
<i>Fuštar S.</i> : Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata elektroenergetskog sustava	65 2	<i>Pečvarac D.</i> : Elektroenergetske prilike na području grada Iloka i okolice	165 3
<i>Godec Z.</i> : Kako iskoristiti toplinu transformatora	409 6	<i>Plećaš I. — Perić A.</i> : Neki aspekti dekomisije nuklearnih postrojenja	3 1
<i>Hammad A. — Roeder R.</i> : Poluvodički upravljani izvori jalove snage u izazovima modernog prijenosa	21 1	<i>Poljak M. — Bojanić B.</i> : Mjerni transformatori — komponenta sistema zaštite	327 5
<i>Jerković G. — Ravlić V.</i> : Kratkospojna opterećenja komponenti postrojenja pri spojevima uže tom	105 2	Rad Instituta za elektroprivredu u 1990. godini	267 4
<i>Kalea M.</i> : Kretanje u opskrbi Osijeka energijom	207 4	<i>Ravlić V. — Radošević Ž.</i> : Problem buke u transformatorskim stanicama i najvažnije mjere za njeno smanjivanje	249 4
<i>Kovačević P.</i> : Primjena personalnih računala kao inteligentnih terminala u okruženju sistema za nadzor i upravljanje procesima PROZA 11D/R	263 4	<i>Subašić D.</i> : Kolika nadoknada za prihvaćanje odlagališta radioaktivnog otpada	135 3
<i>Krajcar S.</i> : Heuristički algoritam za optimalno planiranje povezanih razdjelnih mreža	15 1	<i>Šimunić J.</i> : Analiza korelacije za informacije EES-a u realnom vremenu	223 4
<i>Krulc Z.</i> : Vrednovanje električne otpornosti tla u zaštiti od udara munje	45 1	<i>Tonković Z.</i> : Propusnost jugoslavenske superponirane mreže u tekućem srednjoročju	145 3
<i>Kučak J.</i> : Ispitivanje uzemljenja elektroenergetskih postrojenja u Hrvatskoj	333 5	<i>Višković A.</i> : Razlozi analize turbogeneratorskog agregata u elektroenergetskom sistemu	399 6
<i>Mahmutćehajić R. — Rimac-Drlje S.</i> : Problem frekventne ovisnosti transformacione matrice u proračunavanju prijelaznih pojava na kabelskim sustavima	37 1	<i>Vuković V.</i> : Otok tri milje i Černobil — Dugoročne posljedice akcidenta i naučne lekcije	375 6
		<i>Žunec M. — Šagovac G.</i> : Uvod u problematiku viših harmonika u distributivnim mrežama	245 4
		<i>Žutobradić S. — Ravlić V.</i> : Suvremene tendencije u razvoju otpornika za uzemljenje zvjezdišta elektroenergetskih mreža	27 1
		Vijesti iz elektroprivrede	1—6, 49, 113, 189, 281, 347 i 415
		Savjetovanja i konferencije	3, 5, 196, 352

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 40 (1991)

Zagreb 1991

Br. 1

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

Ministarstvo znanosti, tehnologije i
informatike

SADRŽAJ

<i>Plećaš I. — Perić A.</i> : Neki aspekti dekomisije nuklearnih postrojenja (Pregledni rad)	3
<i>Maljković Z.</i> : Podsinhrone oscilacije u mreži kao uzrok torzijskog naprezanja rotora turboagregata (Originalni znanstveni rad)	7
<i>Krajcar S.</i> : Heuristički algoritam za optimalno planiranje povezanih razdjelnih mreža (Originalni znanstveni rad)	15
<i>Hammad A. — Roeder R.</i> : Poluvodički upravljani izvori jalove snage u izazovima modernog prijenosa (Pregledni rad)	21
<i>Žutobradić S. — Ravlić V.</i> : Suvremene tendencije u razvoju otpornika za uzemljenje zvjezdišta elektroenergetskih mreža (Pregledni rad)	27
<i>Mahmutćehajić R. — Rimac-Drlje S.</i> : Problem frekventne ovisnosti transformacione matrice u proračunavanju prijelaznih pojava na kabelskim sustavima (Originalni znanstveni rad)	37
<i>Krulc Z.</i> : Vrednovanje električne otpornosti tla u zaštiti od udara munje (Pregledni rad)	45
Vijesti iz elektroprivrede	49
Iz strane stručne literature	52
Oglasi	57

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)

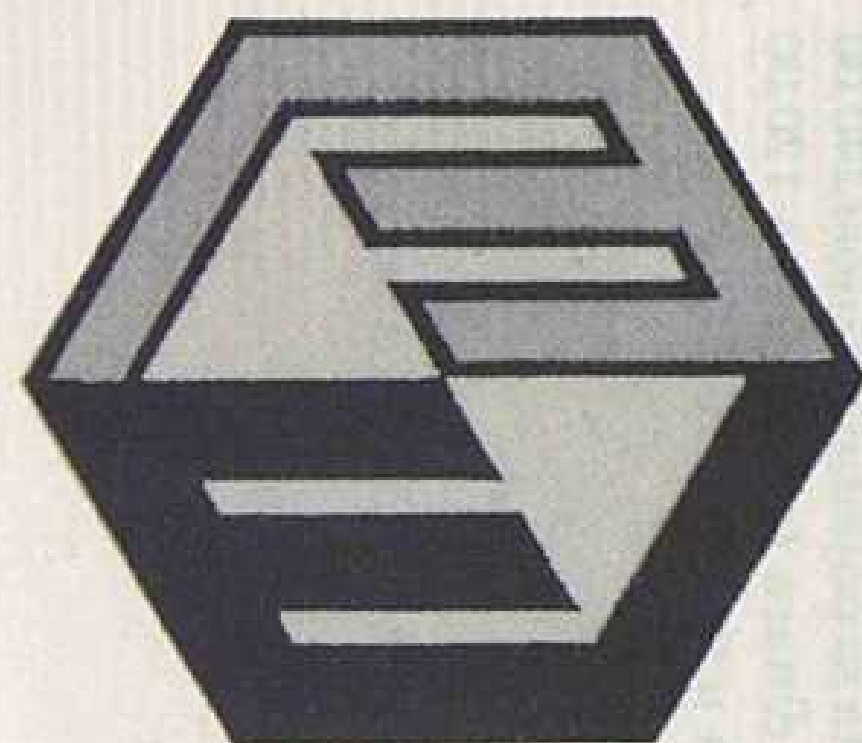
Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 240,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 600,00 dinara (za studente 120,00 dinara). Cijena pojedinog broja u prodaji 90,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

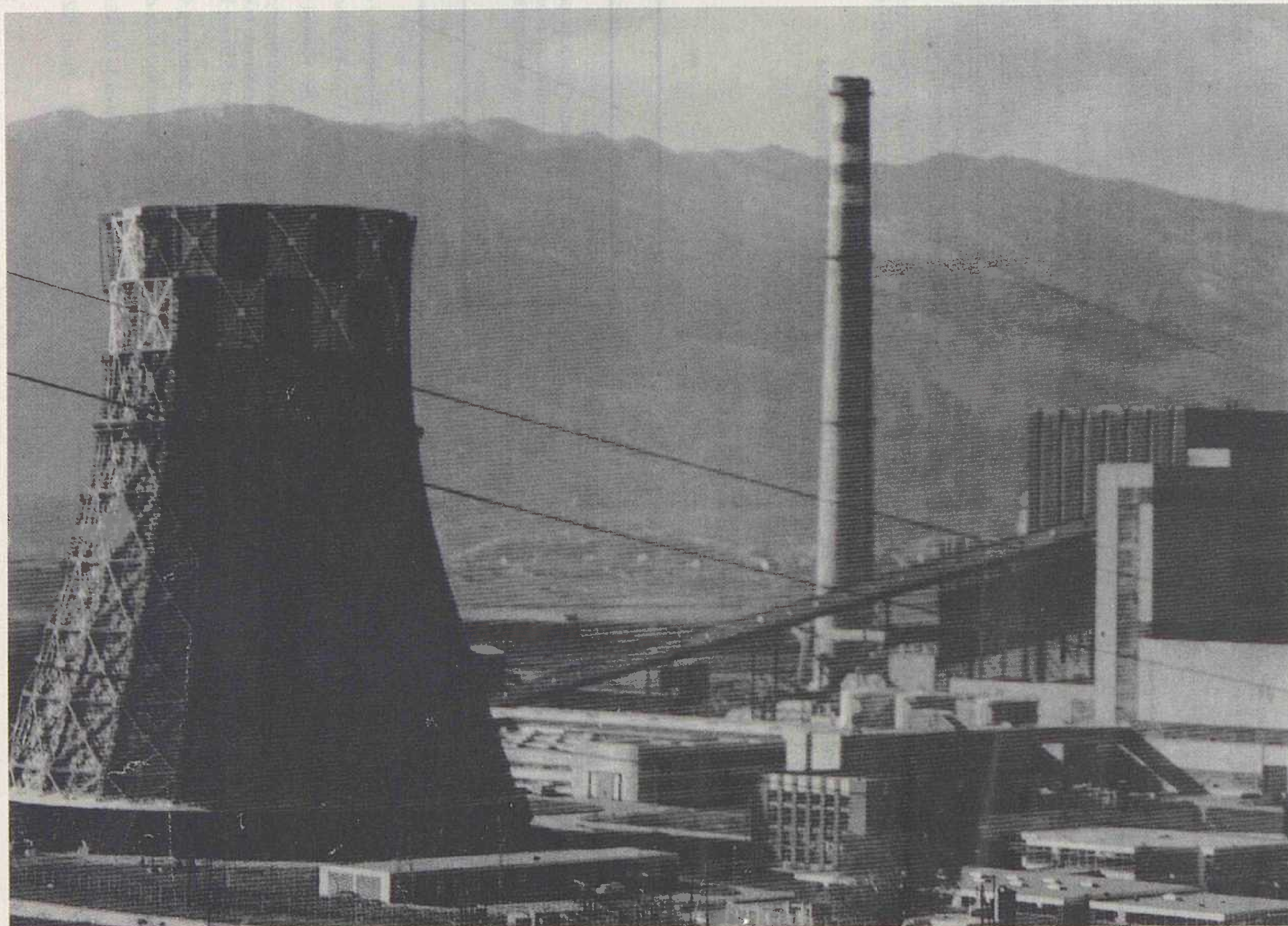
Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

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



MONTING ENERGETIKA ZAGREB



**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

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.

NEKI ASPEKTI DEKOMISIJE NUKLEARNIH POSTROJENJA

Dr. Ilija Plećaš — mr. Aleksandar Perić, Beograd

UDK 621.039.52
PREGLEDNI RAD

U radu su obrađeni neki osnovni aspekti dekomisije, kao poslednje faze u veku postojanja nuklearnog postrojenja, uz komentare i brojčane podatke o stanju u svetu na osnovu najnovijih literaturnih podataka. Problem dekomisije jednog dana čeka i Jugoslaviju. Radi se o kratkom prikazu nekih problema trajnog pospremanja (dekomisije) nuklearnih postrojenja, koja su, zbog bilo kojih razloga (izvršila svoju zadaću eksperimentiranja, doživela akcident, dotrajala, neekonomična i td.), stavljena van funkcije i zatvorena.

Ključne riječi: nuklearna postrojenja, dekomisija, trajno spremanje.

UVOD

Donošenjem zakona o Moratorijumu na gradnju nuklearnih elektrana u SFRJ, (Službeni list SFRJ, br. 35 od 16. 6. 1989. g.), sve više se u jugoslavenskoj javnosti spominje mogućnost zatvaranja i prekida rada nuklearne elektrane Krško i njene dekomisije. Budući da je do sada u svetu postupak dekomisije izvršen na relativno malom broju nuklearnih postrojenja i da je iskustvo na ovoj poslednjoj fazi u veku postojanja nuklearne elektrane malo i dostupno zemljama sa visokom nuklearno energetsom tehnologijom, potrebno je na vreme započeti rad i steći teorijska i eksperimentalna znanja za izvođenje ove složene tehnološke operacije. Dekomisija je normalni tehnološki proces završnog dela ciklusa trajanja nuklearnog objekta, bez obzira na uzrok prekida toga trajanja ili korišćenja. Radi ozbiljnih tehničkih zahvata i troškova studije o dekomisiji trebaju biti vrlo detaljno izrađene. Za ilustraciju, Velika Britanija gradi nuklearnu elektranu Sizewell B od 1188 MWe. Njezin završetak predviđen je za kraj 1994. godine, s procenom troškova gradnje od 2229 miliona funti, dok se troškovi dekomisije cene na oko 165 miliona funti (7,4%).

Tabela I. Dekomisija reaktora u SAD [1]

Reaktor	Lokacija	Tip	MWt	MWe	Počela sa radom	Zatvorena	Dekomisija
HALLAM	HALLAM, NB	LMR	256	76	1962.	1964.	1968.
PIQUA	PIQUA, OH	OMR	46	11	1963.	1966.	1969.
CVTR	PARR, SC	HWR	65	17	1963.	1967.	1970.
BONUS	RINCON, PR	BWR	55	16	1964.	1968.	1970.
PATHFINDER	SIoux FALLS, SD	BWR	190	58	1964.	1967.	1972.
SAXTON	SAXTON, PA	PWR	24	7	1962.	1972.	1973.
ELK RIVER	ELK RIVER, MN	BWR	58	22	1963.	1968.	1974.
FERMI 1	MONROE, MI	LWR	200	61	1968.	1972.	1975.
PEACH BOTTOM 1	YORK, PA	HTGR	115	40	1967.	1974.	1978.

LMR — likvid-metal reaktor
HWR — reaktor sa teškom vodom
BWR — reaktor sa ključalom vodom

OMR — reaktor sa organskim moderatorom
PWR — reaktor sa vodom pod pritiskom
HTGR — visokotemperaturni gasni reaktor

STANJE U SVETU

Prema podacima NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL, Oct. '90, trenutno u svetu radi 438 nuklearnih elektrana, sa ukupnih 321 384 MW, što čini 17% od ukupne proizvodnje električne energije. Prema istom izvoru dosad je prestalo definitivno sa radom 45 elektrana od toga 18 u SAD, 6 u nekadašnjoj SR Njemačkoj, 5 u Francuskoj, 5 u SSSR-u itd. Što se tiče izvršene dekomisije, dat je podatak iz SAD gde je dekomisionirano 9 nuklearnih reaktora prikazanih u tabeli I.

ŠTA JE DEKOMISIJA

Dekomisija predstavlja preduzetu akciju na nuklearnom postrojenju u smislu:

- dekontaminacije postrojenja i opreme,
- uklanjanje kontaminiranih delova ili izvora radioaktivnosti u vidu deponovanja RAO materijala,
- vraćanje lokacije u takve uslove da se može koristiti u posebne svrhe ili da se održava u uslovima sigurnosti i nadzora koja zahtevaju zaštitu zdravlja stanovništva.

Posle kraja radnog veka nuklearne elektrane (u normalnim slučajevima 30–40 godina) postrojenje sadrži određene količine kontaminiranih materijala, pri čemu najveći deo, oko 80% postrojenja, nije kontaminiran i može se ponovno upotrebiti bez ograničenja. Od kontaminiranih delova postrojenja i opreme više od 95% ostataka radioaktivnosti locirano je u reaktorskoj posudi i oko nje. Deo zaostale radioaktivnosti zadržava se po površini postrojenja i može se ukloniti uobičajenim postupcima dekontaminacije koju vrše specijalne obučene službe.

Na tabeli II prikazani su tipični radionuklidi koji zaostaju u različitim materijalima i površinama i na njima.

Tabela II. Tipični radionuklidi i mesta njihovog zadržavanja odnosno nastajanja

Izotop	Vreme poluraspada (G)	Ugljenik i čelik	Emisija
^{14}C	5730.0	$^{14}\text{N}(n,p)$	β^-
^{49}V	0.906	$^{52}\text{Cr}(p,\alpha)$	γ, β^-
^{54}Mn	0.856	$^{56}\text{Fe}(d,\alpha)$	γ
^{55}Fe	2.6	$^{54}\text{Fe}(n,\gamma)$	γ
^{59}Ni	8×10^4	$^{58}\text{Ni}(n,\gamma)$	ϵ
^{63}Ni	100.0	$^{62}\text{Ni}(n,\gamma)$	β^-
^{65}Zn	0.67	$^{64}\text{Zn}(n,\gamma)$	$\gamma, \epsilon, \beta^+$
^{58}Co	0.194	$^{55}\text{Mn}(\alpha,n)$	β^+, γ
^{60}Co	5.263	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)$	β^-, γ, γ
^{93}Mo	3.5×10^3	$^{92}\text{Mo}(n,\gamma)$	ϵ
^{94}Nb	2×10^4	$^{93}\text{Nb}(n,\gamma)$	β^-, γ, γ
^{95}Nb	0.096	$^{95}\text{Zr decay}$	β^-, γ
^{95}Zr	0.175	$^{94}\text{Zr}(n,\gamma)$	β^-, γ, γ
Beton			
^{14}C	5730.0	$^{14}\text{N}(n,p)$	β^-
^{35}S	0.238	$^{34}\text{S}(n,\gamma)$	β^-
^{36}Cl	2.01×10^5	$^{35}\text{Cl}(n,\gamma)$	β^-, ϵ
^{37}Ar	0.0953	$^{36}\text{Ar}(n,\gamma)$	ϵ
^{39}Ar	269.0	$^{38}\text{Ar}(n,\gamma)$	β^-
^{40}K	1.28×10^9		β^-, γ
^{41}Ca	8×10^4	$^{40}\text{Ca}(n,\gamma)$	γ
^{45}Ca	0.446	$^{44}\text{Ca}(n,\gamma)$	β^-
^{46}Sc	0.229	$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)$	$\beta^-, \beta^-, \gamma, \gamma$
^{54}Mn	0.856	$^{56}\text{Fe}(d,\alpha)$	γ, ϵ
^{55}Fe	2.6	$^{54}\text{Fe}(n,\gamma)$	γ
^{59}Fe	0.122	$^{58}\text{Fe}(n,\gamma)$	β^-, γ, γ
^{58}Co	0.194	$^{55}\text{Mn}(\alpha,n)$	β^+, γ
^{60}Co	5.263	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)$	β^-, γ, γ
^{59}Ni	8×10^4	$^{58}\text{Ni}(n,\gamma)$	ϵ
^{63}Ni	100.0	$^{62}\text{Ni}(n,\gamma)$	β^-
^{65}Zn	0.667	$^{64}\text{Zn}(n,\gamma)$	$\gamma, \epsilon, \beta^+$
^{94}Nb	2×10^4	$^{93}\text{Nb}(n,\gamma)$	β^-, γ, γ
^{95}Nb	0.096	$^{95}\text{Zr decay}$	β^-, γ
^{93}Mo	3.5×10^4	$^{92}\text{Mo}(n,\gamma)$	γ
Aluminijum			
^{46}Sc	0.229	$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)$	$\beta^-, \beta^-, \gamma, \gamma$
^{54}Mn	0.856	$^{56}\text{Fe}(d,\alpha)$	γ
^{55}Fe	2.6	$^{54}\text{Fe}(n,\gamma)$	γ
^{54}Fe	0.122	$^{52}\text{Fe}(n,\gamma)$	β^-, γ, γ
^{60}Co	5.263	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)$	β^-, γ, γ
^{65}Zn	0.667	$^{64}\text{Zn}(n,\gamma)$	$\gamma, \epsilon, \beta^+$
^{110}mAg	0.69	$^{109}\text{Ag}(n,\gamma)$	β^-, γ^b

FAZE DEKOMISIJE I KOLIČINE OTPADA

Nakon zatvaranja nuklearne elektrane potrebno je pristupiti procesu njene konačne razgradnje. Uobičajeno je da se pre faze razgradnje pristupi konzervaci-

ji objekata radi sprečavanja oštećenja opreme i postrojenja tokom perioda čekanja da radioaktivnost opadne na nivo pogodan za izvođenje operacije razgradnje. U ovoj fazi do izražaja dolazi poznati ALARA princip (As Low As Reasonably Achievable), »najniže što ima smisla postići«, korišćen u radu sa radioaktivnim materijalima, a odnosi se na sprovođenje zaštite od zračenja.

Razgradnja može biti potpuna ili delimična. Pri potpunoj razgradnji uklanjaju se svi objekti elektrane i prostor se u potpunosti vraća u stanje pre izgradnje. Pri delimičnoj razgradnji uklanjaju se svi RAO-materijali izuzev glavnog objekta – reaktorskog prostora. U izboru vrste i vremena razgradnje glavnu ulogu imaju sledeći faktori:

- izabrana tehnička rešenja razgradnje
- troškovi razgradnje i
- nivo sigurnosti.

Na tabeli III prikazane su mase u (Mg) prilikom dekomisije, neaktivnih i kontaminiranih komponenata u kontejmentu nuklearne elektrane.[3]

Tabela III. Mase neaktivnih i kontaminiranih komponenata u kontejmentu (Mg)

Materijal	Neaktivne komponente	Kontaminirane komponente
Beton	325	70
Izolaciona vuna	20	10
Kablovi	10	—
Olovo	25	—
Pesak	41	—
Zaštitni blokovi	194	—
Čelik	220	1100
Ostalo	5	60
	840 Mg	1240 Mg

Iz toga se očigledno vidi raspodela kontaminacije i drastične razlike kod betona i čelika.

PLAN PRETHODNIH POSTUPAKA ZA OLAKŠANJE DEKOMISIJE

Redukcija aktivnosti

Na prvom mestu, da bi se smanjila mogućnost aktivacije ozračenih materijala pri ugradnji i kontaminacije površina, potrebno je izvršiti striktnu kontrolu pri projektovanju materijala koji će biti izloženi neutronskom fluksu i smanjiti sadržaj na primer Co^{59} ili drugih dugoživećih elemenata, i to za:

- kod omotača reaktorskog suda $\leq 0,03\%$
- kod gorivih košuljica $\leq 0,15\%$
- kod drugih delova reaktorskog suda $\leq 0,08\%$
- kod parogeneratorskog sistema $\leq 0,035 - 0,1\%$

Ušteda u ceni dekomisije u ovom slučaju sa Co^{59} ide i do 8%.

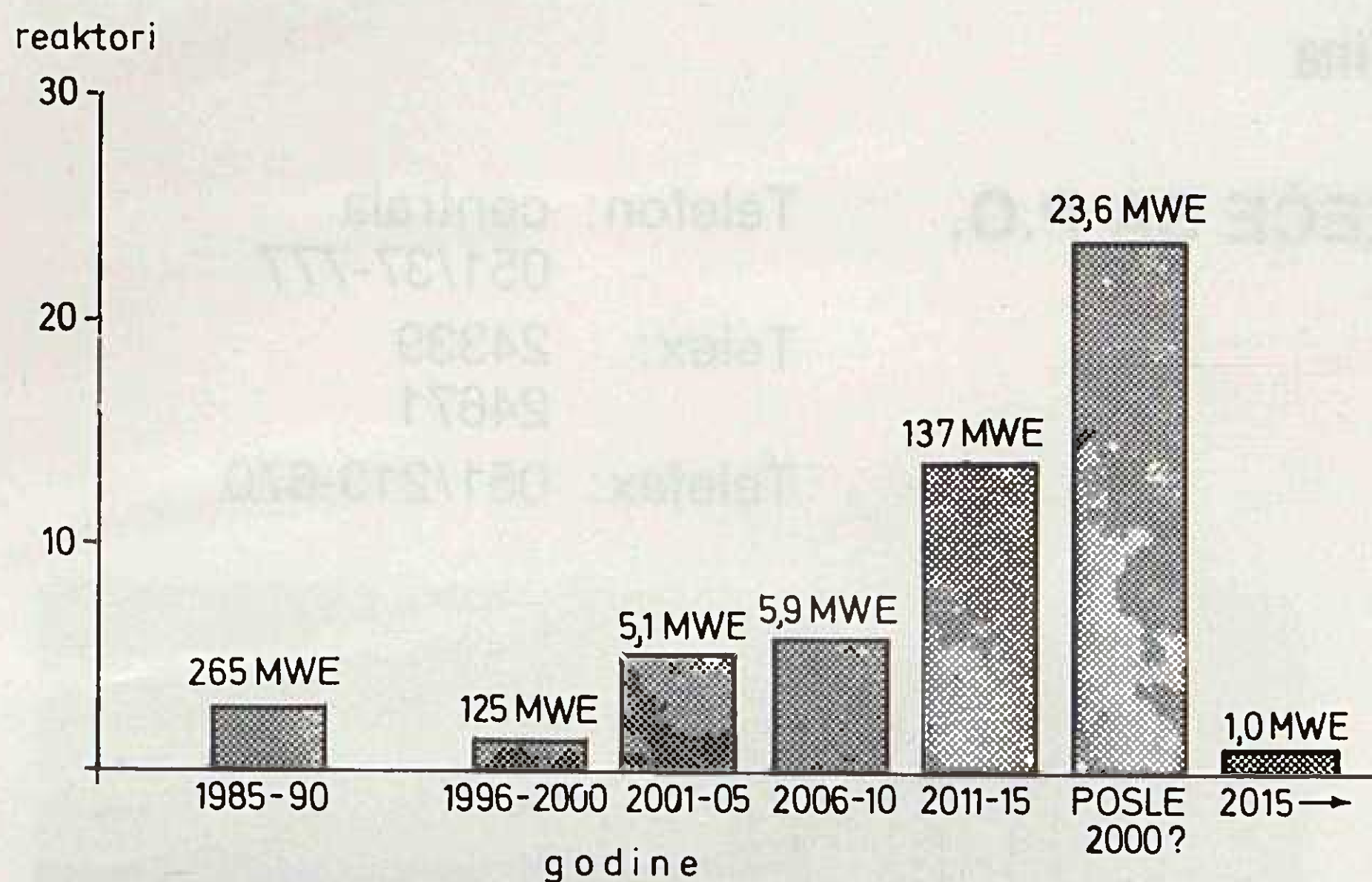
Uklanjanje velikih komponenti sistema

Još u fazi projektovanja sistema treba predvideti mogućnost što lakšeg uklanjanja (demoniranja) velikih

komponenti sistema kao što su parogenerator, pumpe primarnog rashladnog sistema i svih ostalih krupnih uređaja.

PLANOVI ZA BUDUĆNOST

Na sl. 1 prikazan je plan odvijanja dekomisije nuklearnih elektrana u svetu do 2015. godine. [1]



Slika 1. Plan dekomisije nuklearnih elektrana

ZAKLJUČAK

Dekomisija nuklearnih postrojenja je neminovnost u tehnologiji nuklearnog gorivog ciklusa i sadrži niz postupaka koje treba predvideti još u fazi projektovanja nuklearnih reaktora.

Potrebno je takođe izbor materijala za ugradnju uskladiti sa najpodesnijim tehnologijama kasnije obrade otpadnih radioaktivnih materijala (incineracija, solidifikacija) u beton (bitumen, recikliranje...) što sve zajedno može da utiče na cenu i vreme trajanja dekomisije.

U ovom preglednom radu namerno nije bilo reči o ceni postupka dekomisije jer su strani podaci veoma različiti i nepodesni za razmišljanje o ceni dekomisije u domaćim složenim ekonomskim uslovima. Ipak, trebalo bi bar početi sa razmišljanjem.

LITERATURA

- [1] Y. S. TANG, J. H. SALING, »Radiactive Waste Management«, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1990.
- [2] M. DUBOURG, »Design Features Adopted to Facilitate Decommissioning«, ENC '90, ENS/ANS-Foratom Conference Transaction, Lyon, France (IV), 1990, p. p. 2372.
- [3] U. BIRKHOF, »Decommissioning of the Niederaichbach Power Plant: Dismantling of the Contaminated Parts«, ENC '90, ENS/ANS-Foratom Conference Transaction, Lyon, France (IV), 1990, p. p. 2392.

SOME ASPECTS OF THE DECOMMISSIONING OF NUCLEAR POWER PLANTS

Some basic aspects of decommissioning, the final phase of nuclear plant existence, are considered together with comments and numerical data on the present situation internationally based on the most recent literature. The decommissioning problem will come one day for Yugoslavia. Decommissioning problems are reviewed for nuclear plants closed due to a variety of reasons (completion of experimental task, accident, attrition, uneconomicalness, etc.)

EINIGE ASPEKTE DES ABBAUS DER KERNKRAFTANLAGEN

Hier werden einige Grundaspekte des Abbaus als der letzten Phase einer Kernkraftanlage bearbeitet.

Es werden auch Kommentare und Angaben in Zahlen über die weltweite Lage auf Grund der neuesten Angaben aus der Literatur gegeben.

Das Problem des Abbaus wird sich auch einmal in Jugoslawien ergeben. Es geht um eine kurze Schilderung einiger Probleme des entgeltigen Abbaus der Kernkraftanlagen, die aus irgendeinem Grund (Erfüllung der Aufgabe, Unfall, Verbrauch, Verlust der Wirtschaftlichkeit) stillgelegt wurden.

НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

В работе рассмотрены некоторые главные виды вывода из эксплуатации, являющихся последней фазой применения ядерных установок, с пояснениями и числовыми сведениями о положении в мире на основании новейших данных по литературе. Проблема вывода из эксплуатации ядерных установок ожидается и в Югославии. Дело касается краткого изложения некоторых проблем длительного приведения в порядок (вывода из эксплуатации) ядерных установок, которые по любым причинам (выполнили свои задания испытаний, дожили повреждения, изнасились, неэкономичны и т. д.) отстранены от действия и закрыты.

Naslov pisaca:

Dr. Ilija Plećaš, dipl. inž.
Mr. Aleksandar Perić, dipl. inž.
Institut »Boris Kidrič« — Vinča,
11000 Beograd, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
 1990-10-16

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

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

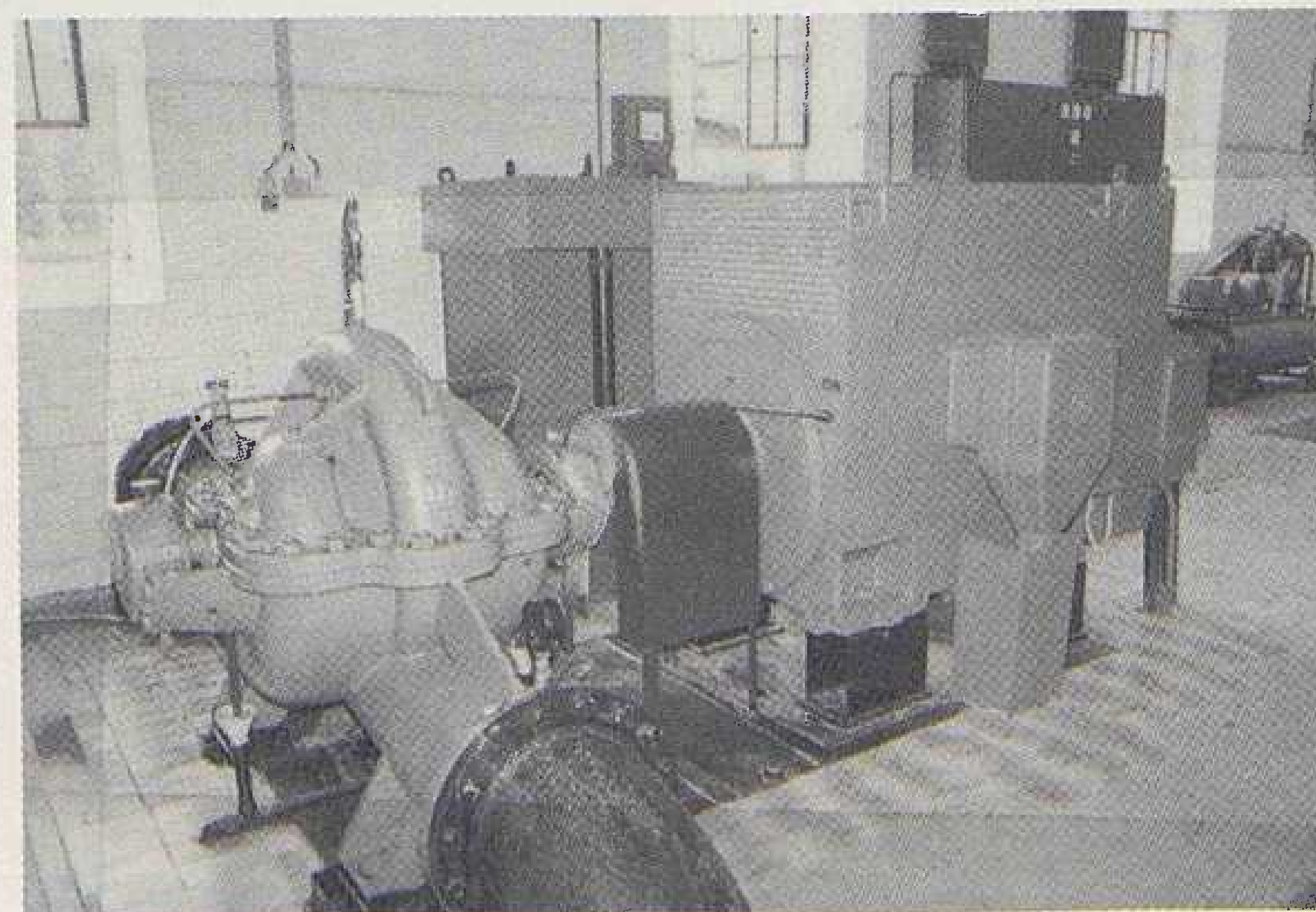
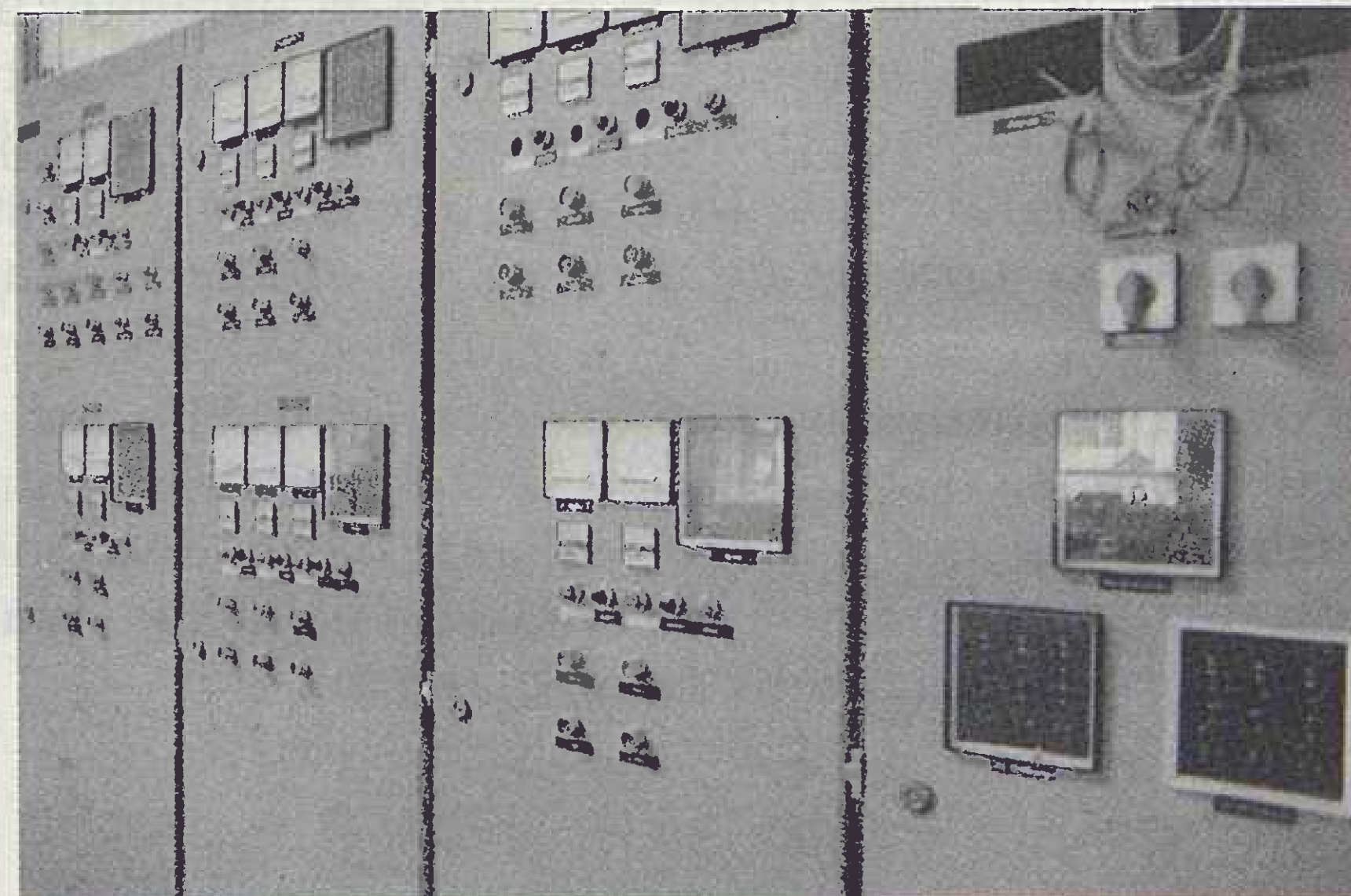
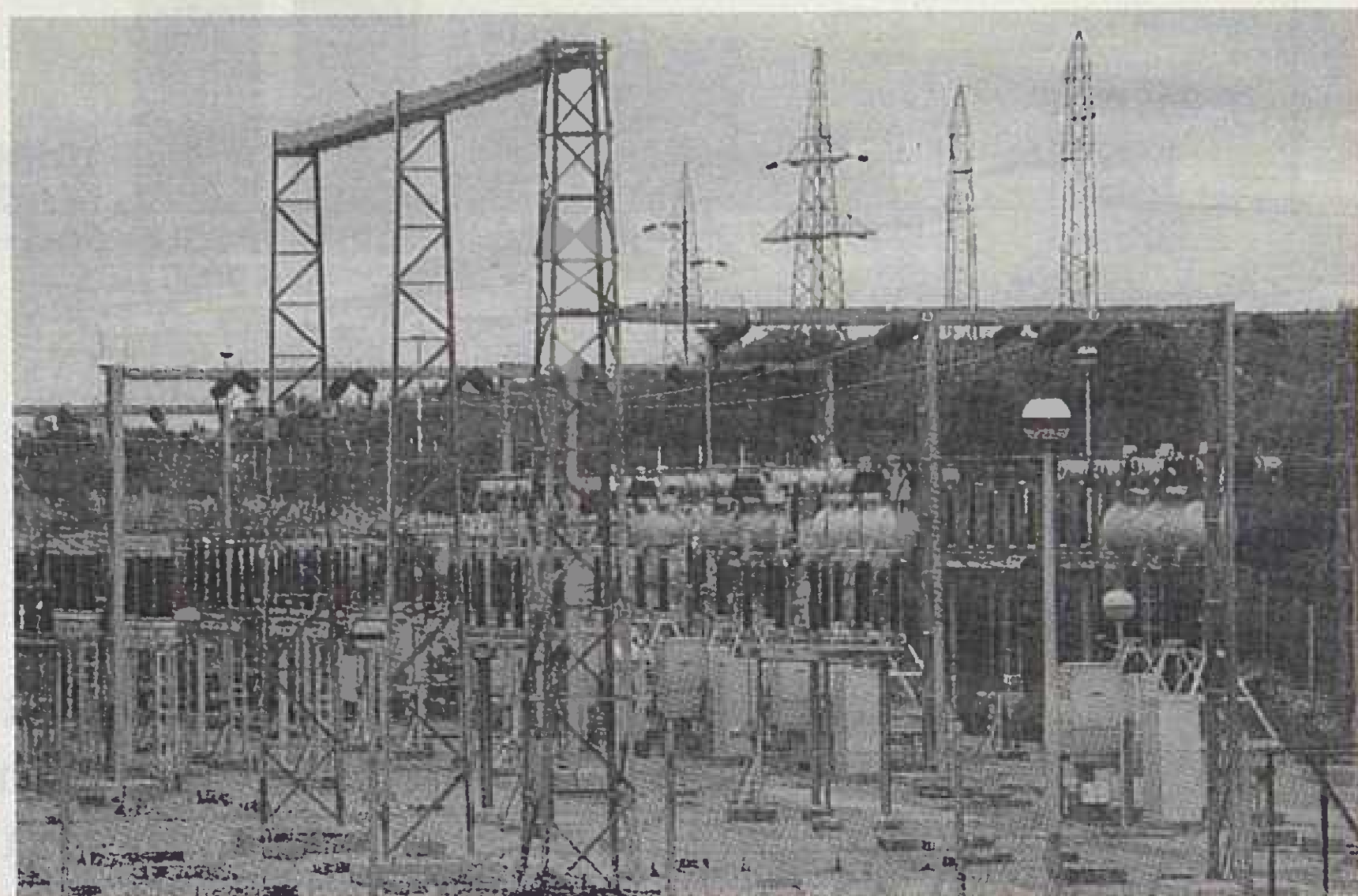
Tel: 057/24-440
057/24-844
27-236

Obavljajući djelatnost prometa roba i usluga u trgovini 117-tom granom »Elektromaterijal« opskrbljuje slijedeće najznačajnije potrošače: Elektroprivredu, brodograđevnu i ostalu industriju, građevinska, montažerska, PTT i ostala poduzeća i korisnike, kao i trgovinu na malo.

Organizirani smo u tri sektora, u okviru kojih su specijalizirane poslovnice.

Izvan sjedišta poduzeća posluju tri vanjske radne jedinice sa skladištima, komercijalnim i ostalim pratećim službama i to u: Zagrebu, Zadru i Podravskoj Slatini te razgranatom putničko-predstavničkom mrežom po cijeloj zemlji.

Imajući u vidu bogatstvo asortimana, dnevno prisutnog na našim skladištima, veliko iskustvo u obavljanju ove značajne funkcije u društvenoj reprodukciji, kao i solidnost u dosad povjerenim poslovima, želja nam je da i ubuduće uživamo Vaše povjerenje.



PODSINHRONE OSCILACIJE U MREŽI KAO UZROK TORZIJSKOG NAPREZANJA ROTORA TURBOAGREGATA

Dr. Zlatko Maljković, Zagreb

UDK 621.313.322-81:62-135
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku se obrađuju torzione oscilacije osovinskog sklopa velikih turboagregata nastale zbog smetnji u električnoj mreži. Posebnu vrstu poticaja takvih oscilacija s mogućim opasnim posljedicama predstavlja podsinhrona rezonancija turboagregata i električne mreže sa serijski kapacitivno kompenziranim prijenosnim vodovima. Prikazuje se proračun torzijskih oscilacija osovinskog voda turboagregata primjenom kompletnog matematičkog modela u kojem je osovinski vod predstavljen s nekoliko koncentriranih rotacionih masa. Za konkretan primjer turbogeneratora snage 250 MVA analiziran je utjecaj serijske kapacitivne kompenzacije na podsinhronu oscilaciju zakretnih momenata u osovinskom vodu agregata.

Ključne riječi: podsinhronu oscilacije, torzijska naprezanja, turboagregat.

1. UVOD

Torzijske oscilacije osovinskog voda turboagregata mogu nastati zbog smetnji i manipulacija u električnoj mreži u blizini promatranog generatora. U mrežama sa serijski kapacitivno kompenziranim prijenosnim linijama može nastupiti podsinhrona rezonancija (SSR-subynchronous resonance) s nedozvoljeno velikim podsinhronim oscilacijama (SSO-subsynchronous oscillation). Svaka tranzijentna pojava pri kojoj se javljaju znatniji torzijski momenti u osovini rotora rezultira smanjenjem vijeka trajanja agregata, a u ekstremnom slučaju može uzrokovati i lom osovinskog sklopa i havariju kompletnog postrojenja.

Podsinhronu oscilacije intenzivno se istražuju zadnjih petnaestak godina, jer su u nekoliko slučajeva u svijetu bile uzrok većih havarija turbogeneratorskog bloka. U elektroenergetskom sistemu, u kojem ima serijski kapacitivno kompenziranih vodova, mogu zbog rezonantnih pojava fenomena SSO stradati i ostali elementi (npr. transformatori). Podsinhronu oscilacije obrađuju se u mnogim člancima koje prati Radna grupa za dinamičke pojave u elektroenergetskom sistemu komiteta IEEE Power. System Engineering [6–8] i Radna grupa za podsinhronu rezonanciju pri IEEE (SSR Working Group) [9–13]. Razvijaju se i metode za kvantificiranje posljedica takvih pojava na vijek trajanja i sigurnost rada agregata.

2. PODSINHRONE OSCILACIJE

Podsinhronu oscilacije predstavljaju stanje elektroenergetskog sistema kada mreža izmjenjuje energiju s elektroagregatom, uz jednu ili više prirodnih (vlastitih) frekvencija sistema, nižih od sinhronu frekvencije sistema.

Jednostavna radijalna mreža s kapacitivno serijski kompenziranim prijenosnim vodom opisuje se jednodomašinskim matematičkim modelom, koji sadrži detaljniji opis sinhronog generatora i turbine. Vlastita frekvencija električnog kruga koji sadrži kondenzator x_c , te prijenosni vod x_e i transformator x_t , omškog otpora prijenosnog voda r_e i transformatora r_t sve spojeno serijski sa sinhronim generatorom, računa se:

$$f_{er} = f_o \sqrt{\frac{x_c}{x_{Ls}}} \quad (1)$$

gdje je reaktancija x_{Ls} ona reaktacija u krugu koja je mjerodavna za suptranzijentno stanje:

$$x_{Ls} = x_d'' + x_t + x_e \quad (2)$$

Složenija mreža od prikazane najjednostavnije rezonantne mreže rezultira s više vlastitih električnih frekvencija.

Električne podsinhronu struje, nastale zbog postojanja serijskog kapaciteta, koje teku armaturom, uzrokuju zakretne momente na rotoru, ali induciraju u rotoru napone, zbog kojih teku rotorske struje frekvencije:

$$f_r = f_o \pm f_{er} \quad (3)$$

Posljedica je induciranje podsinhronih komponenti napona u armaturi koje mogu potpomagati ili slabiti podsinhronu struju armature. To je efekt samouzbuđenosti. Radi boljeg razumijevanja i analize pojam samouzbuđenosti često se u literaturi razrađuje u dvije kategorije preko tzv. torzijskog međudjelovanja i efekta asinhronog generatora.

Torzijsko međudjelovanje uključuje dinamiku električnog i mehaničkog sistema zajedno. Torzijske oscilacije rotora frekvencijom jedne od vlastitih torzionih oscilacija f_{nt} , potiču komponente napona u armaturi podsinhronu i nadsinhronu frekvencije:

$$f_{en} = f_o \pm f_{nt} \quad (4)$$

Kada je frekvencija podsinhrone komponente armaturnog napona f_{en} bliska vlastitoj frekvenciji električnog sistema f_{er} , rezultatna podsinhrona struja stvara zakretni (podsinhroni) moment koji pobuđuje oscilacije rotora. Ako je komponenta podsinhronog momenta, koja je u fazi s promjenom brzine rotora, jednaka ili premašuje pripadni prigušni moment rotacijskog sistema, sistem će postati samouzbudni. To se međusobno djelovanje električnog i mehaničkog sistema naziva torzijskom interakcijom.

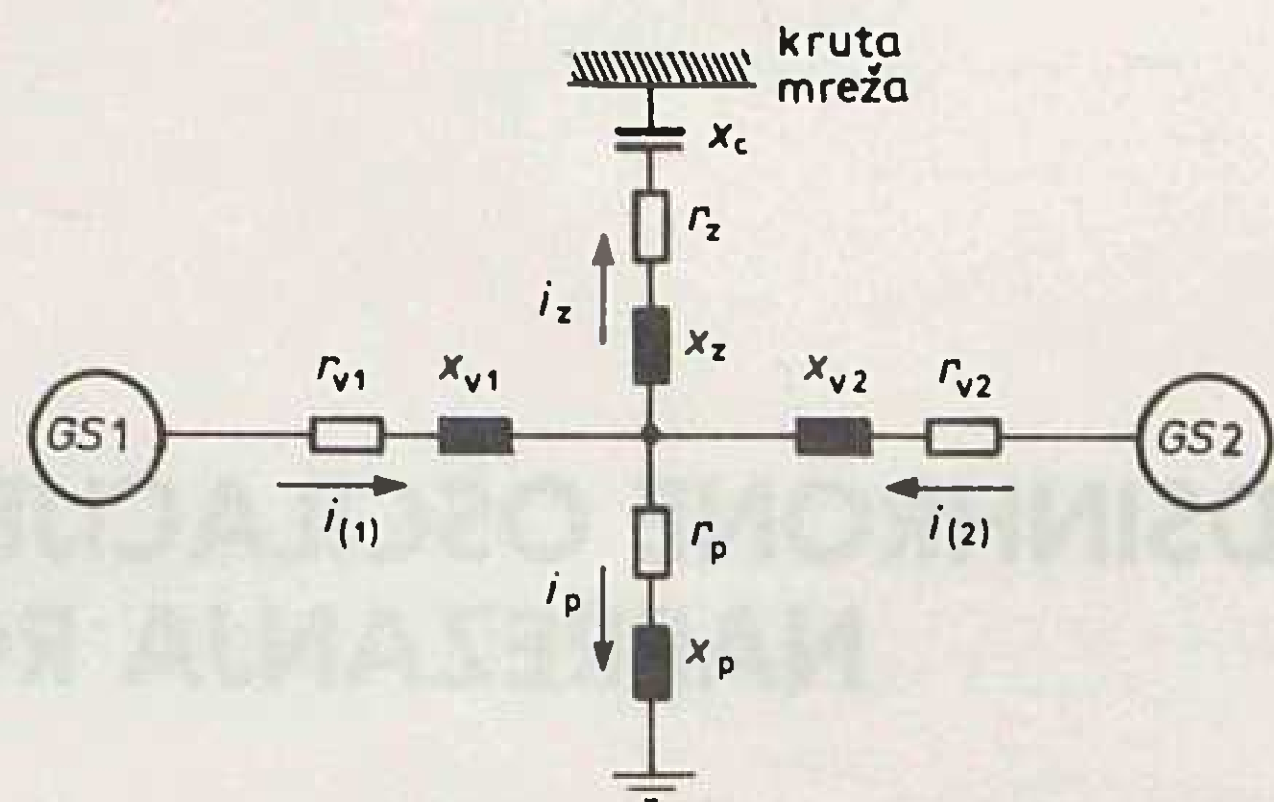
Efekt asinhronog generatora uključuje samo dinamiku električnog sistema. Struje armature podsinhrone frekvencije f_{er} stvaraju komponente rotacijskog protjecanja koje rotiraju brzinom n_{er} , čiji su rezultat, u sprezi s rezultatnim protjecanjem, zakretni momenti podsinhrone frekvencije $f_o - f_{er}$ i nadsinhronne frekvencije $f_o + f_{er}$. Ako se vlastita frekvencija torzijskog moda f_{nt} razlikuje od podsinhrone frekvencije momenta $f_o - f_{er}$, tada će torzijsko međudjelovanje biti neznatno. Međutim, rotorski se krugovi vrte brže od subsinhronog protjecanja, što rezultira time da je omski otpor za podsinhronne struje negativan prema teoriji asinhronih strojeva. Ako taj negativan otpor premašuje sumu omskih otpora armature mreže pri rezonantnoj frekvenciji f_{er} , armaturna struja će rasti. Taj se fenomen naziva efektom asinhronog generatora. Fizikalno gledano, to je nestabilno područje rada asinhronog generatora.

Kombinacija efekta torzijskog međudjelovanja i efekta asinhronog generatora prisutna je u svakom slučaju torzijskih samooscilacija, ali se radi lakšeg razumijevanja efekti odvojeno analiziraju. Generalno, vrijedi pravilo da torzijska interakcija dominira, tj. pojačanje torzijskih momenata u osovinskomvodu turboagregata nastupa u slučaju poklapanja (odnosno bliskog iznosa) jedne od torzijskih vlastitih frekvencija osovinskog voda f_{nt} s komplementnom frekvencijom električne vlastite frekvencije ($f_o - f_{er}$) mreže koja sadrži serijski kapacitivno kompenziranu prijenosnu liniju. Efekt asinhronog generatora prevladava kada se navedene frekvencije znatnije razlikuju iznosom. Narastanje torzijskih momenata može biti znatno veće od onog pri kratkim spojevima u nekompensiranim mrežama, to više što su mehanička prigušenja torzijskih oscilacija u osovinskomvodu turboagregata izrazito malena.

Proračun tipičnih veličina sinhronog generatora u tranzijentnim stanjima s obračunom utjecaja serijski kapacitivno kompenziranog voda i analizu efekta samouzbuđbe moguće je provesti proširenim matematičkim modelom u kojem je diferencijalnim jednažbama obuhvaćen i serijski kondenzator.

3. MATEMATIČKI MODEL

Matematički model formiran je za dvomašinsku konfiguraciju prema slici 1, a sastoji se od sistema diferencijalnih jednažbi, kojeg čine: jednažbe gibanja rotora turboagregata po pojedinim koncentriranim masama, zatim naponske jednažbe generatora i os-



Slika 1. Shema istraživane dvomašinske konfiguracije

talih dijelova električne mreže sve do krute točke elektroenergetskog sistema.

3.1. Osovinski vod agregata

Proračun torzijskih vibracija turboagregata izvodi se radi određivanja torzijskih momenata, odnosno tangencijalnih naprezanja kojima je osovinski sklop izložen u prijelaznim stanjima. Takav proračun omogućava sagledavanje složenih dinamičkih procesa u osovinskomvodu agregata, s namjerom da se primijeni u postupku projektiranja i konstrukcije generatora.

Vibracije bilo kojeg oblika, pa tako i torzijske, koje se odvijaju bez pomoći izvana, nazivamo slobodnim vibracijama. Za njih je karakteristično da im frekvencija ovisi samo o fizikalnim svojstvima vibracijskog sistema. To je vlastita frekvencija, odnosno vlastite frekvencije promatranog sistema. Ako u sistemu ne postoji prigušenje, odnosno ponor vibracione energije, bit će amplituda slobodnih vibracija konstantna. U realnim sistemima uvijek postoji neki vid prigušenja, zbog čega umjesto slobodnih egzistiraju tzv. prigušene slobodne vibracije, koje još nazivamo prijelaznim ili tranzijentnim vibracijama. Realni rotacijski sistemi imaju u praksi složenije kombinacije elastičnih i inercijskih elemenata, što predstavlja sistem s većim brojem vibracijskih sloboda gibanja. Svakoj slobodi vibracijskih gibanja odgovara po jedna vlastita frekvencija.

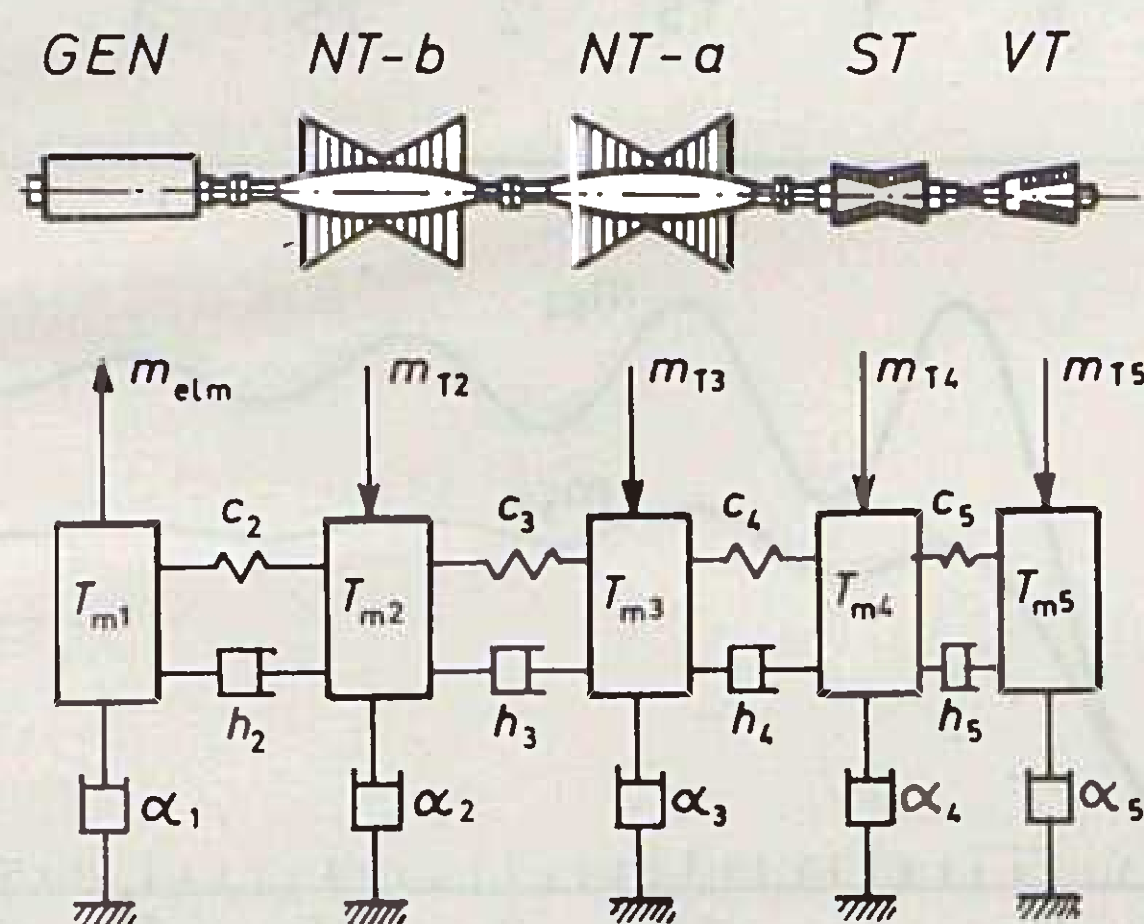
Analogno fleksijskom vibriranju i u torzijskom vibriranju osovinskog voda pored vlastitih frekvencija karakteristične su i forme vibriranja sistema. Ako osovinski vod predstavimo dvjema koncentracijskim rotacijskim masama (npr. jedna je rotor generatora, a druga rotor pogonskog stroja), on može torziona vibrirati na dva načina. Prvi je s nižom vlastitom frekvencijom (u ovom slučaju je to $f_{1t} = 0$) i to istofazno, a drugi s višom vlastitom frekvencijom je protufazni način, tj. dok se jedna rotaciona masa ubrzava, druga se usporava. Na taj se način izmjenjuje dio energije između dviju rotacijskih masa. Kontinuirana rotacijska masa može vibrirati na beskonačno mnogo načina jer ima beskonačno mnogo vibracijskih sloboda gibanja i isto toliko vlastitih frekvencija.

Vibracije rotacijskog sistema mogu se trajno podržavati momentima vanjskog ili unutrašnjeg porijekla, što nazivamo kinetičkom uzbudom, kao i periodičkim prisilnim pomicanjem bilo koje točke u konfiguraciji sistema, što je tzv. kinematička uzbuda.

Ako na rotacijski inerciono-elastični sistem djeluje izvana zakretni moment i periodički se mijenja, sistem će vibrirati prisilnom frekvencijom diktiranom poremećajem. To su tzv. prisilne vibracije čija amplituda ovisi o amplitudi uzbudnog momenta i o omjeru uzbudne i vlastite frekvencije sistema. Kada je frekvencija poremećaja jednaka jednoj od vlastitih frekvencija sistema, nastupa rezonancija s mogućim enormnim torzijskim naprezanjima.

Poremećaj može biti i impulsni, a karakter odziva može biti oscilatoran i neoscilatoran, ovisno o prigušenju u sistemu. Takvi neperiodski poremećaji u realnom sistemu osovinskog voda turbogeneratorskog najčešće nastaju naglim promjenama pogonskog momenta i promjenama elektromagnetskog momenta kao posljedice poremećaja u električnoj mreži, a rjeđe su posljedica nagle promjene u inerciono-elastičnoj karakteristici osovinskog voda (lom i slično).

Matematički opis gibanja osovinskog voda agregata, koji će dati i matematičku interpretaciju torzijskih vibracija i naprezanja osovinskog voda, formira se primjenom D'Alambertova principa, promatrajući svaku rotacijsku masu zasebno i postavljajući uvjete kinetičke ravnoteže rotacijskih masa.



Slika 2. Osnovni model osovinskog voda turboagregata

Za osnovni model osovinskog voda turboagregata prikazanog na slici 2. sistem jednačbi gibanja s veličinama u relativnim jedinicama je:

$$\begin{aligned} d\varphi_i/dt &= \omega_i \\ T_{mi} \cdot d\omega_i/dt &= c_{i+1} \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi_i) - c_i \cdot (\varphi_i - \varphi_{i-1}) + \\ & h_{i+1} \cdot (\omega_{i+1} - \omega_i) - h_i \cdot (\omega_i - \omega_{i-1}) - \\ & \alpha_i \cdot \omega_i + m_{Ti}, \end{aligned} \quad (5)$$

gdje je indeks »i« cijeli broj od 1 do n (najčešće je dovoljno, kao prema sl. 2., n. maksimalno 5), a označava broj koncentriranih masa osovinskog voda agregata.

Rješavanjem sistema diferencijalnih jednačbi (5) dobiju se kutovi zakreta pojedinih krutih zamašnih masa osovinskog voda, a prema tome mogu se izračunati perturbacijska opterećenja u toku prijelaznih procesa agregata. Torzijski moment u spojnici između dvije koncentrirane rotacijske mase je (u relativnim jedinicama):

$$m_{si} = c_i \cdot (\varphi_i - \varphi_{i-1}). \quad (6)$$

3.2. Sinhroni generator

Naponske jednačbe sinhronog generatora u originalnim a, b, c koordinatama obično se prikazuju u generatorskom sistemu prikazivanja za stator i u sistemu potrošača za rotor. Sistem naponskih jednačbi sastoji se od tri jednačbe armature, jedne za uzbudni namot i dvije za prigušeni namot.

Transformirane naponske jednačbe dobivene primjenom pogodne matematičke transformacije [14] predstavljaju sistem jednačbi u koordinatama koje rotiraju u odnosu na stator brzinom vrtnje rotora koja u prijelaznom stanju nije konstantna.

Matrica induktiviteta u transformiranom koordinatnom sistemu koji rotira sa ω čini vezu ulančenog toka i struja:

$$[\psi_{dq}1DQ] = [L_{dq}1DQ] * [i_{dq}1DQ]. \quad (7)$$

Usvajanjem standardnih baznih veličina za račun prijelaznih pojava (vidi: Popis oznaka) dobiva se konačan oblik sistema naponskih jednačbi sinhronog stroja u rotirajućim d – q koordinatama s veličinama napisanim u relativnim jedinicama:

$$\begin{aligned} -u_d &= r \cdot i_d + d\psi_d/dt + \omega \cdot \psi_q \\ -u_q &= r \cdot i_q + d\psi_q/dt - \omega \cdot \psi_d \\ E_q &= e_q + x_1/r_1 \cdot \psi_1/dt \\ 0 &= r_D \cdot i_D + d\psi_D/dt \\ 0 &= r_Q \cdot i_Q + d\psi_Q/dt. \end{aligned} \quad (8)$$

Elektromagnetski moment sinhronog stroja u relativnim jedinicama:

$$m_{elm} = \psi_q \cdot i_d - \psi_d \cdot i_q. \quad (9)$$

3.3. Serijski kapacitivno kompenzirani prijenosni vod

U elektroenergetskim sistemima koji imaju duge prijenosne linije koristi se serijska kapacitivna kompenzacija prijenosnog voda. Osnovna svrha takve ugradnje grupe kondenzatora je kompenzacija induktivne komponente i poboljšanje naponskih prilika i stabilnosti mreže. Međutim, takva kompenzacija može u određenim uvjetima rezultirati rastitravanjem električnih veličina mreže i generatora, te mehaničkih veličina agregata. Već se petnaestak godina intenzivno istražuju, prije svega u SAD, podsinhrone oscilacije u mrežama sa serijski kompenziranim vodovima [6–13].

Radi analize problema koji se javljaju u serijski kompenziranim mrežama treba matematički opisati ponašanje serijskog kondenzatora, odnosno grupe kondenzatora. Naponske jednačbe napisane u rotirajućim d – q koordinatama (sve su veličine u relativnim vrijednostima) jesu:

$$\begin{aligned} \frac{du_{cd}}{dt} &= x_c \cdot i_{cd} - \omega \cdot u_{cq} \\ \frac{du_{cq}}{dt} &= x_c \cdot i_{cq} + \omega \cdot u_{cd}. \end{aligned} \quad (10)$$

3.4. Vodovi, transformatori i vlastiti potrošači

U krugu generator – kruta točka električne mreže uključeni su i drugi elementi od kojih obavezno tre-

ba računom obuhvatiti vodove, transformatore i vlastite potrošače. Matematički opis čine jednadžbe u d – q koordinatama:

$$\begin{aligned} u_d &= r_v \cdot i_d + x_v \cdot di_d/dt + \omega \cdot x_v \cdot i_q \\ u_q &= r_v \cdot i_q + x_v \cdot di_q/dt - \omega \cdot x_v \cdot i_d, \end{aligned} \quad (11)$$

gdje su r_v i x_v pripadni omski i induktivni otpori voda, odnosno uzdužne grane transformatora, odnosno vlastitog potrošača. Naponi i struje u odgovarajućim osima predstavljaju napone koji vladaju na tim elementima, odnosno struje koje teku tim elementima (vodovima, transformatorima, vlastitim potrošačima).

Za odgovarajuću konfiguraciju treba napisati i jednadžbe I. i II. Kirchhoffova zakona, posebno za uzdužnu i poprečnu os. No tu valja paziti da se, kada se radi o višemašinskom sistemu, struje i naponi pojedinog rotirajućeg sistema korigiraju na zajednički rotirajući sistem koordinata. Detaljnije o mogućim varijantama proračuna u tzv. jedinstvenom i nejedinstvenom sistemu koordinata dano je u [14].

4. REZULTATI PRORAČUNA TORZIJSKIH OSCILACIJA

Proračun je izveden za osnovni turbogenerator snage 250 MVA, dok je drugi agregat isključen ($z_{v2} \gg$). Iznos vanjske impedancije zajedno sa zajedničkim vodom jest $z_{v1} + z_z = 0.0017 + j0.13$ (rj). Agregat je prikazan sa samo tri koncentrirane rotacijske mase (generator, niskotlačna i visokotlačna turbina). Mehaničko prigušenje agregata uzeto je s faktorima unutrašnjeg prigušenja $h_2 = h_3 = 2$ (rj).

Regulacija uzbude nije uključena, ali se razmatra slučaj da uzbudni napon trenutno raste s $E_q = 1$ (rj) na $E_q = 3.01$ (rj).

Regulacija pogonskog momenta odnosno snage predstavlja regulaciju brzine vrtnje agregata. Za ovo razmatranje torzijskih oscilacija u osovinskom vodu ne smije se zanemariti utjecaj te regulacije. Zato je u model uključen sistem regulacije brzine vrtnje turbine opisan blok-shemom na slici 3. Parametri su slijedeći:

vremenske konstante: $T_{mR1} = T_{mR2} = 0.2$ s (regulator)

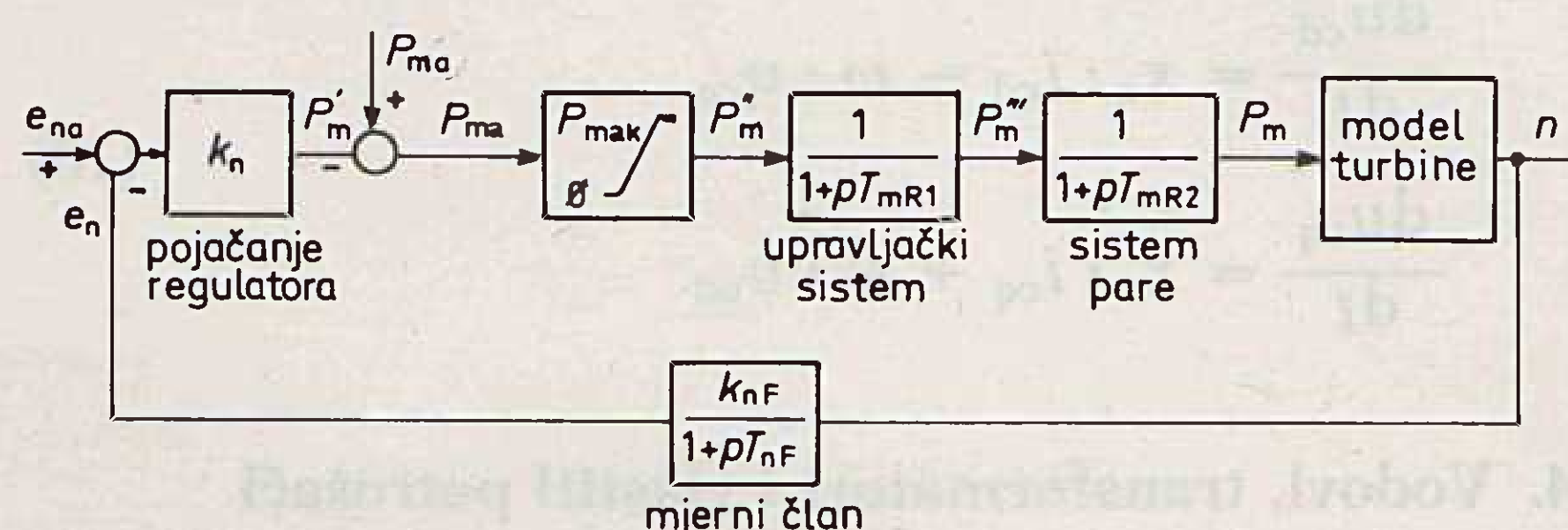
$T_{nf} = 0.01$ s (filter)

faktor pojačanja: $k_n = 20$ (regulator)

$k_{nf} = 1$ (filter)

maksimalna pogonska snaga (moment)

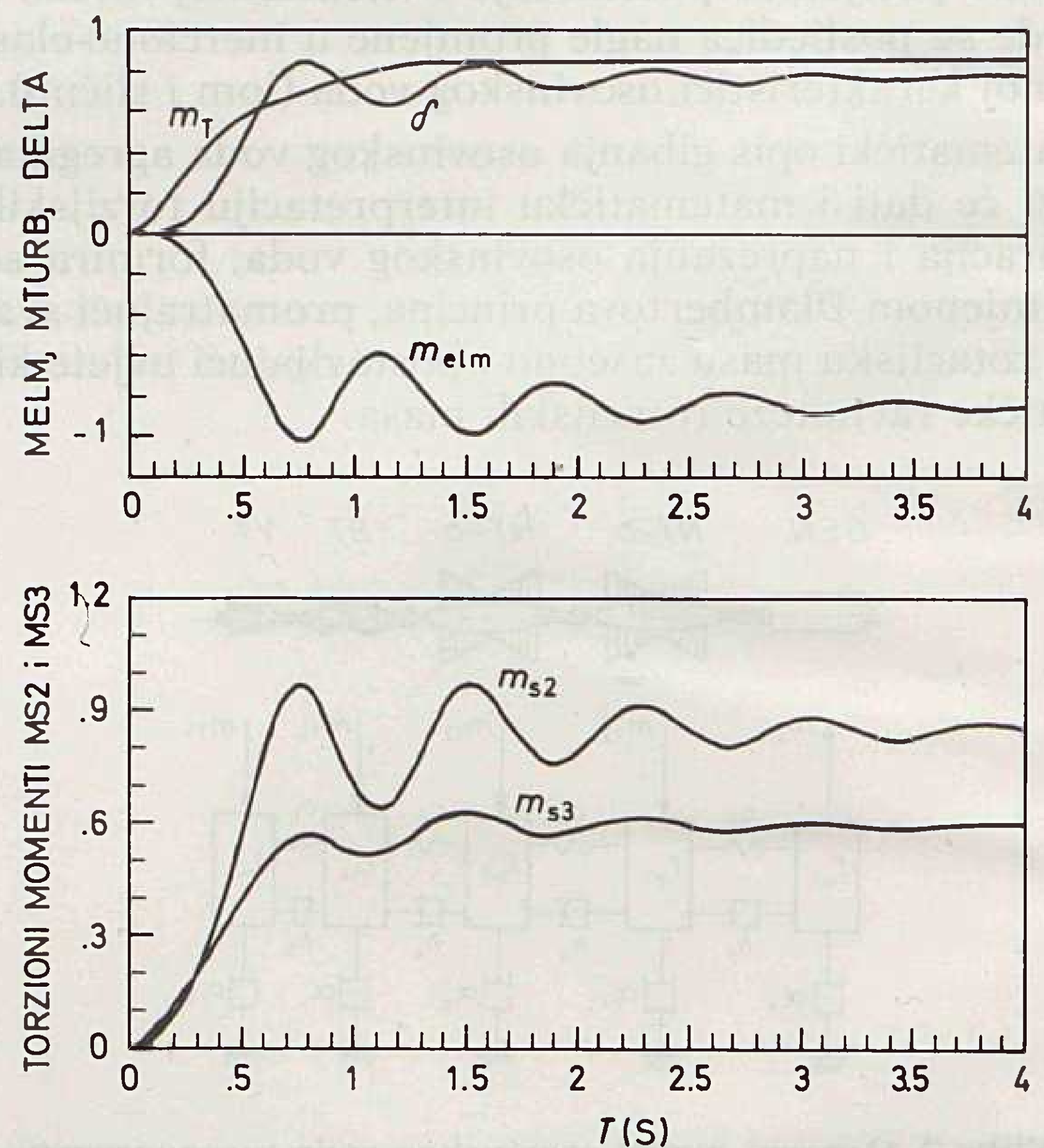
$P_{max} = m_{max} = 1.05$ (rj).



Slika 3. Blok-shema sistema regulacije brzine vrtnje turboagregata

Sve iduće slike prikazuju prijelaznu pojavu koja nastaje opterećivanjem generatora iz stanja praznog hoda do nazivnog stanja, ali za razne vrijednosti kompenzacije prijenosnog voda, tj. za razne vrijednosti x_c . To se stanje opterećivanja agregata dobije tako da se referenca za pogonsku snagu (moment) postavi na $P_{mo} = 0.85$ (rj). Referenca brzine vrtnje rotora je nepromijenjena $e_{no} = 1$ (rj).

Slika 4. prikazuje navedeno prijelazno stanje kada nema kapacitivne kompenzacije ($x_c = 0$). Iz odziva karakterističnih veličina osnovnog generatora elektromagnetskog momenta, momenta u spojka, kuta opterećenja i pogonskog momenta vidi se stabilno ponašanje i može se reći da je nakon otprilike 4s nastupilo ustaljeno stanje.



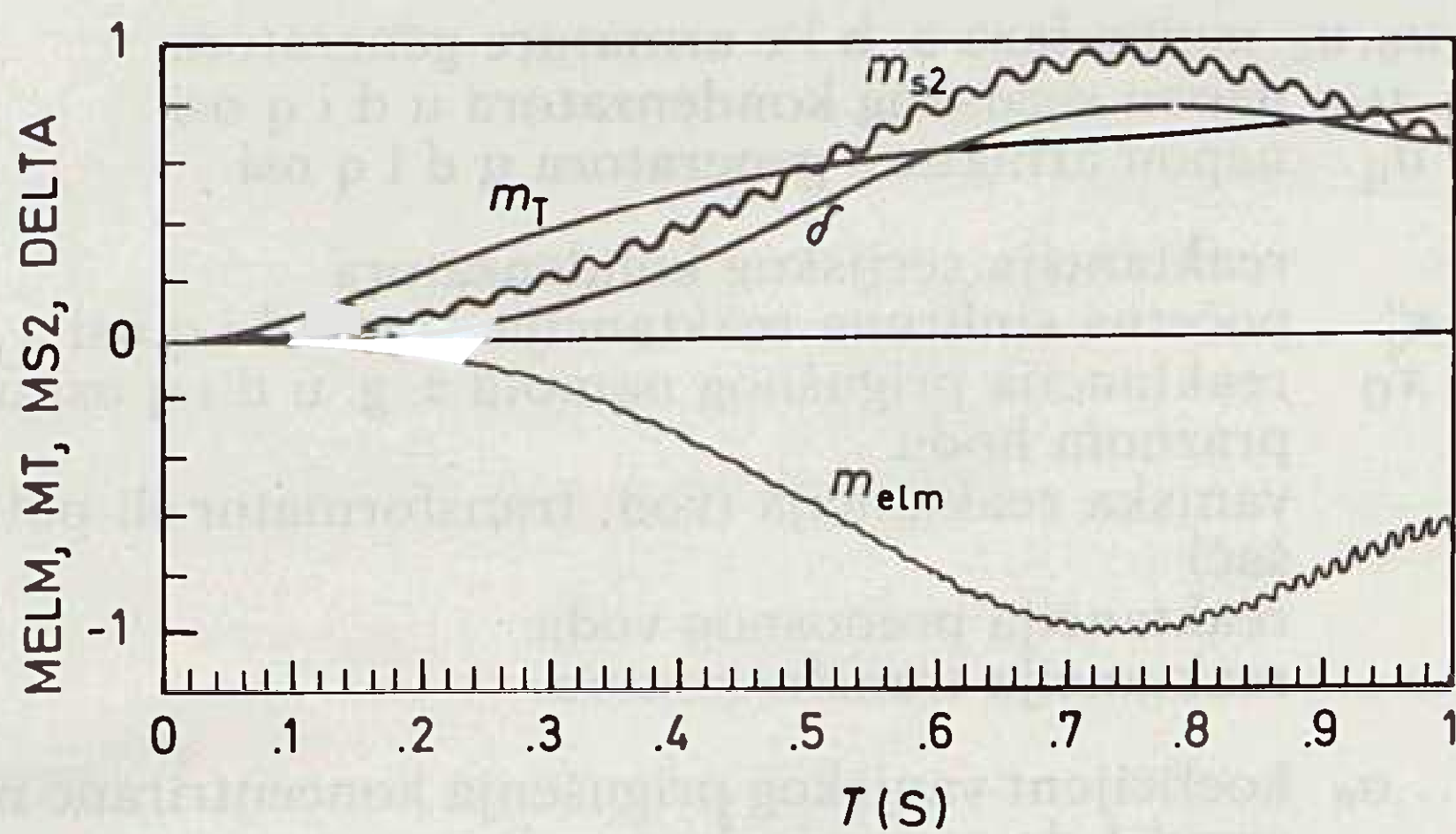
Slika 4. Odziv elektromagnetskog momenta m_{elm} , pogonskog momenta m_T , kuta opterećenja δ , te torzionih momenta u spojka m_{s2} (generator – NT turbina) i m_{s3} (NT – VT turbina) reguliranog turboagregata (skokovita promjena reference pogonskog momenta na nazivnu vrijednost za slučaj nekompensiranog prijenosnog voda ($x_c = 0$))

Na slici 5. prikazani su odzivi dijela karakterističnih veličina za isti slučaj opterećivanja generatora, ali uz kompenzaciju voda sa $x_c = 0.06$ (rj), što predstavlja kompenzacijski nivo iznosa:

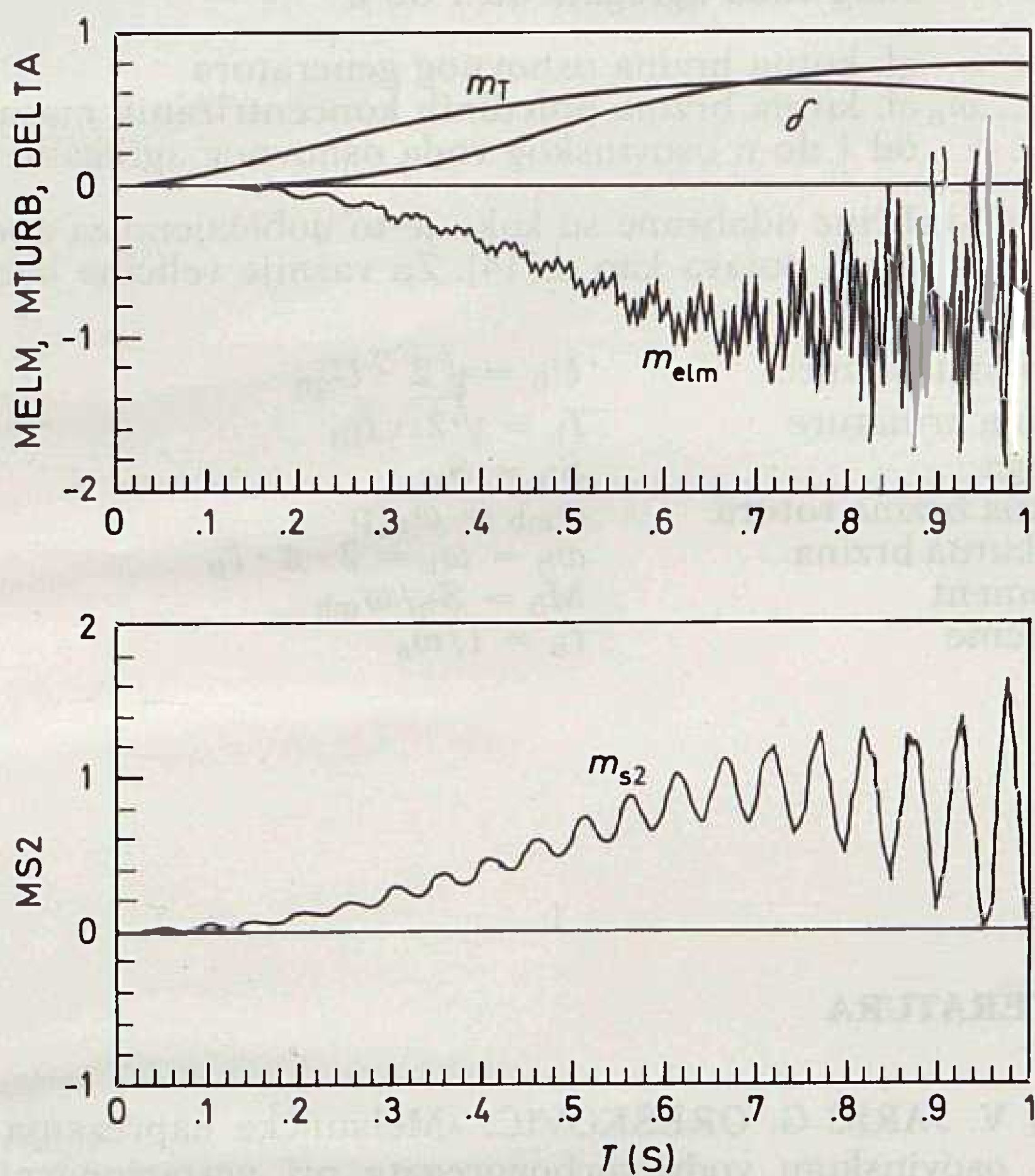
$$k_{Lc} = \frac{x_c}{x_{Ls}} = \frac{0.06}{0.255 + 0.13} = 0.16 = 16\%. \quad (12)$$

U odzivu elektromagnetskog momenta m_{elm} uočljivo je lagano rastitravanje uz frekvenciju 70 Hz, dok je frekvencija u odzivu torzijskog momenta m_{s2} iznosa 31 Hz.

Slika 6. prikazuje elektromagnetski moment, pogonski moment i kut opterećenja, te torzijski moment u spojci za slučaj serijske kompenzacije sa $x_c = 0.15$ (rj) odnosno $k_{Lc} = 39\%$. U odzivu elektromagnetskog momenta i torzijskog momenta u spojci nastupa rastitravanje frekvencijom 19 Hz. Međutim, u



Slika 5. Odstup elektromagnetskog momenta m_{elm} , pogonskog momenta m_T , kuta opterećenja δ i torzijskog momenta u spoju generatora — NT turbina m_{s2} reguliranog turboagregata (skokovita promjena reference pogonskog momenta na nazivnu vrijednost) za slučaj kompenziranog prijenosnog voda ($x_c = 0.06$ rj)



Slika 6. prikazuje elektromagnetski moment, pogonski moment i kut opterećenja, te torzijski moment u spoju za slučaj serijske kompenzacije sa $x_c = 0.15$ (rj) odnosno $k_{Lc} = 39\%$. U odzivu elektromagnetskog momenta i torzijskog momenta u spoju nastupa rastitravanje frekvencijom 19 Hz. Međutim, u odzivu elektromagnetskog momenta izražena je i komponenta više frekvencije od oko 80 Hz.

odzivu elektromagnetskog momenta izražena je i komponenta više frekvencije od oko 80 Hz.

Za primjere proračuna prijelazne pojave opterećivanja sinhronog generatora na krutu mrežu preko serijski kompenziranog voda, vlastita frekvencija električnog sistema dobije se prema (1), uvrštavajući za reaktanciju:

$$x_{Ls} = x'_d + x_{v1} + x_z = 0.255 + 0.13 = 0.385 \text{ (rj)}. \quad (13)$$

Za dva prikazana slučaja serijske kapacitivne kompenzacije (sl. 5. i 6), te za još tri izračunata slučaja (prikaz u [L. 14]) vlastite frekvencije električnog sistema f_{er} , te podsinhronne i nadsinhronne frekvencije f_r , kao i frekvencije f_{rsl} karakterističnih veličina očitanih sa slika dane su u tablici 1.

Tablica 1. Vlastite frekvencije električnog sistema, podsinhronne i nadsinhronne frekvencije za jednostavnu konfiguraciju turboagregat — kompenzacioni vod — kruta točka

Br.	x_c [rj]	f_{er} [Hz]	f_r [Hz]		f_{rsl} [Hz]	
			podsinhronna	nadsinhronna	podsinhronna	nadsinhronna
1	0.05	18.0	32.0	68.0	32	—
2	0.06	19.7	30.3	69.7	31	70
3	0.10	25.5	24.5	75.5	25	75
4	0.15	31.2	18.8	81.2	19	80
5	0.25	40.3	9.7	90.3	11	—

U tablici 1. su za zadane vrijednosti serijske kapacitivne kompenzacijske reaktancije x_c izračunate vrijednosti vlastite električne podsinhronne frekvencije f_{er} prema izrazu (1), zatim su izračunate podsinhronne i nadsinhronne frekvencije zakretnog momenta (i izmjeničnih komponenta rotorskih struja) f_r prema izrazu (3). Na kraju su dane podsinhronne i nadsinhronne frekvencije f_{rsl} , koje su očitane sa slika 5. i 6. za slučaje broj 2 i 4, odnosno odgovarajućih iz [14] za preostala tri slučaja.

Na osnovi odziva prelaznih pojava za navedenih pet slučajeva i iznosa frekvencija prema tablici 1. uočava se podudarnost prema teoriji o podsinhronnoj rezonanciji. Osovinski vod razmatranog turboagregata 250 MVA, ima vlastite frekvencije torzionih oscilacija 23.8 Hz i 31.4 Hz. Vidi se da su u primjerima broj 1 ($x_c = 0.05$) i 3 ($x_c = 0.10$) frekvencije vlastitih torzijskih oscilacija osovinskog voda turboagregata f_{nt} vrlo bliske komplementarnim podsinhronnim frekvencijama električnog sistema f_r . Jasno je da je u tim primjerima nastupilo vrlo brzo rastitravanje torzijskih momenata u spojkama, jer se formirani zakretni elektromagnetski moment m_{elm} mijenja podsinhronom frekvencijom $f_r = 32$ Hz (primjer 1), odnosno 24.5 Hz (primjer 3), a kako on (m_{elm}) predstavlja uzbuđu torzijskih oscilacija osovinskog voda koji je sklon torzijskom titranju vlastitim frekvencijama $f_t = 23.8$ Hz i 31.4 Hz, dolazi do rastitravanja. U takvim slučajevima dominira efekt torzijske interakcije između turboagregata i električne mreže s kompenziranim vodom.

Veće vrijednosti serijskog kompenzacijskog kondenzatora (primjeri br. 4 i 5 u tablici 1) daju više vlastite frekvencije električnog sistema, ali niže podsinhronne frekvencije kod kojih je efekt asinhronog generatora izraženiji. Tada je negativni omski otpor rotorskih krugova većih apsolutnih iznosa za struje podsinhronne frekvencije 18.8 Hz (slučaj 4) i 9.7 Hz (slučaj 5), što vodi ka porastu struja armature, a time i svih ostalih veličina koje su direktna ili indirektna funkcija tih struja.

5. ZAKLJUČAK

Prijelazne pojave u turboagregatu funkcija jesu pojava u kompleksnom sistemu turbina-generator-električna mreža. Smetnje u mreži uzrokuju električne, odnosno elektromagnetske pojave u mreži i sinhronom generatoru, što može predstavljati poticaj poja-

vi torzijskih oscilacija u osovinskom vodu turboagregata. Posebno je neugodan fenomen podsinhrone rezonancije, koji nastaje u mrežama koje imaju serijsko-kapacitivno kompenzirane duge vodove. U radu je opisan matematički model formiran tako da omogućuje račun podsinhronih oscilacija, s naglaskom na proračunu torzijskih naprezanja u osovinskom vodu turboagregata.

POPIS OZNAKA

e_n	izlazna veličina filtra u povratnoj vezi regulatora brzine vrtnje
e_{n0}	referentna veličina brzine vrtnje u krugu regulacije brzine vrtnje turboagregata
e_q	napon iza sinhronne reaktancije, proporcionalan uzbudnoj struji
E_q	napon iza sinhronne reaktancije, proporcionalan uzbudnom naponu
f_{en}	podsinhrona i nadsinhrona frekvencija komponenti napona armature
f_{er}	vlastita frekvencija električnog sistema
f_{it}, \dots, f_{nt}	vlastita frekvencija slobodnih torzijskih oscilacija moda od 1 do n
f_r	podsinhrona i nadsinhrona frekvencija komponenti struja rotora
h_2, \dots, h_n	koeficijent unutrašnjeg prigušenja između masa 1 i 2 osovinskog voda agregata, odnosno sve do $(n - 1)$ i n
$i, i_{(2)}$	struja armature osnovnog i drugog generatora
i_{cd}, i_{cq}	struja serijskog kondenzatora u osi d i u osi q
i_d, i_q	struja armature u osi d i osi q osnovnog generatora
i_D, i_Q	struja prigušnog namota osnovnog s. g. u osi d i osi q
i_l	struja uzbude generatora
k_{Lc}	kompenzacijski nivo (odnos serijske kapacitivne reaktancije i ukupne induktancije električnog sistema sa serijski kompenziranim vodovima)
k_n	faktor pojačanja pojačala u krugu regulacije brzine vrtnje turboagregata
k_{nF}	faktor pojačanja filtra u povratnoj vezi regulacije brzine vrtnje turboagregata
m_{elm}	elektromagnetski zakretni moment osnovnog generatora
m_{sn}	torzijski moment u spojki koncentriranih masa 1 i 2 osovinskog voda agregata, odnosno sve do $(n - 1)$ i n
m_{Tn}	zakretni momenti koji djeluju na koncentrirane mase od 1 do n osovinskog voda osnovnog agregata
n	brzina vrtnje osnovnog sinhronog generatora
P_m^m	pojedine veličine unutar kruga regulacije brzine vrtnje turboagregata
P_m	ukupna pogonska snaga svih dijelova turbine
P_{m0}	početna vrijednost pogonske snage u krugu regulacije brzine vrtnje turboagregata
P_{max}	maksimalna ukupna pogonska snaga turbine
r	omski otpor faze armature generatora
r_v	vanjski omski otpor (vod, transformator ili potrošač)
r_D, r_Q	omski otpor prigušnog namota u d i q osi
r_l	omski otpor uzbudnog namota
t	vrijeme
T_{mn}	mehaničke vremenske konstante koncentriranih masa od 1 do n osovinskog voda osnovnog agregata

u_a, u_b, u_c	napon faza a, b i c armature generatora
u_{cd}, u_{cq}	napon serijskog kondenzatora u d i q osi
u_d, u_q	napon armature generatora u d i q osi
x_c	reaktancija serijskog kondenzatora
x_d', x_q'	početna sinhrona reaktancija s. g. u d i q osi
x_D, x_Q	reaktancija prigušnog namota s. g. u d i q osi u praznom hodu
x_v	vanjska reaktancija (vod, transformator ili potrošač)
x_e	reaktancija prenosnog voda
x_t	reaktancija transformatora
$\alpha_1, \dots, \alpha_n$	koeficijent vanjskog prigušenja koncentrirane mase od 1 do n osovinskog voda agregata
δ	kut opterećenja osnovnog generatora
ψ_d, ψ_q	ulančeni tokovi armaturnog namota s. g. u d i q osi
ψ_D, ψ_Q	ulančeni tokovi prigušnog namota u d i q osi
ψ_l	ulančeni tok uzbudnog namota generatora
$\varphi_1, \dots, \varphi_n$	kut zakreta pojedinih koncentriranih masa osovinskog voda agregata od 1 do n
ω	el. kutna brzina osnovnog generatora
$\omega_1, \dots, \omega_n$	el. kutna brzina pojedinih koncentriranih masa od 1 do n osovinskog voda osnovnog agregata.

Bazne veličine odabrane su kako je to uobičajeno za analizu prijelaznih pojava kao u [14]. Za važnije veličine bazne vrijednosti su:

napon armature	$U_b = \sqrt{2} \cdot U_{qn}$
struja armature	$I_b = \sqrt{2} \cdot I_{fn}$
snaga	$S_b = S_n$
kutna brzina rotora	$\omega_{mb} = \omega_s / p$
el. kutna brzina	$\omega_b = \omega_s = 2 \cdot \pi \cdot f_n$
moment	$M_b = S_b / \omega_{mb}$
vrijeme	$t_b = 1 / \omega_s$

LITERATURA

- [1] V. JARIĆ G. OREŠKOVIĆ: »Mehanička naprezanja u osovinskom vodu turboagregata pri nestacionarnim stanjima i dimenzioniranju rotora generatora«, Ref. 11. 09, XVII Sav. CIGRE, Struga, 1985.
- [2] Z. MALJKOVIĆ: »Utjecaj smetnji u električnoj mreži na torzione oscilacije turbogeneratora«, Ref. 11. 01., XVIII Savj. CIGRE, Budva, 1987.
- [3] G. OREŠKOVIĆ, Z. MALJKOVIĆ, Z. ČULIG: »Analiza elektromehaničkih prelaznih stanja velikih generatora«, Ref. 11. 02, XVIII Savj. CIGRE, Budva, 1987.
- [4] Z. MALJKOVIĆ: »Analiza utjecaja smetnji u mreži na torzione, oscilacije turbogeneratora u sklopu dvomašinskog modela«, Ref. 11. 02, XIX Savj. CIGRE, Bled, 1989.
- [5] G. OREŠKOVIĆ, B. MEŠKO, L. GAVRIĆ: »Proračun torzionih vibracija i određivanje kumulativa oštećenja osovine rotora turboagregata kod nestacionarnih režima«, IFTOMM, Karlovac, 1989.
- [6] IEEE Committee Report: »A bibliography for the study of subsynchronous resonance between rotating machines and Power systems«, IEEE Trans., Vo. PAS-95, No. 1, Jan/Feb. 1976.
- [7] IEEE Committee Report: »First supplement to a bibliography for the study of subsynchronous resonance between rotating machines and Power systems«, IEEE Trans., Vol PAS-98, No. 6, Nov/Dec. 1979.

- [8] IEEE Committee Report: »Second supplement to a bibliography for the study of subsynchronous resonance between rotating machines and power systems«, IEEE Trans., Vol. PAS – 104, No. 2, Feb. 1985.
- [9] IEEE SSR Working Group: »Proposed terms and definitions for subsynchronous oscillations«, IEEE Trans., Vol. PAS – 99, No. 2, March/Apr. 1980.
- [10] IEEE SSR Working Group: »Terms, definitions and symbols for subsynchronous oscillations«, IEEE Trans., Vol. PAS – 104, No. 6, June 1985.
- [11] IEEE SSR Working Group: »First benchmark model for computer simulations of SSR«, IEEE Trans., Vol. PAS – 96, No. 5, Sep/Oct. 1977.
- [12] IEEE SSR Working Group: »Second benchmark model for computer simulations of SSR«, IEEE Trans., Vol. PAS – 104, No. 5, May 1985.
- [13] IEEE SSR Working Group: »Countermeasures to subsynchronous resonance problems« IEEE Trans., Vol. PAS – 99, No. 5, Sept/Oct. 1980.
- [14] Z. MALJKOVIĆ: »Utjecaj smetnji u električnoj mreži na torzione oscilacije osovinskog voda velikih turboagregata«, doktorska disertacija, ETF – Zagreb, 1990.

SUBSYNCHRONOUS OSCILLATIONS IN THE NETWORK AS A CAUSE OF ROTOR TORSIONAL STRAIN IN TURBINES

Torsional oscillations in the axle complex of large turbines caused by disturbances in the electrical network are discussed. A specific cause for such potentially dangerous oscillations is the subsynchronous resonance of the turbine and the electrical network with series compensation of the transmission lines. Calculation of the torsional oscillations of a turbine axle using a complete mathematical model is presented, whereby the axle is represented by several concentrated rotating masses. As a concrete example, the influence of serial capacitance compensation on the subsynchronous oscillations of the rotational moments in the axle is analyzed for a 250 MVA turbine.

UNTERSYNCHROME OSZILLATIONEN ALS URSACHE DER TORSIONSSPANNUNG DES TURBOAGREGAT-ROTORS

Im Artikel beschreibt man die Torsionsoszillationen der Achsen grosser Turboaggregate, die durch Störungen im Stromnetz entstanden sind.

Eine besondere Anregung solcher Oszillationen mit möglichen gefährlichen Folgen bedeutet die untersynchrone Resonanz der Turboaggregate und des Stromnetzes mit serienkapazitiven kompensierten ÜBERTRAGUNGSLEITUNGEN.

Man schildert die Berechnung der Torsionsoszillationen der Achselleitung des Turboagregates mittels der Anwendung des mathematischen Modells, in dem die Achselleitung aus einigen konzentrierten Rotationsmassen besteht.

Als konkretes Beispiel des Turboagregates der Stärke 250 MVA wurde der Einfluss der serienkapazitiven Kompensation auf untersynchrone Oszillationen der richtungswechselnden Momente in der Achselleitung des Agregates analysiert.

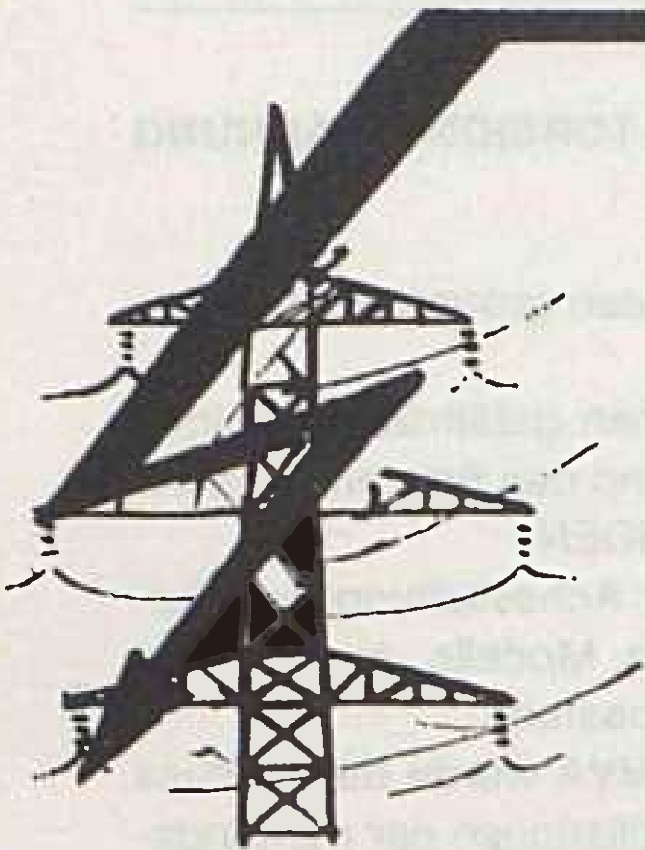
ПОДСИНХРОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В СЕТИ КАК ПРИЧИНА НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ КРУЧЕНИИ РОТОРА ТУРБОАГРЕГАТА

В статье рассматриваются крутильные колебания о севого сопряжения крупных турбоагрегатов, вызванные помехами в электросетях. Особым видом возникновения таких колебаний с возможными опасными последствиями является подсинхронный резонанс турбоагрегата и электросети с серийно выравненными линиями электропередачи. Представлен расчет крутильных колебаний осевой линии турбоагрегата применением комплектной математической модели, в которой осевая линия представлена с несколькими концентрированными ротационными массами. Для конкретного примера турбоагрегата мощности 250 МВА проанализировано влияние серийным выравниванием мощности на подсинхронные колебания моментов вращения в осевой линии агрегата.

Naslov pisca:

Dr. Zlatko Maljković, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb
41000 Zagreb, Unska 3,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1990-11-10

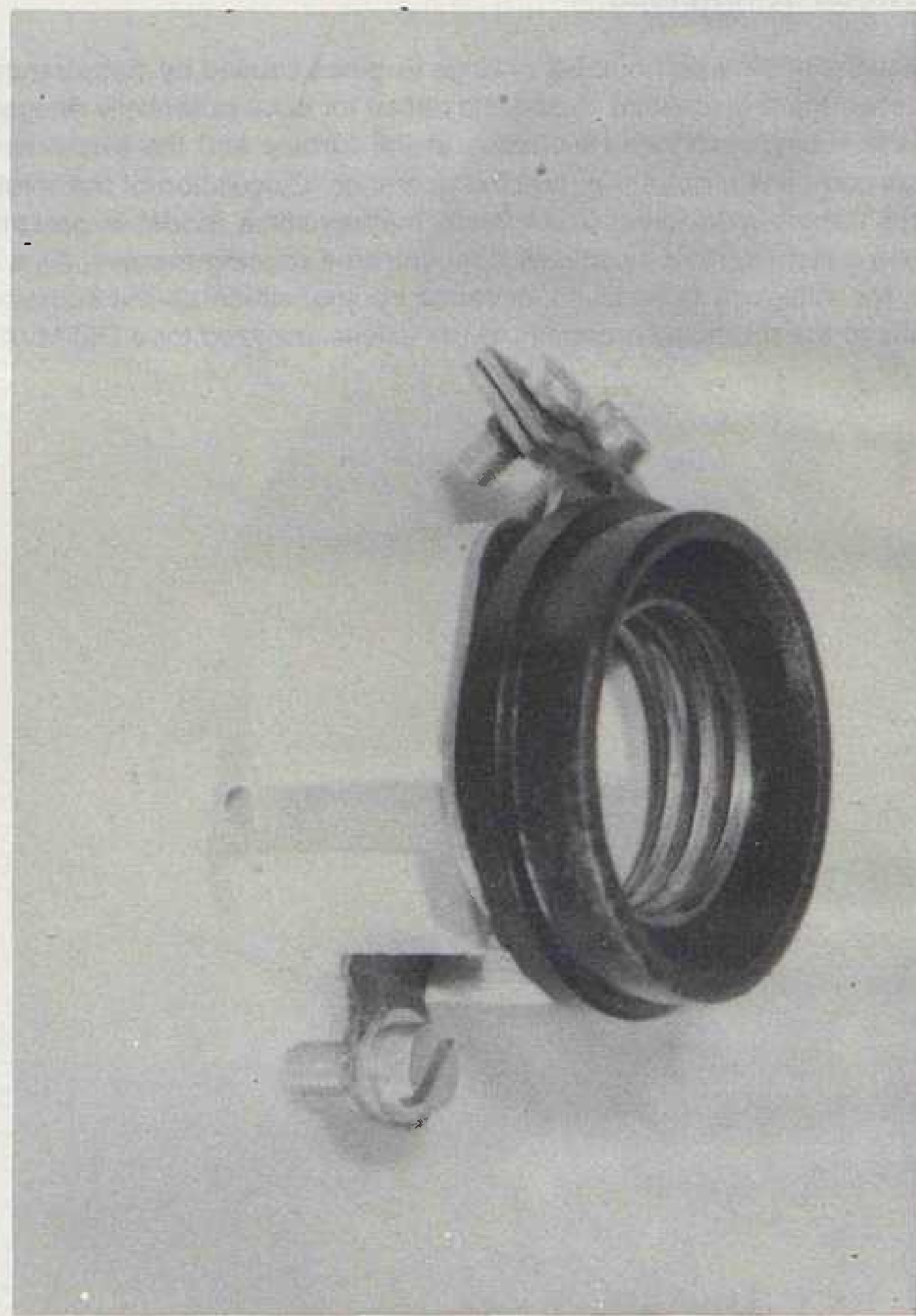
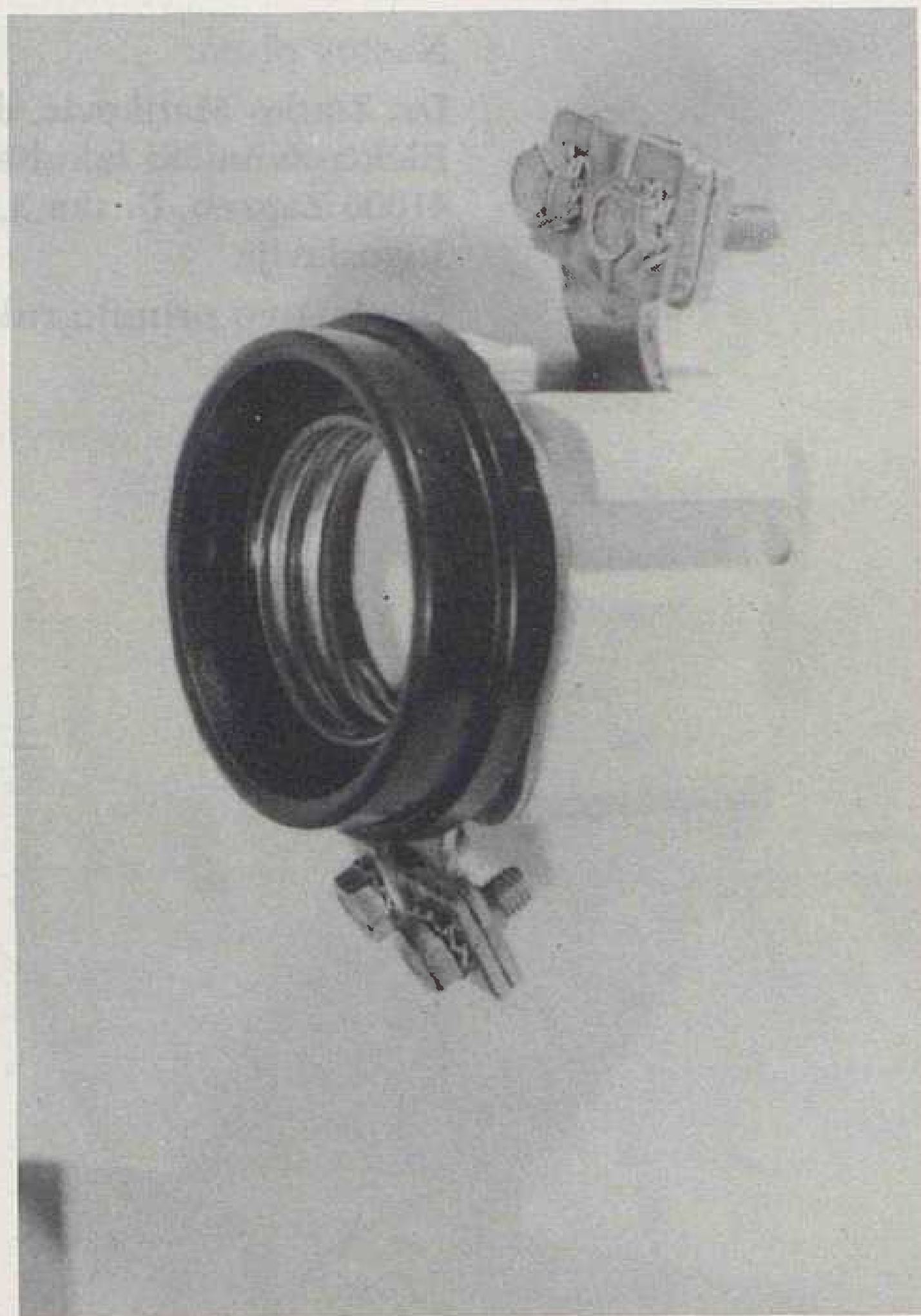


STRUJA

ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P. O.
tel. centrala: 420791, 420786 ZAGREB
direktor: 273-909 GUNDULIĆEVA 16

ATEST

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

HEURISTIČKI ALGORITAM ZA OPTIMALNO PLANIRANJE POVEZNIH RAZDJELNIH MREŽA

Dr. Slavko Krajcar, Zagreb

UDK 621.316.1:681.3

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu se obrađuje problematika optimalnog planiranja povezne razdjelne mreže urbanih područja. Problem se razmatra kao problem dostave iz dva izvora. Opisuje se heuristički algoritam linearnog pretraživanja za pronalaženje opskrbnog područja napojnih kabela. Na primjeru se prikazuje djelotvornost primjene u realnim mrežama.

Ključne riječi: razdjelne mreže, linearno programiranje, problem dostave, povezna razdjelna mreža

1. UVOD

Razdjelne mreže, s osnovnim zadatkom da u svakom momentu krajnjem potrošaču osiguraju kvalitetnu energiju, zbog njihove rasprostranjenosti, možda više nego ostale dijelove sistema, karakteriziraju principi optimalnosti, jer su tehnički zahtjevi, pogotovo u urbanim područjima, relativno lako ostvarljivi.

Dosadašnje je planiranje izgradnje razdjelnih mreža polazilo pretežno od osobnih iskustava planera koji je, uvažavajući dane uvjete, postavljao i računao pojedine slučajeve. Zbog složenosti postupaka, velikog broja podataka i najčešće ograničenog vremena planer je u mogućnosti računati samo ograničen broj varijantnih rješenja. Ako bi planer i računao veći broj varijanti, osim što postoji opasnost potpunog gubitka preglednosti, dobivena bi korist spram utrošenog vremena bila malena. Računalo se u takvim planskim postupcima rabi samo u smislu podrške u pomoćnim računalima.

Osnovni je nedostatak većine do sada razvijenih analitičkih algoritama u tome što se ipak za svako varijantno rješenje najčešće treba postaviti jedno početno, obično redundantno rješenje, koje se onda optimizacijskim algoritmima troškovno minimizira zadovoljavajući dana ograničenja. O veličini redundancije ovisi točnost rješenja. Povećanom redundancijom, naravno, bitno raste i vrijeme računanja. Subjektivnost planera, makar i nenamjerna, neizbježna je zbog nužnosti postavljanja početnog rješenja.

Objektiviranje problema, rasterećenje planera rutinskog rada, kvantifikacija što većeg broja uvjeta i ograničenja na način pogodan za matematičko optimiranje, preskriptivnost i interaktivnost modela novi su pristupi u optimiranju složenih problema. Cilj je, dakle, da se planiranje, na temelju zadanih pravila, vodi pomoću računala, obrađujući znatno veći broj optimalnih varijantnih rješenja. Planeru preostaje

da obavlja kvalitativnu procjenu ponuđenih rješenja te da u okolini ponuđenih optimalnih rješenja, u interaktivnom radu s računalom, traži dodatna rješenja, uključujući ona ograničenja koja nisu matematički opisiva.

2. PROBLEM DOSTAVE IZ DVA IZVORA

Problem strukturiranja povezne razdjelne mreže može se definirati kao:

Postoje dva izvora (TS 110/x kV) i $(n - 2)$ mjesta potražnje tih dobara (potrošača, $T_s x/0.4$ kV). Kako sa m kabela, svako ograničenog kapaciteta (presjeka), obiće sva mjesta potražnje uz minimalni prijedeni put (trošak), zadovoljavajući pritom tehničke uvjete kvalitete električne energije? Svaki kabel polazi iz jednog izvora obilazi određeni broj potrošača, samo jednom, i ulazi u drugo skladište.

Problem kako je gore opisan u suštini je sličan problemu dostave iz jednog izvora opisanom u [1,2]. No, iako sličnost postoji, za rješavanje se ne mogu koristiti isti heuristički algoritmi. Stoga je za potrebe strukturiranja povezne mreže razvijen novi heuristički algoritam čiji je opis predmet ovog rada.

Prije matematičkog opisa uvest će se neke oznake:

- Ukupno ima n lokacija, od čega dva izvora (neka su to $i = 1, 2$) i $(n - 1)$ lokacija potražnje ($i = 2, 3, \dots, n \in \mathbb{N}$),
- Poznata je matrica udaljenosti (troškova) 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.

Radi mogućnosti korištenja algoritma trgovačkog putnika potrebno je uvesti neke dodatne pretpostavke. Naime, problem u smislu trgovačkog putnika potpuno je definiran ako postoji zatvoreni put

obilazaka, dakle povratak u mjesto kretanja. Budući da to u ovom slučaju nije ostvareno neka je trošak transporta između dva izvora jednaka nuli, $t_{12} = 0$, i neka svaki kabel koji izlazi iz jednog ulazi u drugi izvor.

- Svaki čvor potražnje ima zahtjev za snagom x^i ,
- Ukupni je broj kabela m (ne mora biti ograničenje) i
- 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 [1].

Sada se problem strukturiranja povezne može opisati kao:

Kabel v ($v = 1, 2, \dots, m$) polazi iz skladišta 1 obilazi potrošače 1 do h ulazi u skladište 2 i vraća se u polazište. Ako vozilo v obilazeći

$$N^v = \{1, 1+1, \dots, h, 2\} \subseteq N \quad (2.1)$$

prolazi minimalnim putem zadovoljavajući uvjete

$$x_v = \sum_{i \in N^v} x^i \leq x_{\max}, \quad (2.2)$$

$$d_v = \sum_{i,j \in N^v} t_{ij} \leq d_{\max}, \quad (2.3)$$

tada je formirana staza S^v . Treba pronaći takav skup staza S 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 dodatne uvjete:

$$\begin{aligned} N^1 \cup N^2 \cup \dots \cup N^m &= N, \\ t_{1i} + t_{i2} &\leq d_{\max}, \\ x^i &\leq x_{\max}, \\ t_{12} &= t_{21} = 0. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Za rješenje problema strukturiranja povezne mreže, kako je prije definiran, do danas nije razvijen prikladan postupak. U ovom će se radu prikazati jedan heuristički postupak koji koristi tzv. algoritam linearnog pretraživanja za određivanje opskrbnih područja pojedinih vodova, razvijen upravo za potrebe optimalnog oblikovanja povezne mreže [1].

2.1. Algoritam linearnog pretraživanja

Osnovna je ideja algoritma linearnog pretraživanja rastavljanje cijelog problema u m potproblema u kojima se optimalnije obavlja algoritmom trgovačkog putnika. Rastavljanje se obavlja pretraživanjem određenog broja lokacija po modificiranim koordinatama lokacija uz zadovoljenje određenih ograničenja. Međuutjecaji potproblema rješavaju se uz određena heuristička poboljšanja među stazama.

Lokacije potrošnje i izvora predstavljaju točke u *Euklidovoj ravnini* opisane pravokutnim koordinatama z_i i y_i . Za potrebe algoritma linearnog pretraživanja treba koordinate z_i i y_i modificirati u nove:

$$\begin{aligned} z'_i &= (z_i - z_1) * \cos \alpha - (y_i - y_1) * \sin \alpha, \\ y'_i &= (z_i - z_1) * \sin \alpha + (y_i - y_1) * \cos \alpha, \end{aligned}$$

s time da je:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \arctan \left[\frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1} \right].$$

Lokacije se sada poredaju po rastućoj koordinati z' , s time da prva dva člana u poredku predstavljaju skladišta. Lokacija i ispred je lokacije j ako je $z'_i < z'_j$. Ako je $z'_i = z'_j < 0$ tada je $i > j$ ako je $r_i > r_j$, a ako je $z'_i = z'_j \geq 0$ tada je $i < j$ ako je $r_i < r_j$. Za r vrijedi da je:

$$r_i = \sqrt{[z_i^2 + y_i^2] \sqrt{[z_i^2 + (y_2 - y_1)^2]}} \quad (2.6)$$

Neka je, radi jednostavnosti, poredak u originalnom koordinatnom sustavu takav da zadovoljava zahtjevani poredak u modificiranom.

Optimiranje se provodi u dva stupnja. Prvi, tzv. *lijevostrano linearno pretraživanje*, započinje lokacijom koja ima najmanji z' ($i=3$), i drugi tzv. *desnostrano linearno pretraživanje*, započinje lokacijom koja ima najveći z' ($i=n$).

Lijevostrano linearno pretraživanje (LLP) započinje tako da se formira skup N^1 počevši s lokacijom koja ima najmanji z'_i ($i=3$), dodavajući sljedeće lokacije po redosljedu, vodeći brigu da se ne prekorači zadani kapacitet, odnosno da vrijedi:

$$x_1 = \sum_{i \in N^1} x^i \leq x_{sr}, \quad (2.7)$$

s time da je:

$$x_{sr} = \frac{\sum_{i=3}^n x^i}{\text{nint} \left\{ \frac{\sum_{i=3}^n x_i}{x_{\max}} \right\} + \text{con}} \quad (2.8)$$

što zapravo odgovara očekivanom prosječnom opterećenju svih staza. Konstanta *con* računa se iz izraza:

$$\text{con} = \text{nint} \left\{ (0.2 \div 0.5) * \frac{\sum_{i=3}^n x_i}{x_{\max}} \right\}. \quad (2.9)$$

Veći broj u izrazu (2.9) odgovara problemima s manjim brojem staza. Tako formirani skup:

$$N_1 = \{1, 2, 3, \dots, k\} \subseteq N, \quad (2.10)$$

bit će baza za kasnije optimiranje. Na isti način formiraju se i ostali skupovi lokacija N_2, N_1 itd. do:

$$N_v = \{1, 2, 1+1, \dots, h\} \subseteq N. \quad (2.11)$$

Ako je:

$$0 < \sum_{i=3,v} x^i - \sum_{i=1,v} x_i < 0.5 * x_{sr}, \quad (2.12)$$

tada se ne formira novi skup, već se preostale neraspoređene lokacije preraspodjele u već postojeće skupove $(1, 2, \dots, m)$. Najprije se sve preostale lokacije raspodjele u N^m . Ako je:

$$x_m \leq x_{\max}, \quad (2.13)$$

lokacije su raspoređene i nastavlja se s **ispitivanjem**; inače se iz N^m izbacuje a u N^{m-1} ubacuje toliko lokacija da gornji uvjet bude zadovoljen. Provjerava se sada x_{m-1} i ponavlja se isti postupak ako je ograničenje prekoračeno. Na taj se način ispituju svi skupovi dok se ne rasporede svi viškovi.

Ispitivanje se sada nastavlja provjerom ograničenja na udaljenost. **Algoritmom trgovačkog putnika (ATP)** odredi se duljina d_1 za stazu S^1 da bi se obišle lokacije iz N^1 . Ako je:

$$d_1 > d_{\max}, \quad (2.14)$$

iz N^1 se izbaci posljednje uzeta lokacija (lokacija s najvećim z') i ubaci se u N^2 . Pronađe se ponovno duljina d_1 i provjerava ograničenje. Postupak se ponavlja sve dok ograničenje nije zadovoljeno.

Zatim se **ATP**-om odredi duljina d_2 za stazu S^2 s lokacijama iz N^2 . Provjerava se da li su zadovoljeni uvjeti:

$$d_2 \leq d_{\max} \text{ i } x_2 \leq x_{\max}. \quad (2.15)$$

Ako su uvjeti zadovoljeni, nastavlja se ispitivati sljedeća staza; inače se obavi premještanje lokacija u N_3 kako je već opisano.

Isti se postupak ponovi za sve formirane skupove ($v = 3, 4, \dots, m-1$). Ako su uvjeti zadovoljeni, nastavlja se **poboljšanje s jednom izmjenom**, inače se iz N^m vrši premještanje, ali u suprotnu stranu. Lokacija s najmanjom koordinatom iz N^m premješta se u N^{m-1} . Postupak se nastavlja za sve N^v ($v = m-1, m-2, \dots, 1$) dok ima premještanja; inače se nastavlja s **poboljšanjem**. Ako se tako došlo do N^1 , a staza S^1 ne zadovoljava ograničenja, algoritam se započinje ispočetka, ali s novom konstantom con , i to tako da se postavi:

$$con = con + 1 \quad (2.16)$$

Cijeli se postupak zatim ponovi. Kada se zadovolje sva ograničenja, nastavlja se **poboljšanje s jednom izmjenom**.

a) Poboljšanje s jednom izmjenom

Poboljšanje započinje prvom stazom ($v=1$). U skupu N^v pronađu se dvije lokacije. Prva, $i_{u1} = i$, za koju vrijedi:

$$\begin{aligned} \min (r_i) \text{ ako su sve koordinate } z_i > 0, \\ \min (r_i) \text{ ako su sve koordinate } z_i < 0, \\ \max (r_i) \text{ samo za } z_i \geq 0 \text{ ako su } z_i <, =, > 0, \end{aligned} \quad (2.17)$$

i druga, $i_{u2} = i$, prema istim uvjetima (2.17) ali da nije i_{u1} .

Istovremeno se u skupu N^{v+1} pronađu također dvije lokacije. Prva, $i_i = i$, za koju vrijedi:

$$\begin{aligned} \min (r_i) \text{ ako su sve koordinate } z_i > 0, \\ \max (r_i) \text{ ako su sve koordinate } z_i < 0, \\ \max (r_i) \text{ samo za } z_i \leq 0 \text{ ako su } z_i <, =, > 0, \end{aligned} \quad (2.18)$$

i druga, $i_{i2} = i$, prema istim uvjetima (2.18), ali da nije i_{i1} . Vrijednost za r_i određuje iz izraza (2.6).

Neka je, radi jednostavnije notacije, $i_i = i_{i1}$ i $i_u = i_{u1}$. Postupak se nastavlja tako što se **ATP**-om odrede dvije duljine, d_1 i d_2 , za staze S^v i S^{v+1} s lokacijama iz N^v i N^{v+1} . Provjeri se zatim da li je

$$x_v + x^i \leq x_{\max}. \quad (2.19)$$

Ako je uvjet zadovoljen, pronađu se dvije nove duljine:

$$\begin{aligned} d_{21} & \text{ — za skup } N^v \text{ sa } i_i \text{ i} \\ d_{22} & \text{ — za skup } N^{v+1} \text{ bez } i_i; \end{aligned}$$

inače neka je $d_{21} = d_1$ i $d_{22} = d_2$. Provjerava se zatim da li je

$$x_{v+1} + x^{i_u} \leq x_{\max}. \quad (2.20)$$

Ako je uvjet zadovoljen, pronađu se još dvije duljine:

$$\begin{aligned} d_{31} & \text{ — za skup } N^v \text{ bez } i_u \text{ i} \\ d_{32} & \text{ — za skup } N^{v+1} \text{ sa } i_u; \end{aligned}$$

inače neka je $d_{31} = d_1$ i $d_{32} = d_2$. Sada se usporede izračunate duljine. Ako je:

$$d_{21} \leq d_{\max} \text{ i } d_{21} + d_{22} < d_{31} + d_{32}, \quad (2.21)$$

tada se, ako je:

$$d_{21} + d_{22} < d_1 + d_2, \quad (2.22)$$

u stazu S^v odnosno skup N^v uključuje lokacije i_i i nastavlja se ispitivanje sa sljedećim stazama; inače se, ako je

$$d_{31} \leq d_{\max} \text{ i } d_{31} + d_{32} < d_1 + d_2, \quad (2.23)$$

u stazu S^{v+1} odnosno skup N^{v+1} uključuje lokacija i_u i nastavlja se ispitivanjem sa sljedećim stazama. Ako nije izvršena nijedna zamjena, postavlja se $i_i = i_{i2}$ i $i_u = i_{u2}$ i pokuša se još jedno ispitivanje zamjene lokacija.

Ispitivanje se nastavlja sa sljedećim stazama, postavljanjem $v = v+1$ i ponavljanjem postupka **poboljšanje s jednom izmjenom**, osim onda ako se nije došlo do zadnje staze ($v = m$) kada se provjerava da li je u cjelokupnom postupku s jednom izmjenom bilo zamjena. Ako je bila i jedna zamjena, u bilo kojoj stazi, ponavlja se postupak **poboljšanje s jednom izmjenom**, postavljanjem $v = 1$. Ako nije bilo zamjene, nastavlja se **poboljšanje s dvije izmjene**.

b) Poboljšanje s dvije izmjene

Poboljšanje s dvije izmjene započinje se prvom stazom ($v = 1$) tako što se u N^v pronađe lokacija i_u , a u N^{v+1} lokacija i_i prema uvjetima iz (2.17) i (2.18). Odrede se zatim dvije duljine, d_1 za S^v i d_2 za S^{v+1} . Provjeri se zatim ograničenje na kapacitet. Ako je:

$$\begin{aligned} x_v - x^{i_u} x^{i_i} \leq x_{\max}, \\ x_{v+1} + x^{i_u} - x^{i_i} \leq x_{\max} \end{aligned} \quad (2.24)$$

odrede se dvije duljine:

$$\begin{aligned} d_{41} & \text{ — za } N^v \text{ sa } i_i \text{ a bez } i_u \text{ i} \\ d_{42} & \text{ — za } N^{v+1} \text{ sa } i_u \text{ a bez } i_i; \end{aligned}$$

inače se nastavlja s ispitivanjem. Ako je sada:

$$d_{41} \leq d_{\max} \text{ i } d_{42} \leq d_{\max} \text{ i } d_{41} + d_{42} < d_1 + d_2 \quad (2.25)$$

u stazu S^v odnosno skup N^v uključi se i_i a isključi i_u dok se u stazu S^{v+1} odnosno skup N^{v+1} uključi i_u a isključi i_i .

Ispitivanje se nastavlja postavljanjem $v = v+1$ i ponavljanjem postupka **poboljšanje s dvije izmjene**, osim onda ako se nije došlo do zadnje staze ($v = m$), kada se provjerava da li je u cjelokupnom postupku s dvije izmjene bilo zamjena. Ako je bila makar jedna zamjena, u bilo kojoj stazi, postupak se ponavlja postavljanjem $v = 1$. Ako nije bilo nijedne zamjene, tada je algoritam lijevostranim pretraživanjem završen. Izračuna se sada ukupna duljina za sve staze:

$$d_{ul} = \sum_{i=1,m} d_i. \quad (2.26)$$

čime je pronađeno optimalno ili brzo optimalno rješenje korištenjem lijevostranog linearnog pretraživanja.

Desnostrano linearno pretraživanje (DLP) istovjetno je opisanom lijevostranom algoritmu, osim što se formiranje početnih skupova N^v i N^{v+1} započinje s lokacijama od najveće koordinate z' i što se lokacije s kojima se vrši zamjena traže pema nešto izmijenjenim kriterijima.

U skupu N^v pronađe se lokacija, i_u , za koju vrijedi:

$$\begin{aligned} \min (r_i) & \text{ ako su sve koordinate } z'_i > 0, \\ \max (r_i) & \text{ ako su sve koordinate } z'_i < 0, \\ \max (r_i) & \text{ samo za } z'_i \geq 0 \text{ ako su } z'_i <, =, > 0. \end{aligned} \quad (2.27)$$

U skupu N^{v+1} pronađe se lokacija, i_i , za koju vrijedi:

$$\begin{aligned} \max (r_i) & \text{ ako su sve koordinate } z'_i > 0, \\ \min (r_i) & \text{ ako su sve koordinate } z'_i < 0, \\ \max (r_i) & \text{ samo za } z'_i \leq 0 \text{ ako su } z'_i <, =, > 0. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Kada se postupak završi, izračuna se ukupna duljina kao:

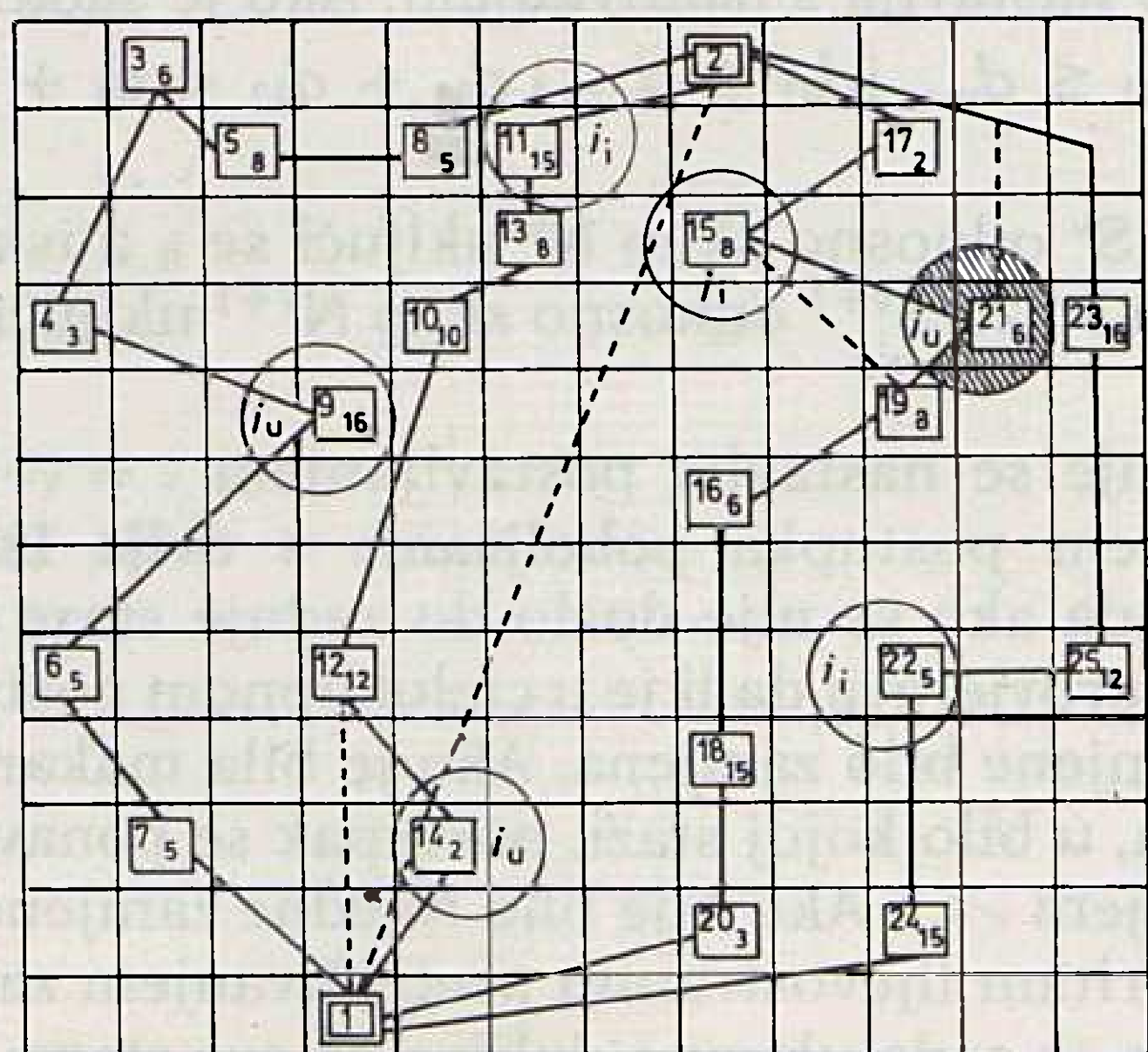
$$d_{ud} = \sum_{i=1, m} d_i. \quad (2.29)$$

čime je pronađeno optimalno ili blizu optimalno rješenje korištenjem desnostranog linearnog pretraživanja.

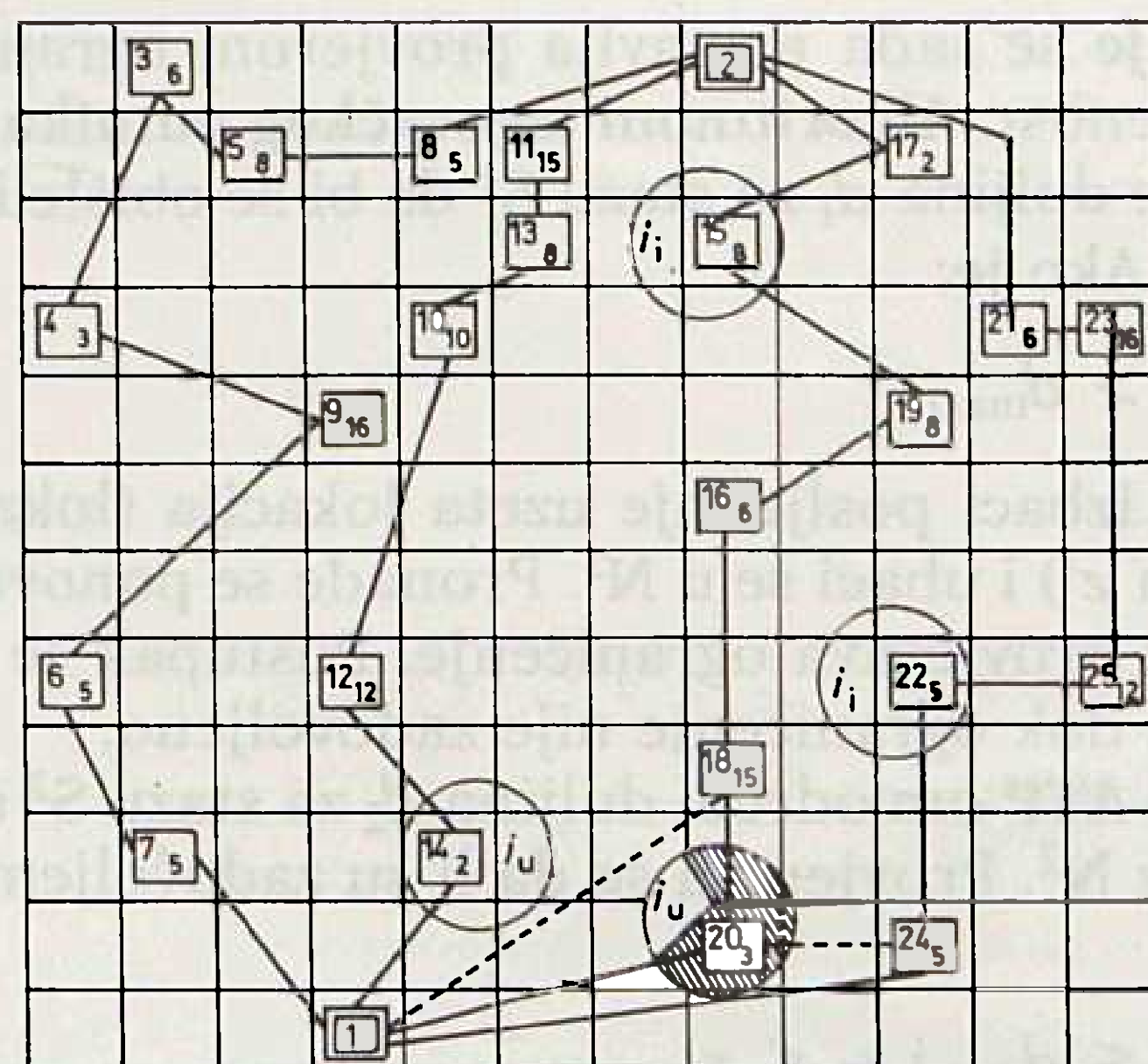
Rješenje koje daje manju ukupnu duljinu predstavlja **optimalno** rješenje ili **rješenje koje je blizu optimalnoga** za zadani problem dostave s dva izvora.

Radi boljeg razumijevanja algoritma linearnog pretraživanja dat će se jedan jednostavan primjer sa svim koracima optimiranja.

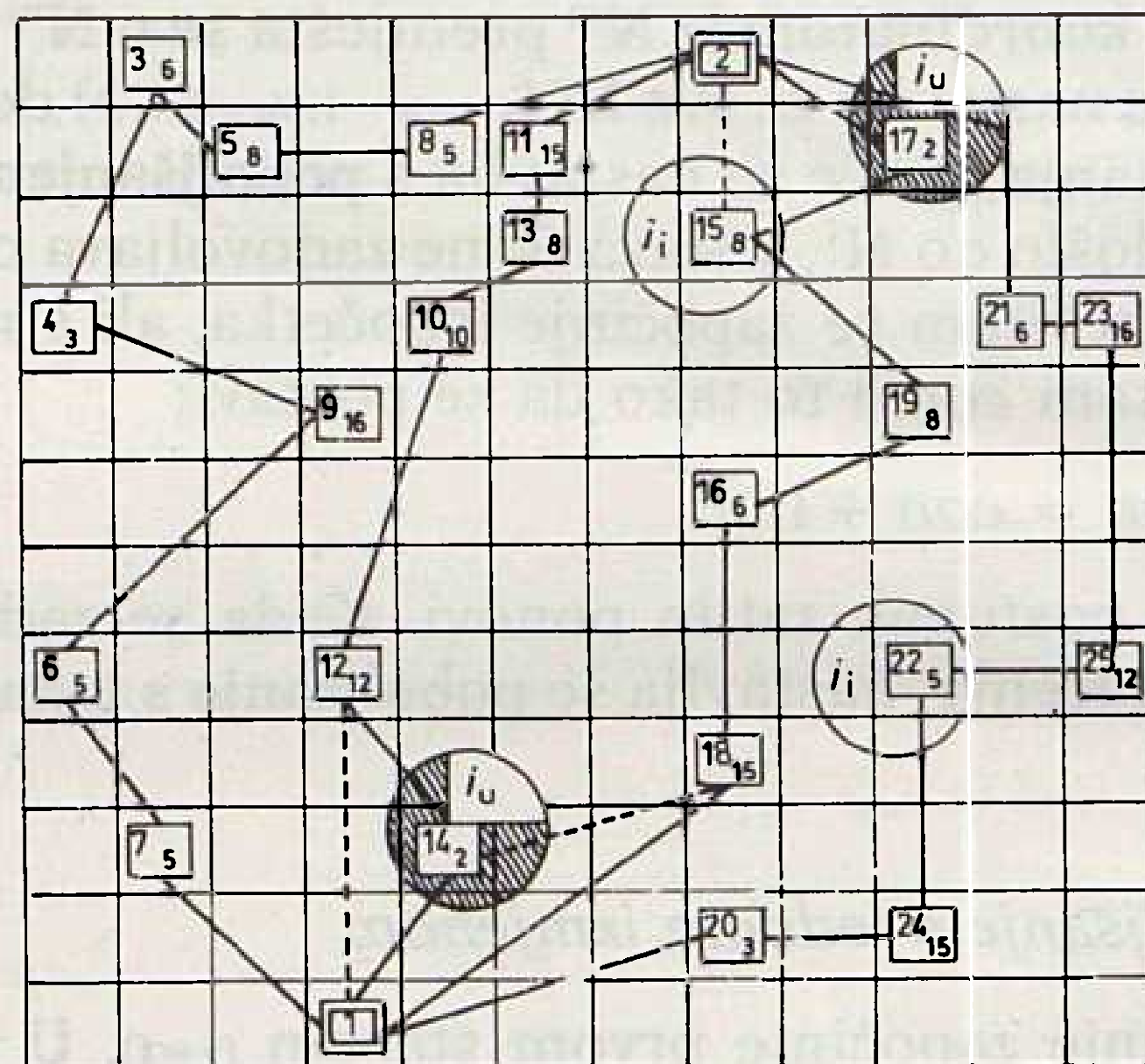
Na slici 1. prikazano je područje s dva izvora (1 i 2) i 28 lokacija potrošnje. Potražnja svakog potrošača dana je u desnom donjem uglu kvadratića, a redni brojevi, već poredani po rastućoj koordinati z' , u gornjem lijevom. Udaljenosti među lokacijama jednake su cjelobrojnoj vrijednosti geometrijske udaljenosti. Ograničenje za kapacitet neka iznosi $x_{max} = 60$, a za udaljenost $d_{max} = 300$. Konstanta con uzima se 1 a očekivana vrijednost srednjeg opterećenja $x_{sr} = 48$. Rezultati optimiranja mogu se pratiti po iteracijama dane slikama 1 do 5.



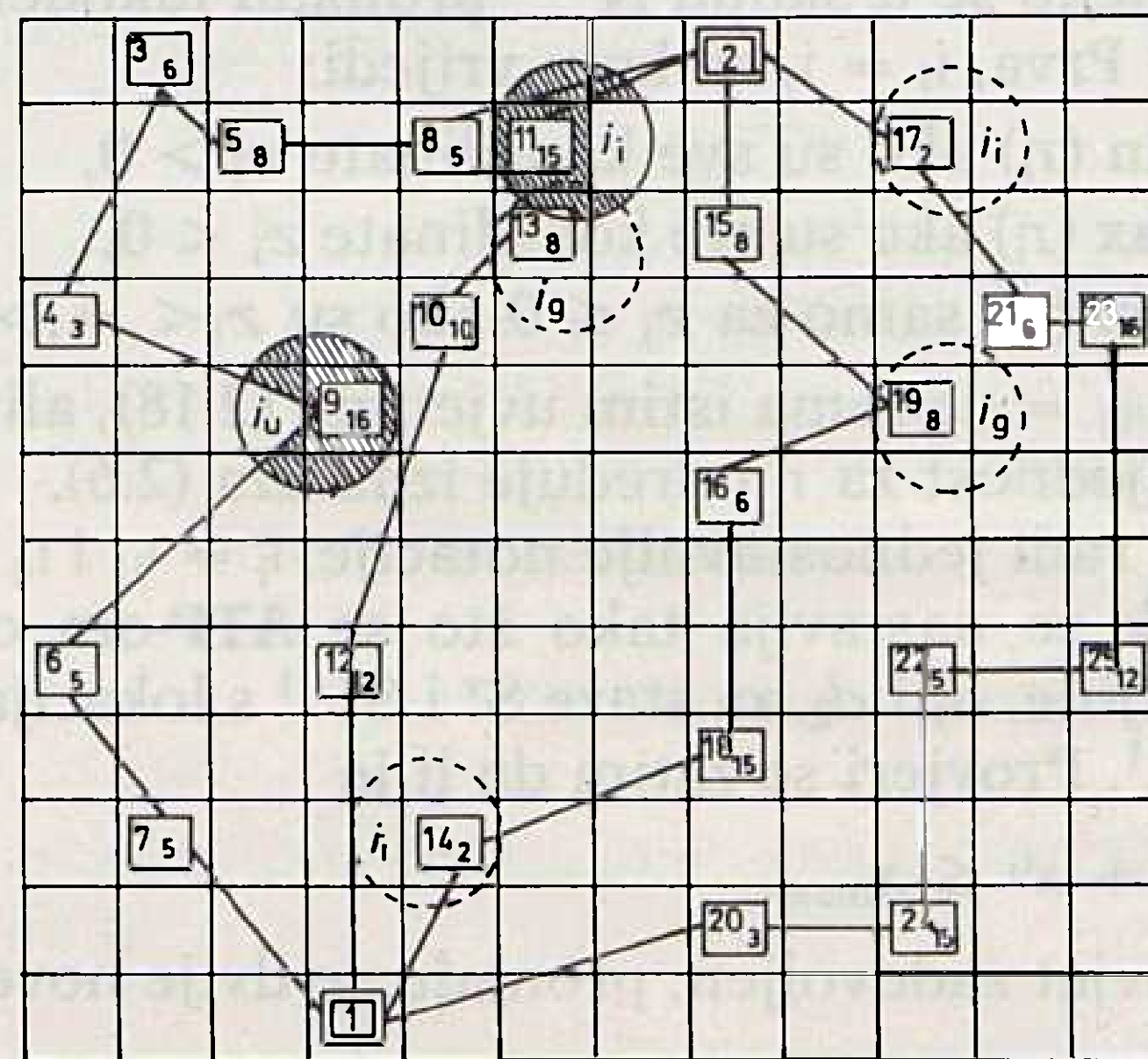
Slika 1. Primjer područja za optimiranje algoritmom LLS – inicijalne staze i prva iteracija



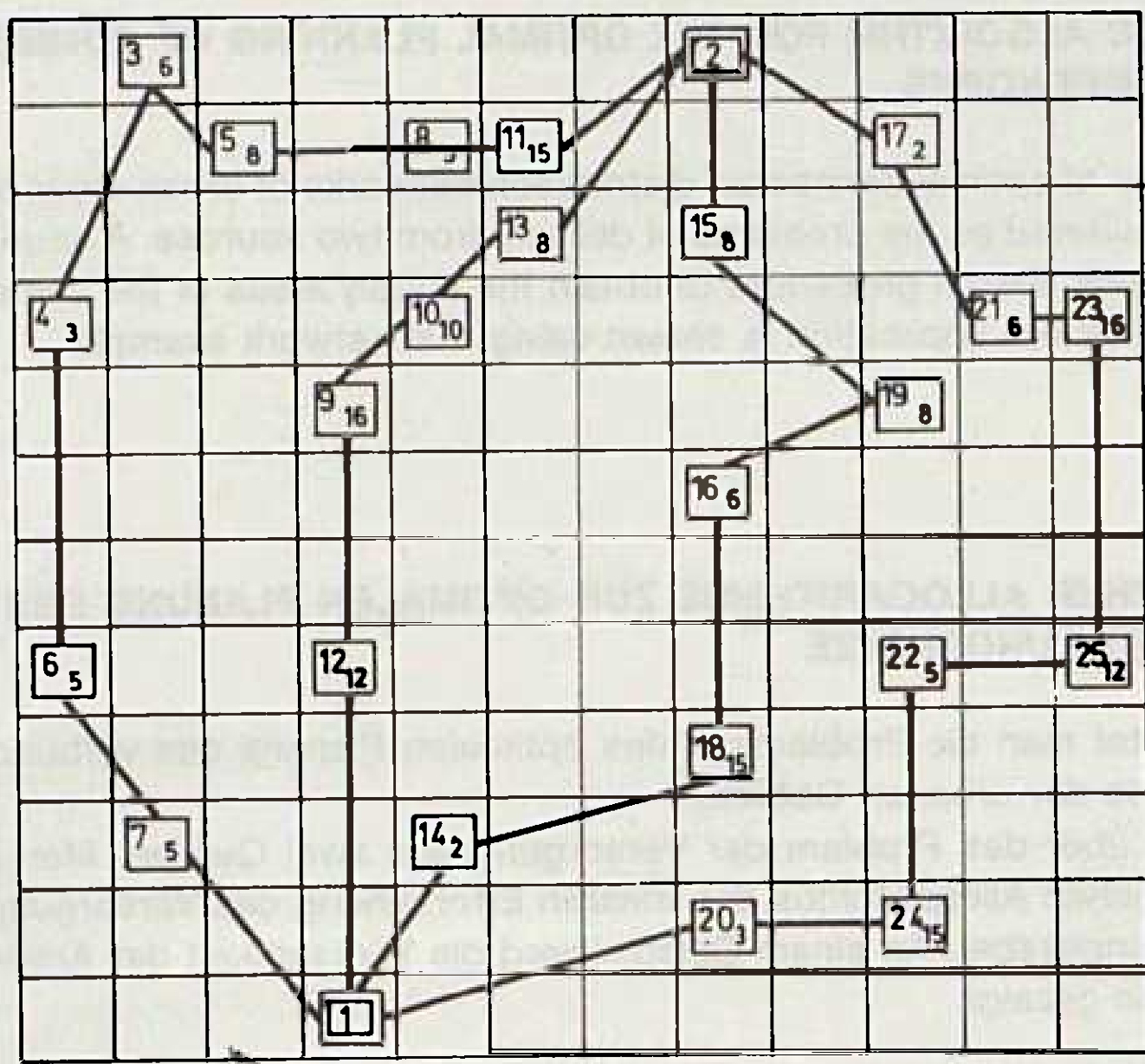
Slika 2. Primjer područja za optimiranje algoritmom LLP – druga iteracija



Slika 3. Primjer područja za optimiranje algoritmom LLP – treća iteracija



Slika 4. Primjer područja za optimiranje algoritmom LLP – dvostruka izmjena



Slika 5. Primjer područja za optimiranje algoritmom LLP – konačno stanje

$$i_{u1} = 9 \quad i_{i1} = 11.$$

Lijevostranim linearnim pretraživanjem formirane su staze (sl. 5):

$$S^1 = \{1-7-6-4-3-5-8-11-2\} \text{ uz } x_1 = 47, \quad d_1 = 147,$$

$$S^2 = \{1-12-9-10-13-2\} \text{ uz } x_2 = 46 \quad d_2 = 126,$$

$$S^3 = \{1-14-18-16-18-15-2\} \text{ uz } x_3 = 39, \quad d_3 = 153,$$

$$S^4 = \{1-20-24-22-25-23-21-17-2\} \text{ uz } x_4 = 60, \quad d_4 = 205,$$

s ukupnom duljinom:

$$d_{u1} = 671.$$

Desnostranim linearnim pretraživanjem se u ovom slučaju dobije potpuno isti rezultat.

Treba na kraju kazati da se optimiranje može još jednom provesti sa smanjenom konstantom con (npr. $con = con - 1$) ako su formirane staze potopterećene ($x_i \ll x_{max}$). Rezultat smanjenja konstante con bit će manji broj staza. Prihvaća se ono rješenje koje daje manje ukupne troškove.

Radi jednostavnosti praćenja modela za prezentiranje korištena je mreža bez postojećeg stanja (*Arabic Desert*). Model, dakako, omogućava i strukturiranje već postojeće mreže uz obuhvaćanje postojećeg stanja. To se postiže optimiranjem mreže preko troškova i adekvatnim ekonomskim vrednovanjem postojećih vodova. Umjesto preko duljina optimira se preko troška koji se može uzeti kao:

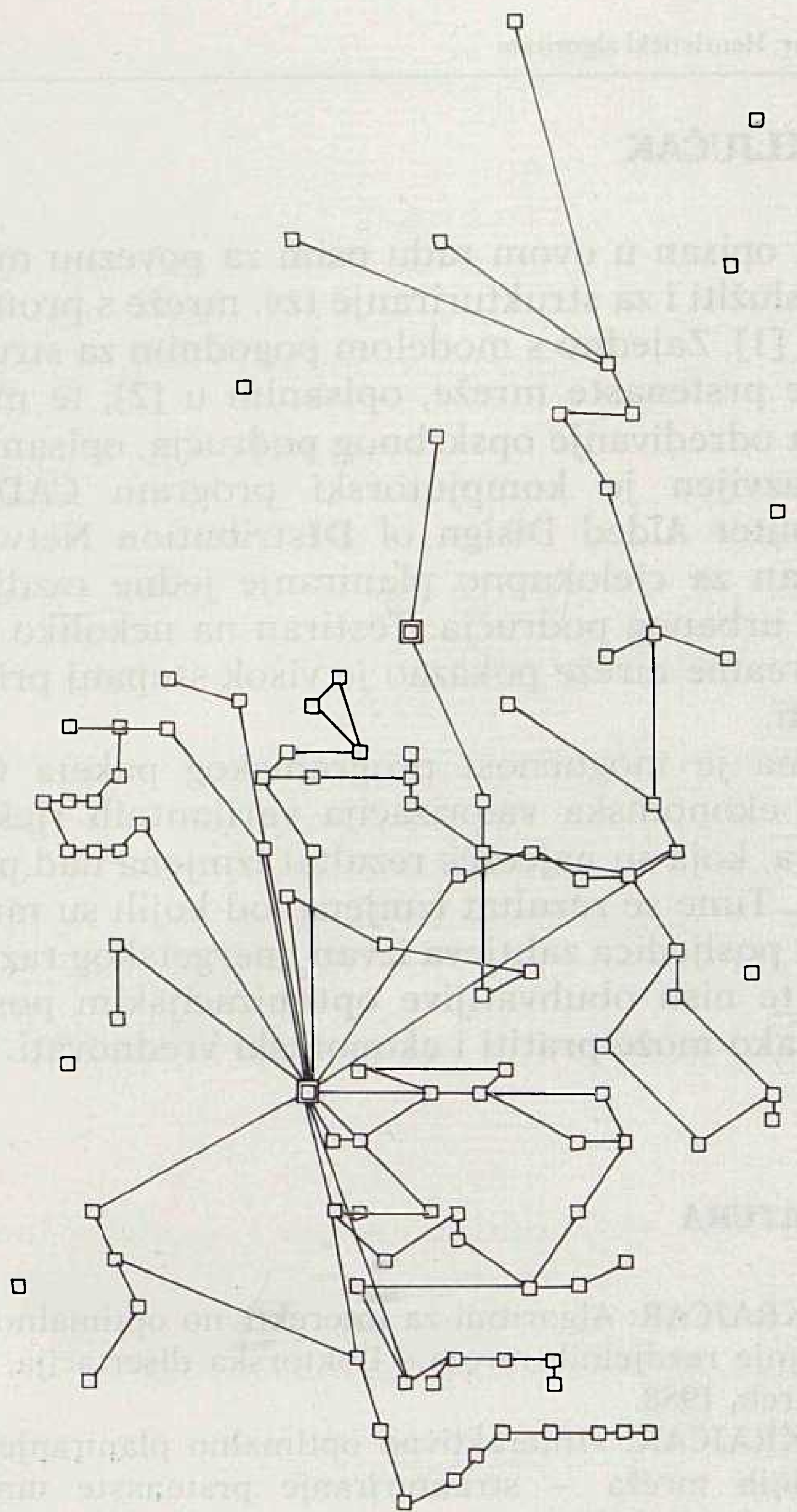
povezivanje čvora je: $t'_{ij} = a_{ij} * t_{ij}$, gdje je

$$a_{ij} = \begin{cases} \alpha & \text{ako postoji veza između } i \text{ i } j \\ \beta & \text{ako ne postoji veza između } i \text{ i } j \end{cases}$$

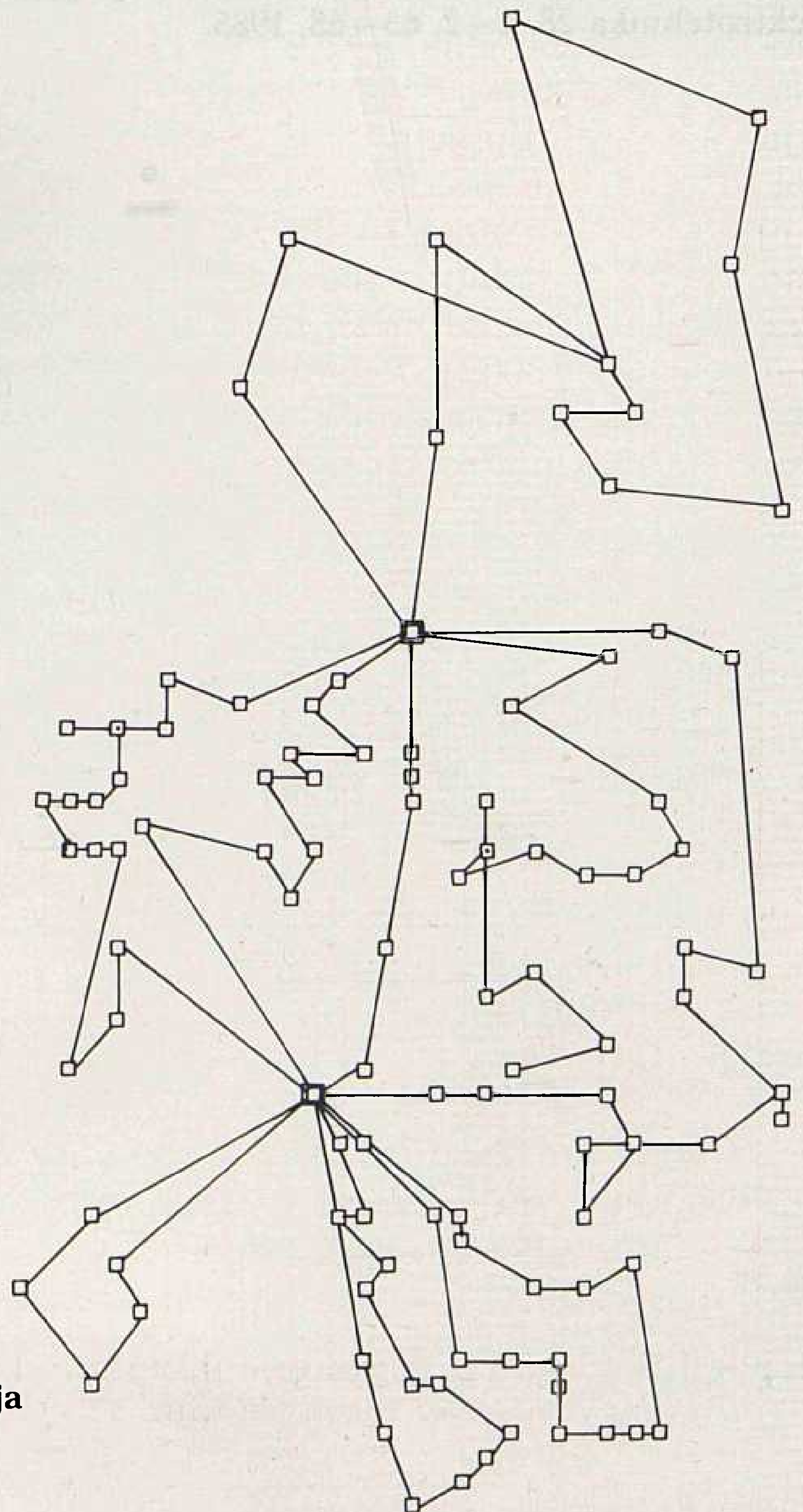
Vrijednosti α i β ovise o načinu ekonomskog vrednovanja. Najjednostavnije je za slučaj kada je $\alpha = 0$ a $\beta = 1$. U model se može ugraditi i vrednovanje gubitaka snage i energije [1].

Radi ilustracije i vrednovanja modela u realnim mrežama dan je primjer realne mreže, i to: na slici 6. prije strukturiranja i na slici 7. nakon strukturiranja povezne mreže. Podaci i parametri optimiranja mogu se dobiti od autora.

Slika 7. Mreže sa sl. 6. nakon strukturiranja



Slika 6. Primjer realne mreže prije strukturiranja



3. ZAKLJUČAK

Model opisan u ovom radu osim za poveznu mrežu može služiti i za strukturiranje tzv. mreže s protustanicom [1]. Zajedno s modelom pogodnim za strukturiranje prstenaste mreže, opisanim u [2], te modelom za određivanje opskrbnog područja, opisanim u [3], razvijen je kompjutorski program CADDIN (Computer Aided Design of DIstribution Network) pogodan za cjelokupno planiranje jedne razdjelne mreže urbanog područja. Testiran na nekoliko područja realne mreže pokazao je visok stupanj primjenjivosti.

Dodatna je mogućnost programskog paketa CADDIN i ekonomska valorizacija varijantnih rješenja planera, koja su najčešće rezultat izmjena nad ponudnim. Time se rezultat izmjena, od kojih su mnoge često i posljedica zahtjeva izvan energetskog razmatranja te nisu obuhvatljive optimizacijskim postupkom, lako može pratiti i ekonomski vrednovati.

LITERATURA

- [1] S. KRAJCAR: Algoritmi za interaktivno optimalno planiranje razdjelnih mreža,« Doktorska disertacija, ETF Zagreb, 1988.
- [2] S. KRAJCAR: »Interaktivno optimalno planiranje razdjelnih mreža — strukturiranje prstenaste mreže,« Energija, 5, 1990.
- [3] S. KRAJCAR: »Optimalan smještaj transformatorskih stanica u razdjelnim mrežama urbanog područja«, Elektrotehnika 28, 1–2, 63–68, 1985.

A HEURISTIC ALGORITHM FOR THE OPTIMAL PLANNING OF CONNECTED DISTRIBUTION NETWORKS

The problems of optimal connected distribution networks of urban areas are elaborated and considered as the problems of delivery from two sources. A heuristic algorithm of the linear search procedure to obtain the supply areas of the cable feeders is described. Efficient application is shown using real network example.

HEURISTISCHER ALGORITHMUS ZUR OPTIMALEN PLANUNG DER VERBUNDENEN VERTEILUNGSNETZE

Hier bearbeitet man die Problematik des optimalen Planens des verbundenen Verteilungsnetzes der urbanen Gebiete.

Man spricht über des Problem der Versorgung aus zwei Quellen. Man beschreibt den heuristischen Allogarithmus der linearen Erforschung des Versorgungsgebietes der Versorgungskabel. An einem Beispiel wird die Wirksamkeit der Anwendung bei realen Netzen gezeigt.

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СОЕДИНЕННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В работе обрабатывается проблематика оптимального планирования со единенных распределительных сетей городских районов. Проблема рассматривается как проблема снабжения из двух и сточников. Описывается эвристический алгоритм линейного розыска для нахождения района снабжения питающих кабелей. На примере показана продуктивность применения в реальных сетях.

Naslov pisca:

Dr. Slavko Krajcar, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
41000 Zagreb, Unska 17,
Yugoslavia

Uredništvo primilo rukopis
1990–05–28

POLUVODIČKI UPRAVLJANI IZVORI JALOVE SNAGE U IZAZOVIMA MODERNOG PRIJENOSA

Dr. Adel Hammad — Rainer Roeder, Baden

UDK 621.316.1:621.3.076.45

PREGLEDNI RAD

U članku se izlažu osnove kompenzacije jalove snage u elektroenergetskom sistemu statičkim kompenzatorima: uređajima u kojima se jalova snaga proizvodi ili apsorbira tiristorskim upravljanjem sklopovima prigušnica i kondenzatora. Rezimiraju se fizikalne osnove i njihov utjecaj na pogon i karakteristike elektroenergetskog sistema.

Ključne riječi: jalova snaga, statični kompenzatori, elektroenergetski sistem.

1. UVOD

U prvim interkonekcijama svaka od udruženih mreža mogla je zadovoljavati napajanje svojih potrošača iz lokalnih izvora. Glavni motiv za interkonekciju bila je različitost potrošnje u pojedinim sistemima što je omogućavalo smanjenje potrebe velike rezerve u izvorima. Stalan socijalni i ekonomski napredak, posebno u posljednja dva desetljeća, promijenio je karakter i ulogu interkonekcija. Evo nekih od faktora koji su utjecali na takvu promjenu:

- rast cijena nafte dramatično je izmjenio relativne cijene različitih vrsta proizvodnje što je rezultiralo značajnim rastom troškova proizvodnje električne energije,
- »ozelenjenje« elektroprivrede vodilo je zatvaranju mnogih izvora lociranih u blizini većih konzumnih centara i obustavilo razvoj elektrana sa fosilnim i nuklearnim gorivom jednako kao i izgradnju novih prijenosnih vodova visokih i vrlo visokih napona,
- redukcija i nesigurnost rasta potrošnje električne energije povezana sa kašnjenjem razvoja stvorilo je elektroprivrednim poduzećima teške financijske uvjete.

Izvori u vlastitom sistemu često više nisu dovoljni pa se moraju prenositi velike snage na veće udaljenosti i kroz duža razdoblja i to ograničenim prijenosnim koridorima. U isprepletenim interkonekcijama svaka od mreža mora se odgovarajuće osigurati kako bi se ograničio utjecaj teških kvarova u jednom dijelu jedinstvenog elektroenergetskog sistema na njegov drugi dio i da se tako održi razina pouzdanosti cijelog sistema.

2. PROIZVODNJA JALOVE SNAGE JE EKONOMIČNO RJEŠENJE

U elektroenergetskom sistemu izmjenične struje ukupna proizvodnja mora zadovoljavati ukupnu potrošnju i gubitke u prijenosu jer bi se inače promijenila frekvencija cijelog sistema. Prijenosni vodovi i transformatori su adekvatno konstruirani sa ograničenim gubicima omogućavajući tako ekonomični prijenos djelatne snage na velike udaljenosti. Jalova snaga u sistemu izmjenične struje drugačijeg je karaktera. Ravnoteža jalove snage čvrsto je vezana uz napon. Ona je lokalnog značenja: višak jalove snage na nekom području povisuje napon a deficit ga snižava i može voditi naponskom slomu na tom području. Dalje, prijenos jalove snage smanjuje efikasnost prijenosa istiskujući djelatnu snagu kao i povećavajući gubitke. Stoga je prijenos jalove snage neekonomičan.

Nasuprot ravnoteži djelatnih snaga na koju je moguće djelovati udaljenim generatorima, odgovarajuća ravnoteža jalovih snaga treba se postići lokalnim izvorima jalove snage. To mogu biti obližnji generatori (kroz sistem uzbuđivanja) ako su u pogonu ili disperziranom proizvodnjom u posebnim uređajima za ekonomično generiranje ili apsorpciju jalove snage. U prvim sistemima izmjenične struje nisu se koristili nikakvi posebni uređaji za jalovu snagu budući da su, kako je već rečeno, generatori bili blizu potrošača. Kako su se mreže širile počeli su se za korekciju faktora snage koristiti sinhroni motori, mali kompenzatori i kondenzatori. S uvođenjem prijenosnih vodova najviših napona postale su prigušnice i kondenzatori važni kompenzacijski uređaji jalove snage. Tamo gdje je bilo potrebno dinamički regulirati napon uobičajilo se koristiti sinhronne kompenzatore. U posljednja dva desetljeća, zahvaljujući potrebi ekonomičnih i brzih uređaja za proizvodnju i upravljanje jalovom snagom, postupno su sinhroni kompen-

zatori zamijenjivani poluvodički upravljanim izvorima Var-a — statičnim Var kompenzatorima (SVC — Static VAR Compensators). U tom pogledu su prednosti SVC-a:

- niski troškovi kapitalne investicije i održavanja,
- mali gubici,
- lako održavanje i visoka pouzdanost,
- brzi odziv (svi statični uređaji su elektronički regulirani),
- nema rotirajućih dijelova pa ni inercije i nema izlaznih oscilacija uzrokovanih poremećajima u sistemu,
- nema startanja ni sinhronizacije,
- ne doprinose razini kratkog spoja i ne povećavaju zahtjeve na prekidače,
- nema ograničenja odnosa proizvodnja/apsorpcija jalove snage (tj. nema problema s uzbudom i stabilnošću),
- velika fleksibilnost u priključivanju i projektiranju,

Kada su ranih 70-tih postali dostupni tiristorski poluvodiči velikih snaga otvorio se put za komercijalnu proizvodnju SVC-a. Danas su SVC-i dobro oprobana tehnologija u prijenosnom sistemu, sa više od 350 postrojenja diljem svijeta ukupnog kapaciteta 45000 MVA.

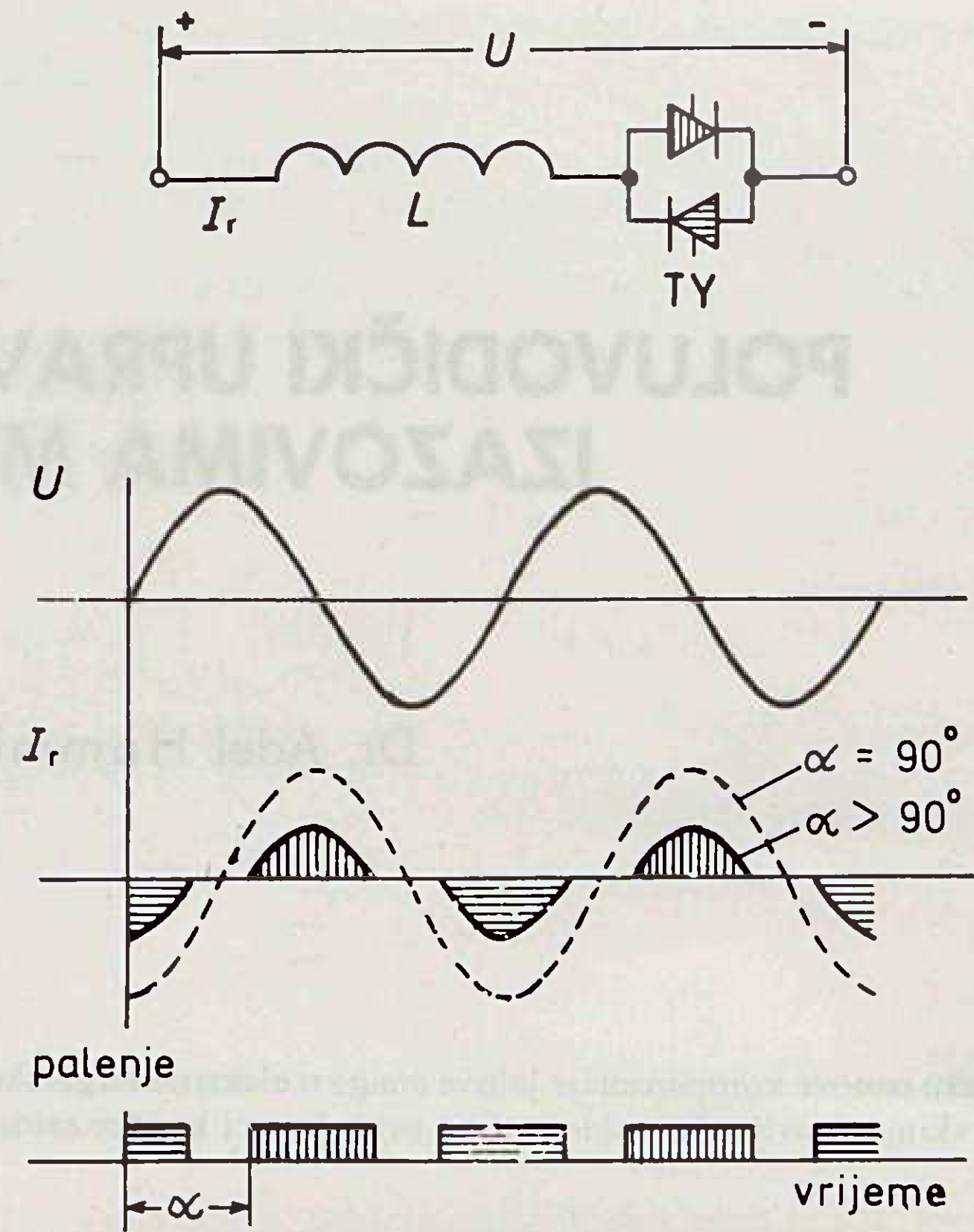
3. ŠTO JE REGULIRANI VAR IZVOR?

Temelj suvremenih tiristorski upravljanih Var generatora su tiristorški upravljane prigušnice (TCR — Thyristor-Controlled Reactor) i tiristorski uklapani kondenzatori (TSC — Thyristor-Switched Capacitors). S ovim temeljnim blokovima je precizno upravljana proizvodnja i apsorpcija jalove snage. Pridruženo vrijeme kašnjenja u osnovi je određeno inherentnim mehanizmom paljenja tiristora koje je ispod jedne poluperiode mrežne frekvencije. U tom mehanizmu leže superiorne dinamičke karakteristike SVC-a u odnosu na tradicionalne uređenje Var kompenzacije.

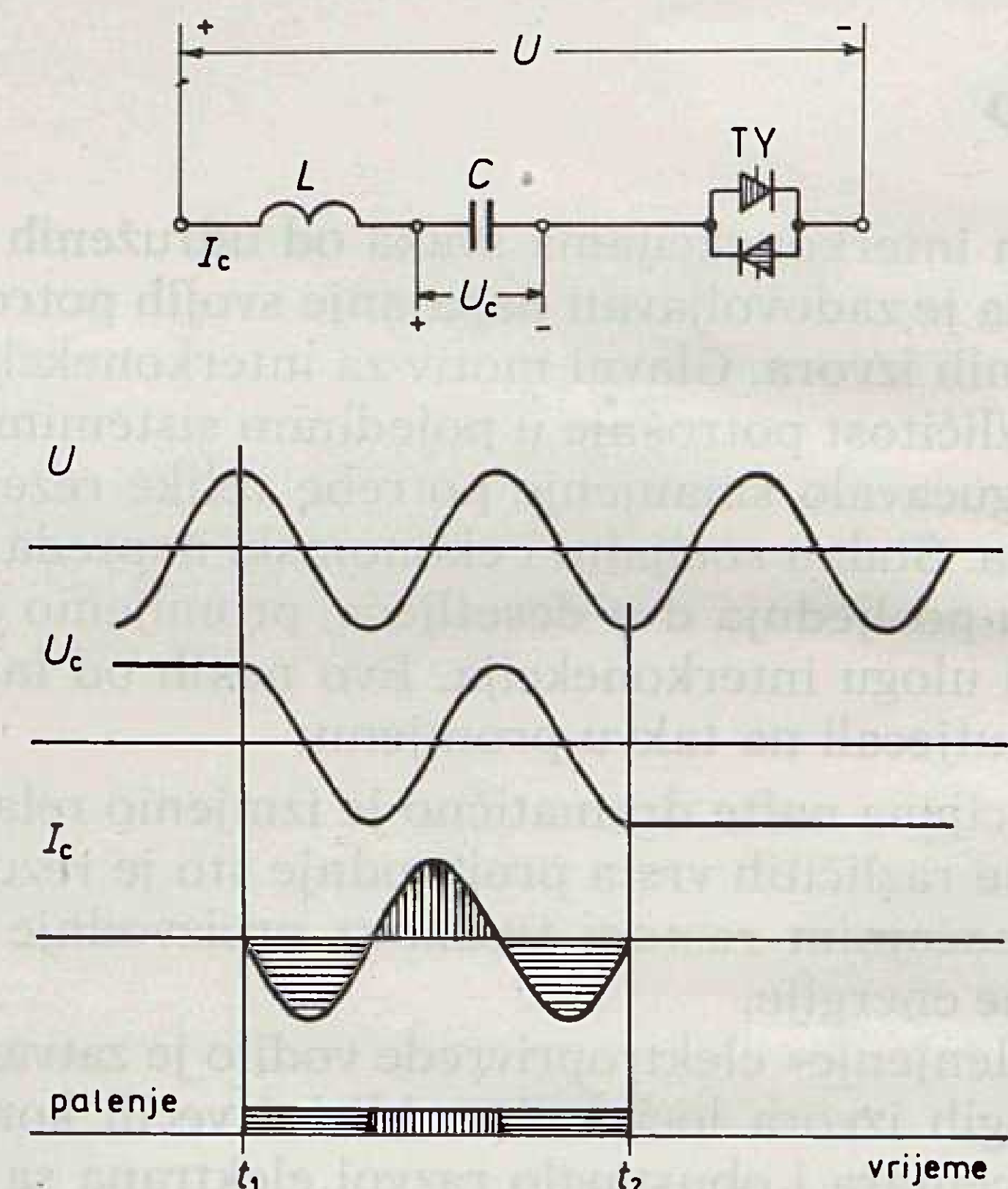
Upravljanje faznom strujom kroz prigušnicu u TCR-u omogućava kontinuirano upravljanje apsorpcijom jalove snage od nule do maksimuma kojeg određuju napon čvorišta i impedancija prigušnice, kako prikazuje sl. 1.

Kondenzatori TSC-a su uklapani i isklapani u odgovarajućim baterijama. Nasuprot kondenzatorima koji se uklapaju prekidačima, TSC je moguće praktički nebrojeno puta isklapati i uklapati bez trošenja i bez kašnjenja, bez obzira da li su kondenzatori nabijeni ili ne u trenutku sklapanja. Naponski osjetljiv uređaj koji premoštava stezaljke kondenzatorske baterije daje signal upravljačkom sistemu koji osigurava sklapanje kondenzatora u prvom trenutku, kako je prikazano na sl. 2.

Za tipične prijenosne aplikacije koristi se kombinirana shema TSC-a u 2–3 baterije i jednog TRC-a. Takva konfiguracija omogućava kontinuiranu (glatku) regulaciju jalove snage uz minimiziranje pogonskih troškova i generiranja harmonika struje.



Slika 1. (Firing pulses = palenje; time = vrijeme)



Slika 2. Princip rada tiristorom sklapanog kondenzatora

4. TIRISTORSKA TEHNOLOGIJA

Suvremena tiristorska tehnologija, uključujući tiristorske elemente velikih površina sa dvostranim hlađenjem, omogućava upravljanje trajnim izmjeničnim strujama do nekoliko kA bez potrebe za paralelnim strujnim krugovima. Istovremeno je zaporni napon svakog tiristora nekoliko kV. Ta dostignuća suvremene poluvodičke tehnologije omogućila su građenje vrlo snažnih tiristorskih ventila za sve SVC primjene. Uz velike mogućnosti manipularanja snagom, takvo je uređenje vrlo snažnih tiristorskih ventila za sve SVC primjene. Uz velike mogućnosti manipularanja snagom, takve je uređaje relativno jednostavno eksploatirati i održavati a i zauzimaju malo prostora. Sa današnjim ventilima, kompaktni Var izvori mogu se instalirati u postrojenjima sa velikom potrebom jalove snage a skućenog su prostora.

Budući da su tiristori u osnovi strujni uređaji, za optimiranje korištenja tiristorskih ventila SVC obično treba priključivati na visokonaponsku prijenosnu mrežu transformatorom za snižavanje napona. Ventil u svakoj fazi sadrži dva tiristorska sloga spojenih u antiparaleli, po jedan slog za svaki smjer struje. Svaki slog sadrži serijski spojene tiristore velike snage, a njihov broj ovisi o nazivnom sekundarnom naponu transformatora.

Zaštita TCR ventila od prenapona izvedena je naponski upravljanim palenjem u slučaju izvanrednog napona kojim se automatski iskapača tiristor a narinuti napon prenosi na prigušnicu. TSC ventili su normalno zaštićeni cinkoksidnim odvodnicima paralelno spojenim svakom ventilu.

Tiristori za SVC u prijenosnim aplikacijama hladeni su deioniziranom vodom u zatvorenom sistemu.

5. UPRAVLJANJE SVC-om

Regulator statičnog var generatora može upravljati:

- jalovom snagom,
- naponom dinamički,
- stabilizacijom i prigušivanjem oscilacija,
- uz druge mogućnosti kao uravnotežavanje tereta, sprečavanja subsinhronih oscilacija, itd.

Upravljanje SVC-om u potpunom vremenskom intervalu od stacionarnog stanja do pogona ciklus-po-ciklus, kao i zaštitne funkcije, izvedene su vrlo brzim SVC-ovim mikroprocesorskim regulatorom. Programibilni regulator se temelji na visokopouzdanim multiprocesorskim jedinicama otpornim na kvar i sa ugrađenim samoispitnim kontrolama. Samoispitne komponente uključuju samotestiranje hardverskih dijelova, softverskih sekvenci, prijenosa podataka i adresa a uključuju isto tako automatizirane i programabilne test rutine.

Takvim razvojem upravljanja SVC-om omogućeno je projektirati i ekonomično graditi kompaktna postrojenja, visokopouzdana i fleksibilna u pogonu.

6. PRIMJENE U PRIJENOSNOJ MREŽI

Budući da su SCV-i uređaji za lokalnu ugradnju brzo i fleksibilnog upravljanja, vrlo je velika njihova efikasnost u balansiranju jalovih snaga na nekom području istovremeno djelujući na cijeli elektroenergetski sistem. Primjena statičnih izvora jalove snage je u širokom rasponu kojeg je moguće podijeliti u četiri grupe:

1. Tokovi jalovih snaga u stacionarnom pogonu

Uključuje:

- održavanje traženog naponskog profila u prijenosnoj i distributivnoj mreži i potrošačkim centrima,
- minimiziranje prijenosnih gubitaka,
- upravljanje razmjenom jalovih snaga.

2. Povećanje kapaciteta prijenosa mreže:

maksimiziranjem granica prijelazne i statičke stabilnosti.

3. Poboljšanje dinamičkih karakteristika sistema:

- brza uspostava napona poslije velikih poremećaja,
- ograničavanje prolaznih prenapona,
- prevencija naponske nestabilnosti i sloma napona,
- izoliranje područja propada tokom poremećaja ili lokalnog kvara,
- poboljšavanje startanja velikih industrijskih tereta (motori),
- očuvanje integriteta mreže osiguravanjem prijelazne i dinamičke stabilnosti,
- prigušivanje velikih oscilacija snage na interkonekcijama.

4. Posebne primjene:

- prigušivanje subsinhronih torzionih oscilacija na velikim turbogeneratorskim blokovima,
- balansiranje nesimetričnih tereta (napr. vuča),
- sprečavanje negativne komponente napona,
- ograničavanje flikera uzrokovanih radom lučnih peći ili sličnih tereta.

U slijedećem poglavlju dan je primjer kako SVC poboljšava stabilnost sistema i prigušuje velike oscilacije snage na prijenosnim vodovima.

7. STABILIZACIJA SNAGE I PRIGUŠIVANJE OSCILACIJA

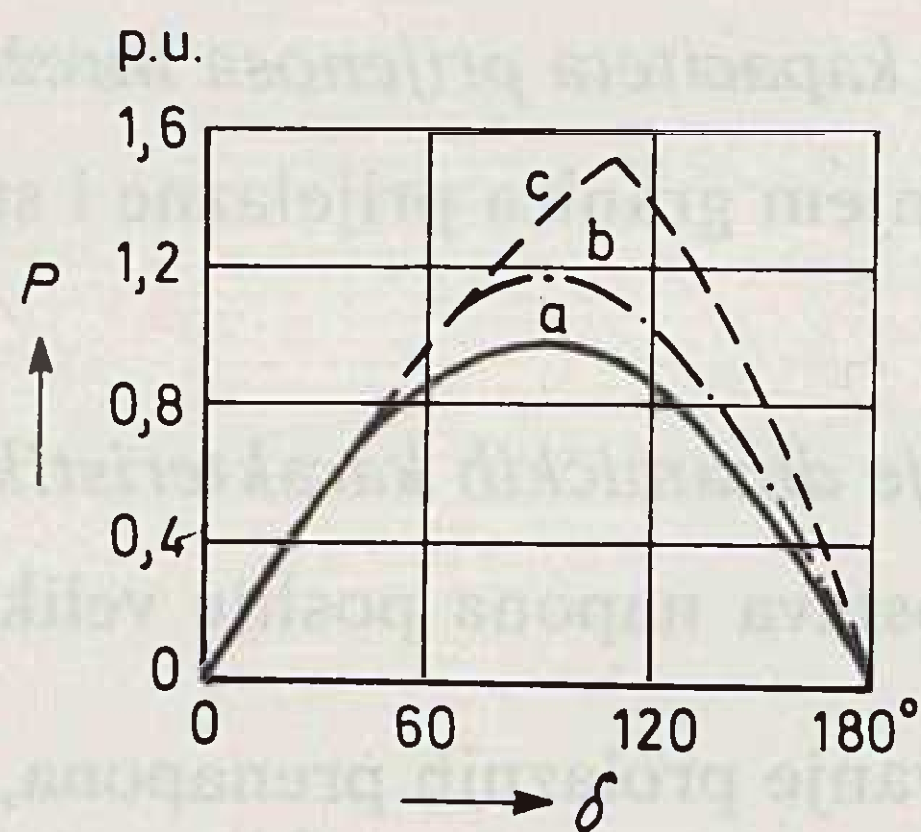
7.1. Statička stabilnost

Dobro je poznato da svaki prijenosni sistem koji radi blizu granice statičke stabilnosti postaje nestabilan ukoliko kvarovi uzrokuju povećavanje faznog kuta preko te granice. Zbog inercija na svakom od krajeva prijenosnog sistema moglo bi se nekim vodom prenositi snagu veću do one prije kvara: sve do točke maksimalnog kutnog njihaja u slučaju spašavanja nekog tereta. To bi općenito značilo nužnost oporavka napona na vodu, po otklanjanju kvara, gotovo do normalne vrijednosti. To je moguće postići jednom od slijedeće dvije metode:

- a. pogonom voda sa opterećenjima dovoljno ispod prirodne snage,
- b. trenutnim osiguranjem dodatne kapacitivne jalove snage u razdoblju kroz koje je na vodu prevelik fazni kut.

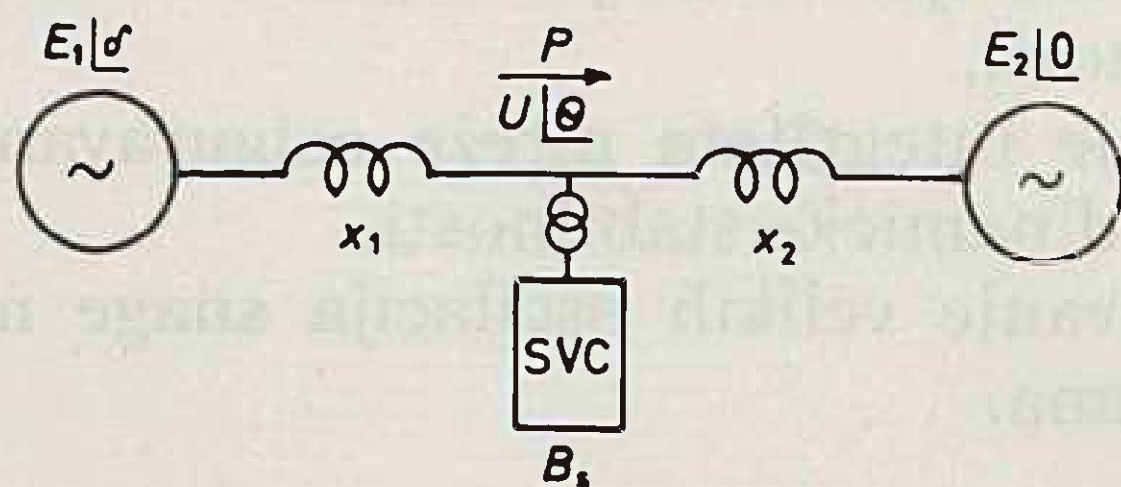
Prvi način je neekonomičan, dok drugi, korištenjem SVC-a, omogućava iskorištenje prijenosnog kapaciteta do maksimuma.

Sl. 3 prikazuje dobro poznati snaga/kut dijagram za prijenosni sistem sa SVC priključenim na mrežu prema sl. 4. Usporedbom krivulja a i b na sl. 3 vidi se da je granica statičke stabilnosti prijenosnog sistema



Slika 3. Karakteristike snaga/fazni kut za prijenosni sistem

- a = sa fiksnom poprečnom kompenzacijom
 b = sa SVC (nazivno 0.4 p. u. kapacitivno)
 c = sa SVC (nazivno 1.0 p. u. kapacitivno)



Slika 4. Jednostavan prijenosni sistem

- $E_{1,2}$ = unutrašnji napon generatora
 $X_{1,2}$ = reaktancija voda/generatora
 P = djelatna snaga
 U = nazivni napon

- B_s = susceptancija SVC-a
 θ = kut tereta
 \dot{a} = kut napona na priključku SVC-a
 SVC = Statični Var kompenzator

povećana za približno 20% dok je SVC angažiran sa 40% kapacitivne jalove snage.

7.2. Prijelazna stabilnost

Za očuvanje prijelazne stabilnosti sistema u prvom njihaju poslije većeg poremećaja mora se sistemu odmah dati odgovarajuća sinhronizirajuća snaga. To se može izvesti uspostavom napona duž prijenosnog voda i trenutno ga povećavaju na nešto višu vrijednost sve dok traje poremećaj. SVC može to izvršiti pomoću svog dinamičkog naponskog regulatora. Mijenja se SVC-ova efektivna susceptancija B_s tako da se održava konstantni napon na njegovom priključku.

Za jednostavni prijenosni sistem prema sl. 4, može se izraziti napon na vodu

$$U e^{j\theta} = (X_1 E_2 e^{j\delta} + X_2 E_1) / X_e$$

gdje je X_e efektivna reaktancija prijenosnog sistema sa SVC-om i dana je sa

$$X_e = (X_1 + X_2) - X_1 X_2 B_s$$

Sa održavanjem konstantnog napona na priključku SVC-a, modul U se održava na takvoj konstantnoj vrijednosti U_0 da je

$$X_e = \sqrt{[(X_1 E_2)^2 + (X_2 E_1)^2 + 2 X_1 X_2 E_1 E_2 \cos \delta]} U_0$$

Stoga je prenešena snaga vodom

$$P = (E_1 E_2 \sin \delta) / X_e$$

dok je koeficijent sinhronizirajuće snage sistema definiran kao

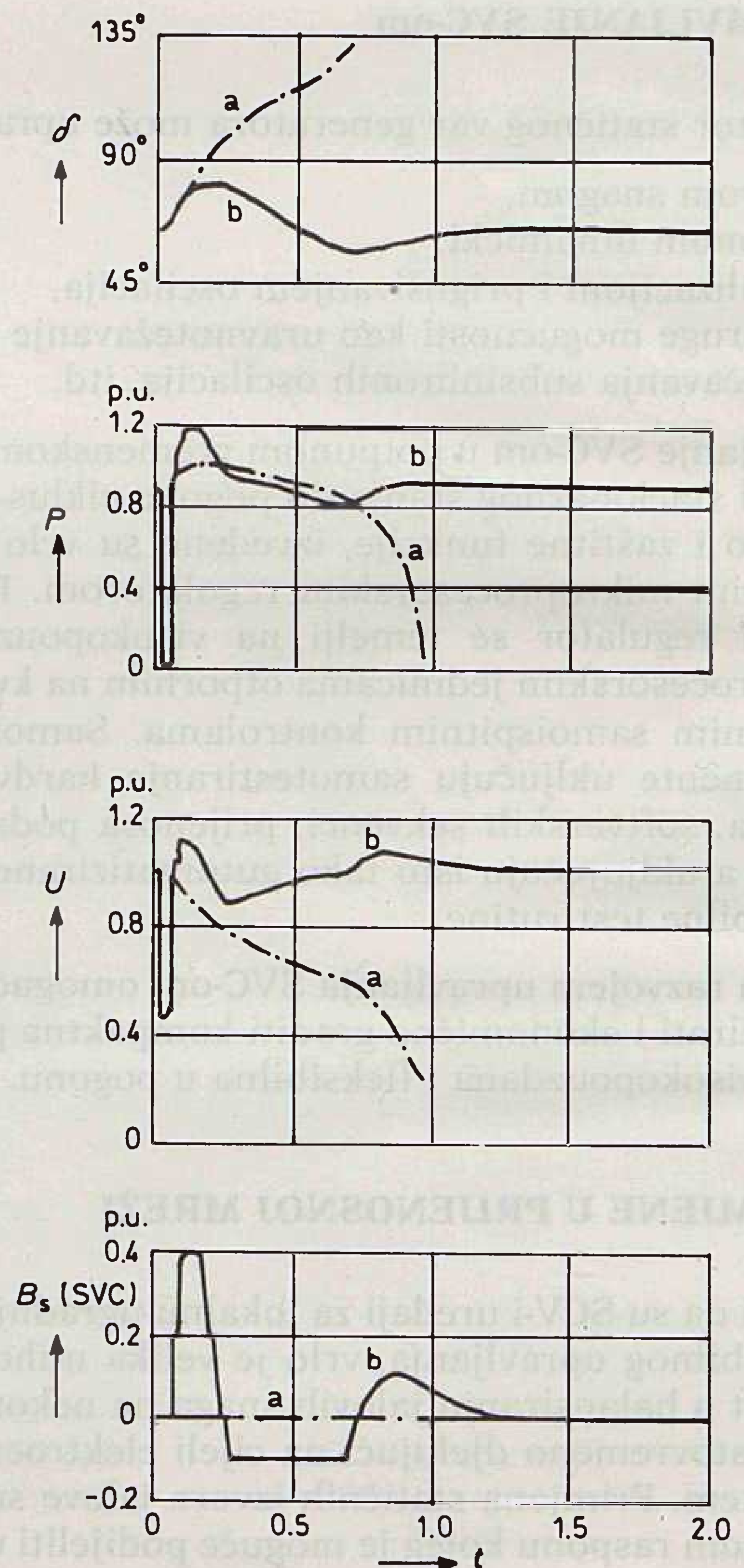
$$K_s = \gamma P / \gamma \delta$$

Koristeći gornje jednačbe može se pokazati da SVC povećava koeficijent sinhronizirajuće snage sistema za iznos

$$\Delta K_s = (P/U_0)^2 X_1 X_2 / X_e$$

Sam regulator napona ne može međutim značajnije pridonijeti u prigušivanju oscilacija snage kako će se objasniti u slijedećem poglavlju.

Na sl. 5 prikazana je efikasnost SVC-a u osiguravanju relativno visokog prijenosa snage u sistemu kao i održavanja prijelazne stabilnosti sistema. Pokušajem povratka snage na razinu prije kvara po prestanku trofaznog kvara na vodu, bez SVC-a kolabirao bi napon na vodu. Kroz približno jednu sekundu sistem se približava nestabilnosti, što je karakterizirano istovremenim slomom napona i snage jednako tako kao i razdvajanjem faznog kuta na krajevima voda.



Slika 5. Odziv sistema na trofazni kvar i snagu prijenosa 0.9 p. u.

- a = bez SVC-a
 b = sa SVC-om

Ukoliko je opremljen jednim SVC-om odgovarajućeg opsega dinamičkog upravljanja i optimalnim naponskim i stabilizacijskim regulatorima, sistem može lako izdržati kvar i brzo uspostaviti razinu snage prije kvara.

Također je korisno primijetiti na sl. 5 krivulju napona poslije otklanjanja kvara u sistem u sa SVC-om, što je osnovno za stabilizaciju sistema i prigušivanje.

7.3. Prigušivanje oscilacija

Za brzo i efikasno prigušivanje oscilacije u sistemu moraju se na priključku SVC-a dozvoliti varijacije napona u prihvatljivim granicama. Kada se dogode oscilacije napona u prijenosnom sistemu regulator prigušivanja potiskuje funkciju dinamičkog regulatora napona sve dok se oscilacije odgovarajuće ne priguše. Može se pretpostaviti da će prividna susceptancija SVC-a varirati u omjeru promjene kuta δ u prijenosnom sistemu (w) tako da

$$B_s = \eta w$$

i ekvivalentna reaktancija sistema postaje

$$X_e = (X_1 + X_2) - X_1 X_2 \eta w$$

Ako sistem bez SVC-a predstavlja zanemarivo prigušenje za oscilacije na međusistemskim vezama, SVC uvodi koeficijent prigušivanja snage

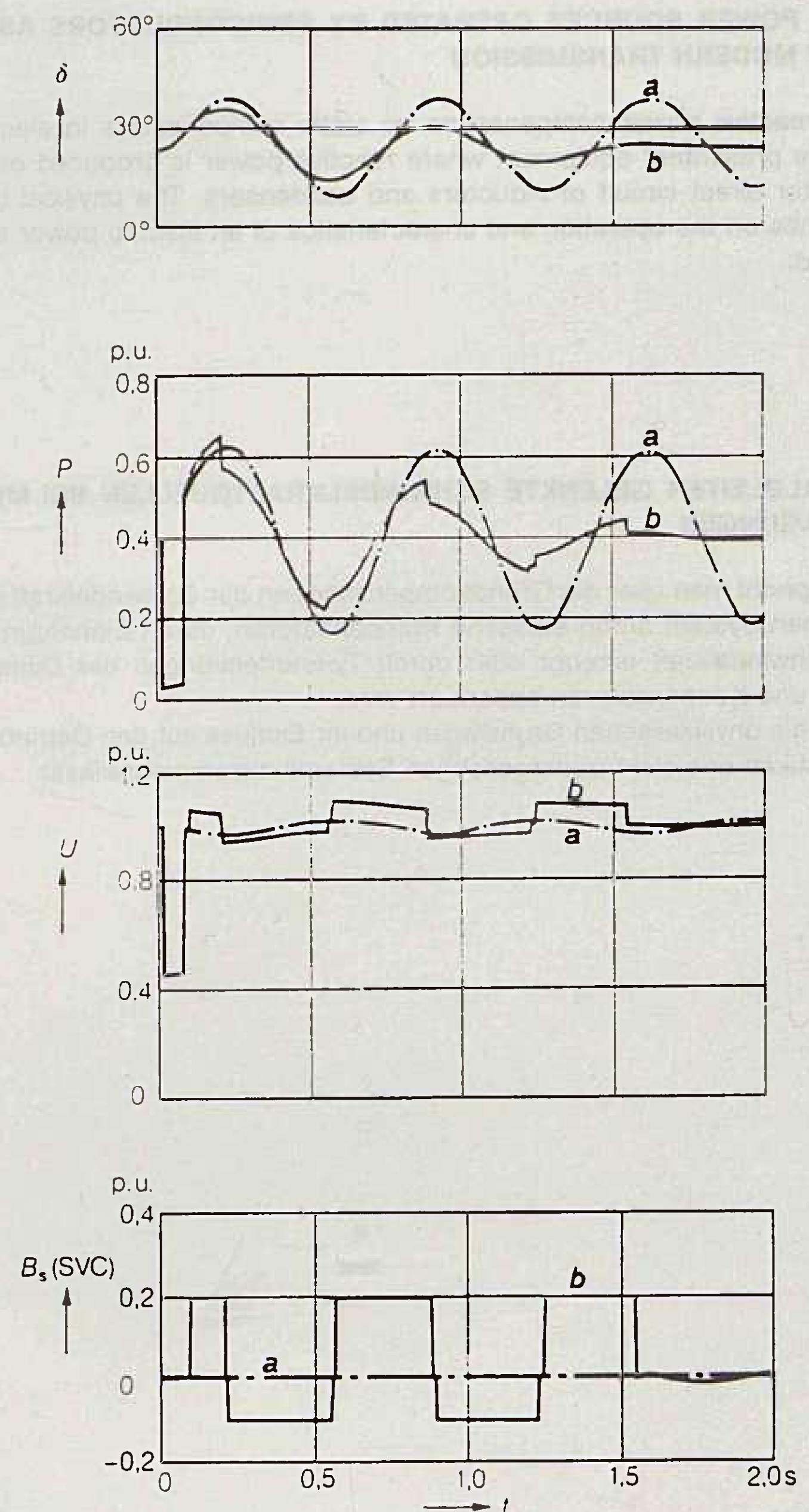
$$\begin{aligned} K_d &= \partial P / \partial w \\ &= X_1 X_2 P \eta / X_e \\ &= X_1 X_2 P / w B_s / [(X_1 + X_2) - X_1 X_2 B_s] \end{aligned}$$

koji se može povećati porastom ili SVC-ove susceptancije B_s .

Fluktuacijama snage na interkonekcijskom vodu između bilo koja dva podsistema obično dominira jedna frekvencija. Takve su oscilacije tipično malo prigušene i to u opsegu 0.3 do 2.0 Hz. U primjeru na sl. 4 dominantna je frekvencija 1.5 Hz kako je dano na sl. 6. To je njihaj jednog podsistema u odnosu na drugi. SVC je projektiran primarno da ga priguši. Kako pokazuju krivulje b na sl. 6, pojave li se oscilacije na interkonekcijskom vodu u sistemu sa instaliranim SVC upravljачke sekvence su slijedeće:

- uklapanje kapacitivnog dijela SVC-a (puno ili djelomično uklapanje, ovisno o težini posthvarijskog oporavka snage). Time se osigurava nužna sinhronizirajuća snaga za održavanje stabilnosti,
- SVC uklapa u induktivni dio. Time se stvara neophodna prigušna snaga,
- ponavlja se gornja sklopna procedura sve dok nisu potpuno prigušene oscilacije snage. Tokom ovog perioda spriječeno je djelovanje regulatora napona osim pri narušavanju granica napona.

Kada su osigurani optimalni parametri potrebno je samo nekoliko sklopnih operacija za pouzdano prigušivanje svih ozbiljnih oscilacija snage. Tada prestaje djelovanje regulatora prigušivanja i svoju funkciju ponovno preuzima dinamički regulator napona.



Slika 6. Prigušivanje oscilacija prenošene snage

a = sistem bez SVC-a
b = sistem sa SVC-om

za ostale oznake vidi sl. 4.

8. ZAKLJUČAK

1. Brza proizvodnja jalove snage predstavlja ekonomičnu mogućnost rješavanja izazova razvijenog prijenosa snage.
2. Poluvodički (statički) upravljani Var generatori nadomjestili su kompenzatore u prijenosnim aplikacijama.
3. Moderni veliki statički Var generatori (SVC) proizvode se komercijalno i ekonomično zahvaljujući velikom napretku poluvodičkih i mikroprocesorskih tehnologija.
4. Današnje SVC aplikacije pokrivaju široki registar upravljanja tokovima jalovih snaga, povećavajući prijenosne mogućnosti i pojačavajući dinamičke karakteristike sistema.
5. Odgovarajućim regulatorima može SVC povećati sinhronizirajuću snagu sistema, reducirati utjecaj kvarova i predstavljati dovoljni prigušni moment za efikasno i brzo sprečavanje oscilacija snage na prijenosnim vodovima.

S engleskog preveo Zdenko Tonković

REACTIVE POWER SOURCES OPERATED BY SEMICONDUCTORS AS A CHALLENGE OF MODERN TRANSMISSION

Basics of reactive power compensation by static compensators in electric power systems are presented: equipment where reactive power is produced or absorbed by a thyristor direct circuit of inductors and condensers. The physical basics and their influence on the operation and characteristics of an electric power system are summarized.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

В статье излагаются основы компенсации реактивной мощности в электроэнергетической системе статическими компенсаторами: устройствами, производящими или поглощающими реактивную мощность тиристорским управлением группами гасителей и конденсаторов. Обобщаются физические основы и их влияние на эксплуатацию и характеристики электроэнергетической системы.

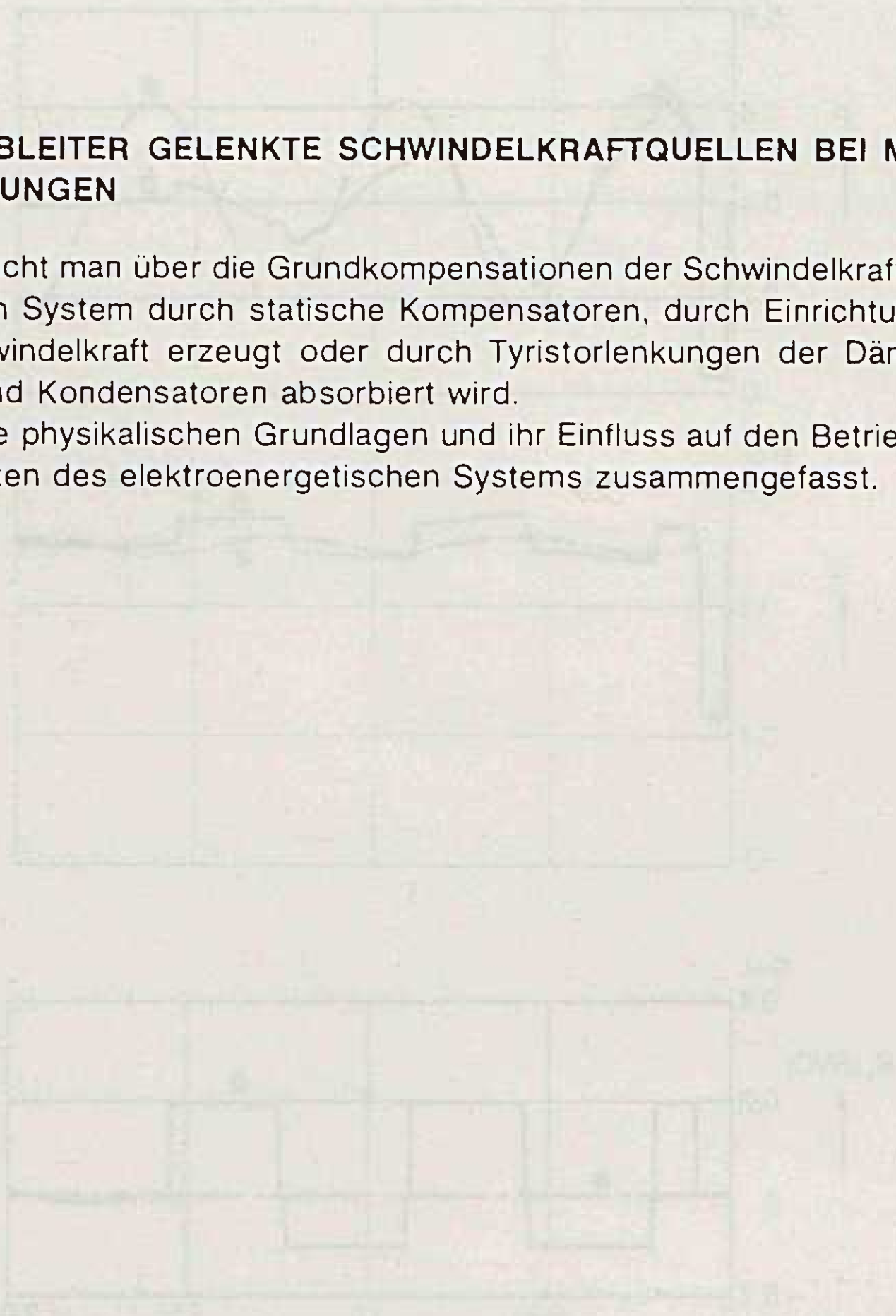
DURCH HALBLEITER GELENKTE SCHWINDELKRAFTQUELLEN BEI MODERNEN UEBERTRAGUNGEN

Im Artikel spricht man über die Grundkompensationen der Schwindelkraft im elektroenergetischen System durch statische Kompensatoren, durch Einrichtungen in denen die Schwindelkraft erzeugt oder durch Thyristorlenkungen der Dämpfungseinrichtungen und Kondensatoren absorbiert wird. Es werden die physikalischen Grundlagen und ihr Einfluss auf den Betrieb sowie die Charakteristiken des elektroenergetischen Systems zusammengefasst.

Naslov pisaca:

Dr Adel Hammad, Rainer Roeder ABB Power Systems CH 5401 Baden Switzerland

Uredništvo primilo rukopis 1990-12-15



Slika 6. Prikazivanje oscilacija u sistemu...

8. ZAKLJUCAK

- 1. Baza proizvodnja jave snage predstavljaju osnovni izvor snage...
2. Poluvodički (statički) uređaji VAr generatori...
3. Moderni veliki statički VAr generatori (SVC) proizvode se komercijalno i ekonomično...
4. Danas SVC omogućuju pokrivanje svih potrebnih izvora snage...

Uključujući snagu na inženjerskom vidu...
Kada se uzimaju u obzir potrebni parametri...
SVC omogućuje snagu...
Uključujući snagu...
SVC omogućuje snagu...
Uključujući snagu...

SUVREMENE TENDENCIJE U RAZVOJU OTPORNIKA ZA UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA ELEKTROENERGETSKIH MREŽA

Dr. Srđan Žutobradić — Velimir Ravlić, Zagreb

UDK 621.316.99
PREGLEDNI RAD

U članku su prikazane osnovne značajke i trendovi razvoja otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Obavljena je njihova međusobna tehnička i financijska usporedba. Također je upozoreno na sadašnje stanje uzemljenja zvjezdišta u 10(20) kV distributivnim mrežama u Hrvatskoj.

Ključne riječi: uzemljenje zvjezdišta, otpornik, distributivna mreža.

1. UVOD

Uzemljenje zvjezdišta elektroenergetskih mreža ima veliku ulogu u osiguranju kvalitetnog pogona tih mreža. U svijetskoj praksi koristi se više rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta:

- izravno uzemljenje
- uzemljenje preko kompenzacijske prigušnice
- uzemljenje preko prigušnice za ograničavanje struje jednopolnog kvara na određeni iznos
- uzemljenje preko otpornika za ograničavanje struje jednopolnog kvara na određeni iznos
- uzemljenje preko kombiniranog sistema otpornik — kompenzacijska prigušnica
- uzemljenje preko specijalnog transformatora.

Osim navedenih rješenja, moguć je pogon mreže s izoliranim zvjezdištem, koji se obično susreće u razdjelnim mrežama. Takav slučaj susrećemo u 10 kV mrežama na području Hrvatske, gdje najveći broj mreža radi s izoliranim zvjezdištem. Ovakav pogon mreža donosi određene prednosti; ali isto tako i niz nedostataka [1]. Zbog toga su važećim jugoslavenkim tehničkim propisima [2] određene granične kapacitivne struje zemljospoja razdjelnih mreža, do kojih se tolerira pogon za izoliranim zvjezdištem pojne stanice:

- mreže 10 kV: $I_c = 20$ A
- mreže 20 kV: $I_c = 15$ A
- mreže 35 kV: $I_c = 10$ A.

Ako kapacitivna struja zemljospoja prijeđe navedne iznose, preporuča se prelazak na rad s uzemljenim zvjezdištem. Citirani propisi ne definiraju način uzemljenja zvjezdišta; no, u Jugoslaviji je zasada usvojena praksa uzemljenja preko **otpornika**. Zato će se u ovom članku razmotriti isključivo problematika razvoja otpornika za uzemljenje zvjezdišta razdjelnih mreža, a ne i drugih uređaja koji se koriste u tu svrhu.

Pri analizi razvoja otpornika za uzemljenje zvjezdišta treba uzeti u obzir da se u svijetu susreće njihova

upotreba i u mrežama napona 110 kV. Sigurno je da će u budućnosti trebati razmotriti mogućnosti rezistentnog uzemljenja 110 kV mreže i u nas. Stalni razvoj te mreže uvjetovat će porast struja jednopolnog kvara do neprihvatljivih iznosa. Jedno od rješenja za smanjivanje struja u pojnim stanicama preko otpornika. Dakako, prethodno će trebati analizirati i druge mjere za smanjenje tih struja (naročito mogućnosti sekcioniranja mreže). Osim toga, treba uzeti u obzir stvarne teškoće koje stvaraju visoke struje jednopolnog kvara, a to su posebno utjecaji na susjedne PTT-vodove, te iznošenje potencijala iz TS 110/X kV.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE OTPORNIKA ZA UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA ELEKTROENERGETSKIH MREŽA

U principu postoje tri osnovna pogonska slučaja koja definiraju otpornike za uzemljenje zvjezdišta elektroenergetskih mreža:

1. Pogon bez struje kvara

Zvjezdište je praktično na potencijalu zemlje. Kroz otpornike može teći trajna struja izjednačenja od nekoliko ampera, koja odgovara mogućoj maloj nesimetriji između faza i prisutnosti komponenata viših harmonika.

2. Pogon s malim strujama kvara

Struja kvara reda veličine nekoliko desetina ampera teče kroz otpornik nekoliko minuta (obično se otpornik dimenzionira da takvu veličinu struje izdrži 10 minuta) prije prorade zaštitnih uređaja.

3. Pogon s velikim strujama kvara

U slučaju neposrednog i bliskog kvara između jedne faze i zemlje, kroz otpornik mogu proteći velike struje (iznosa nekoliko stotina do par tisuća ampera) prije prorade zaštitnih uređaja, što odgo-

vara povećanju napona na krajevima otpornika do vrijednosti bliske faznom naponu mreže.

Na osnovi ovih uvjeta rada utvrđuju se nazivne karakteristike otpornika.

Nazivni napon otpornika određuje stupanj izolacije prema zemlji njegovih priključaka. Elektrolitski otpornici se izvode isključivo kao jednopolno izolirani jer elektrodu koja se veže s uzemljenjem postrojenja predstavlja samo kućište otpornika. U slučaju metalnih otpornika često se u slučaju većih snaga serijskim spojem povezuje više pojedinačnih kućišta u jednu cjelinu, pa je u tim slučajevima potrebno imati odgovarajuće provodne izolatore pomoću kojih se može ostvariti izoliranje aktivnog dijela od kućišta. Nazivni napon se bira suglasno nazivnom naponu mreže:

$$U_{no} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Nazivna struja otpornika I_{no} definira se kao struja koja će protjecati kroz otpornik kad se na njegovim krajevima uspostavi napon U_{no} .

Vrijednost otpora je na taj način određena izrazom:

$$R_n = \frac{U_{no}}{I_{no}} \quad (2)$$

Pomoću izraza (2) utvrđena je vrijednost otpora koju otpornik ima pri referentnoj temperaturi okoline.

Tako npr. francuski standard NFC 63–200 definira referentnu temperaturu od 20°C, a američki ANSI/IEEE 32-1972. standard definira referentnu temperaturu od 25°C.

U skladu s [3] vrijednost otpora R mjerena istosmjernom strujom na temperaturi od +20°C mora biti između $0,95 \cdot R_n$ i $1,05 \cdot R_n$, dok za aparate podvrgnute tipskim ispitivanjima gornju granicu treba smanjiti na R_n .

Stvarne vrijednosti otpora pri nastanku kvara razlikuju se od R_n zbog zagrijavanja otpornika.

Struja I_{no} nema, prema tome, uobičajeno značenje kakvo imaju vrijednosti nazivnih struja za sklopne aparate i ostale elemente postrojenja jer se ne dopušta da trajno teče. Da bi se precizirali uvjeti rada otpornika s aspekta zagrijavanja i odredila moguća odstupanja otpora od nazivne vrijednosti, proizvođač otpornika definira dozvoljeno trajanje struje I_{no} , odnosno dozvoljeni ciklus opterećivanja: struja-vrijeme. Pritom je potrebno dati i podatke o graničnim vrijednostima otpora, jer je to vrlo značajno za podešenje zemljospojne zaštite i dimenzioniranje uzemljenja objekata u elektroenergetskoj mreži koja se uzemljuje putem otpornika.

Kao što je navedeno, u normalnom pogonskom stanju zvjezdište transformatora (i/ili generatora) je praktično na potencijalu zemlje, uz pretpostavku da je održana simetričnost. Kroz otpor uzemljenja može trajno protjecati struja izjednačenja od nekoliko ampera, čija je veličina korespondirajuća s udjelom komponenata viših harmonika i mogućoj maloj nesimetriji između pojedinih faza.

U slučaju kvara s visokim vrijednostima otpora između faza i zemlje (tkz. visokoomski zemljospojevi)

mogu se relativno dugo održavati znatnije struje. Zbog toga je potrebno da proizvođač otpornika predloži podatke i o trajno dozvoljenoj struji otpornika I_{to} .

Zbog svega nevedenog potrebno je nešto više reći o procesu zagrijavanja otpornika jer u toku jednopolnih kvarova kroz otpornik protječu znatne struje tako da se velik dio električne energije mreže u otporniku pretvara u toplinsku energiju.

Otpornik treba tako dimenzionirati da se previše ne zagrije kako ne bi došlo do prevelike promjene otpora, a zbog toga i struje zemljospoja.

Zbog brzog porasta temperature u toku jednopolnog kvara može se računati s time da je proces adijabat-ski, pa stoga vrijedi:

$$\int_0^t i_z^2 \cdot dt = \int_{t_0}^t \frac{m \cdot C_v}{R_v} \cdot d \quad (3)$$

Pritom je:

i_z = trenutna vrijednost struje jednopolnog kvara

t = vrijeme trajanja kvara

m = masa otpornika

C_v = specifična toplina otpornika na temperaturi ϑ

R_v = djelatni otpor otpornika na temperaturi ϑ

ϑ_0 = temperatura otpornika u trenutku 0

ϑ = temperatura otpornika u trenutku t .

$$\int_0^t i_z^2 \cdot dt = \text{toplinski impuls struje } i_z$$

Dopuštena vrijednost toplinskog impulsa struje kvara određuje se iz jednadžbe (3) uvrštavanjem $\vartheta = \vartheta_g$, pri čemu je ϑ_g granična dopuštena temperatura otpornika.

U slučaju metalnih otpornika promjena otpora s temperaturom iznosi:

$$R = R_{20} \cdot [1 + \alpha (\vartheta - 20)]. \quad (4)$$

Kod elektrolitskih otpornika zavisnost otpora od temperature može se opisati izrazom:

$$R = k\vartheta \cdot R_{20}, \quad (5)$$

pri čemu je $k\vartheta$ eksperimentalno utvrđeni temperaturni koeficijent. R_{20} u gornjim izrazima predstavlja vrijednost otpora pri temperaturi od 20°C. Za 20°C iznosi $k\vartheta = 1$.

Kod elektrolitskih otpornika smanjuje se otpor s povećanjem temperature, dok kod metalnih otpornika nastupa povećanje otpora s porastom temperature.

Promjena otpora je znatno izraženija kod elektrolitskih otpornika jer se metalni otpornici karakteriziraju dosta niskim temperaturnim koeficijentima otpora (npr. lijevano željezo ima $\alpha \approx 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Dimenzije otpornika se orijentacijski mogu dobiti također iz jednadžbe (3).

Ako se toplinski impuls prikaže preko efektivne vrijednosti struja kvara, a specifična toplina $c\vartheta$ i otpor $R\vartheta$ zamijene svojim srednjim vrijednostima c_s i R_s u temperaturnom opsegu od ϑ_0 do ϑ_g , dolazi se do izraza:

$$I_z^2 \cdot t < \frac{m \cdot c_s}{R_s} \cdot (\vartheta_g - \vartheta_0) \quad (6)$$

Potrebna masa otpornika dobiva se kao:

$$m > \frac{R_s \cdot I_z^2 \cdot t}{c_s \cdot (\vartheta_g - \vartheta_o)} \quad (7)$$

Budući da vrijedi:

$$R_s \approx \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_z} \quad (8)$$

masa otpornika iznosi:

$$m \geq \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_n \cdot I_z \cdot t}{c_s \cdot (\vartheta_g - \vartheta_o)} \quad (9)$$

U navedenom izrazu je U_n nazivni napon mreže.

Uz $\vartheta_g = 35^\circ\text{C}$, $\vartheta_o = 20^\circ\text{C}$ i $c_s = 4\,186,8 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ kao tipične vrijednosti za dimenzioniranje elektrolitskog otpornika dobije se:

$$m > 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot U_n \cdot I_z \cdot t.$$

Tako npr. za uzemljenje mreže $U_n = 10 \text{ kV}$ s $I_z = 300 \text{ A}$ i $t = 10$ sekundi elektrolitski otpornik bi trebao imati masu od približno:

$$m \geq 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 300 \cdot 10 \text{ kg}$$

$$m \geq 276 \text{ kg.}$$

U slučaju metalnih otpornika mogu se, zbog malih temperaturnih koeficijenata otpornika, dozvoliti znatno veći opsezi promjena temperatura.

U slučaju korištenja lijevanog željeza može se uzeti da je $c_s \approx 540 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, pa se uz $\vartheta_g - \vartheta_o = 100^\circ\text{C}$ može dobiti približni izraz za izračunavanje mase otpornika:

$$m \geq 1,07 \cdot 10^{-5} \cdot U_n \cdot I_z \cdot t.$$

Za uzemljenje mreže s $U_n = 10 \text{ kV}$, $I_z = 300 \text{ A}$ i $t = 10 \text{ A}$ metalni otpornik od lijevanog željeza morao bi imati približnu masu od

$$m \geq 321 \text{ kg.}$$

Jasno je da su navedene vrijednosti približne i da stvarna masa otpornika ovisi o ostalim konstrukcijskim dijelovima otpornika (keramički dijelovi, kućište, provodni izolatori, itd.) koji su potrebni za siguran i pouzdan pogon otpornika. Dimenzije otpornika treba odabrati i s obzirom na zagrijavanje poradi trajnih struja koje mogu nastati npr. kod jednopolnih kvarova s velikim prijelaznim otporom na mjestu kvara kada je struja kvara manja od struje reagiranja zemljospojne zaštite.

Uvjeti zagrijavanja otpornika pri trajnom vođenju struje određeni su jednadžbom koja definira toplinsku bilancu, tj. bilancu stvorene i odvedene topline:

$$R_{\vartheta d} \cdot I_{zt}^2 = \int K (\vartheta_{td} - \vartheta_a) dS. \quad (10)$$

U jednadžbi (10) oznake imaju ovo značenje:

I_{zt} = efektivna vrijednost trajne struje jednopolnog kvara

S = površina hlađenja

K = ekvivalentni koeficijent prijelaza topline s površine dS

ϑ_{td} = trajno dozvoljena temperatura otpornika

ϑ_a = temperatura okoline.

Ekvivalentni koeficijent prijelaza topline obuhvaća sve vidove prijenosa toplinske energije i definiran je primjenjenom vrstom hlađenja. Ako se pretpostavi

da svi dijelovi površine otpornika imaju jednaku trajno dozvoljenu temperaturu ϑ_{td} , iz jednadžbe (10) se može dobiti izraz za potrebnu površinu hlađenja:

$$S = \frac{R_{\vartheta d} \cdot I_{zt}^2}{k \cdot (\vartheta_{td} - \vartheta_a)} \quad (11)$$

Ako su ulazne veličine površina hlađenja S i ekvivalentni koeficijent prijelaza topline K , može se orijentacijski izračunati granična vrijednost trajno dozvoljene struje:

$$I_{zt} = \sqrt{\frac{S \cdot K (\vartheta_{td} - \vartheta_a)}{R_{\vartheta d}}} \quad (12)$$

Način proračuna ekvivalentnog koeficijenta prijelaza topline K dosta je složen (ovisi o dimenzijama otpornika, lokaciji otvora na otporniku, dimenzijama otvora na otporniku, distribuciji topline unutar otpornika, razlici temperatura, itd.), pa se češće koriste podaci iz literature. Tako npr. za elektrolitske otpornike može se orijentacijski usvojiti da koeficijent K

iznosi između $6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ i $10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Treba naglasiti da su osnovne dimenzije otpornika određene i posebnim konstruktivnim zahtjevima, a naročito potrebnom vrijednošću otpora koja određuje dužinu, broj i presjek pojedinih otporničkih elemenata ovisno o osobinama materijala i konstrukciji elemenata.

U slučaju elektrolitskih otpornika otpor se može mijenjati u širokom rasponu promjenom koncentracije tekućine tako da su ovom pogledu znatno manji posebni konstruktivni zahtjevi.

2.1. Metalni otpornici

Osnovne karakteristike koje bi metalni otpornici morali zadovoljiti sadržani su u zahtjevu da oni moraju biti tako projektirani da podnose visoke nazivne struje na visokim temperaturama s relativno malom promjerom nazivnog otpora.

Kao što je poznato, otpornici za uzemljenje neutralne točke elektroenergetskih mreža moraju apsorbirati veliku energiju za kratko vrijeme. Budući da je raspoloživi prostor za montažu ograničen, to se zahtijeva vrlo kompaktna konstrukcija, što se može postići korištenjem materijala s velikim specifičnim otporom i što većim presjekom. To sve ima za posljedicu velik toplinski kapacitet.

Pritom se ne smije zaboraviti da je potrebno postići kompromis između suprotnih zahtjeva koje diktiraju raspoloživi prostor, način hlađenja i ventilacije odnosno stupanj mehaničke zaštite.

S obzirom na tip materijala za izradu otpornih elemenata može se konstatirati da se danas koriste lijevano željezo, nerđajući čelik i razne legure.

O samoj konstrukciji otpornika može se konstatirati da je sastavljen od više desetaka ili stotina otpornih elemenata raspoređenih u izvjestan broj otpornih slogova koji su izolirani od mase pomoću odgovarajućih izolatora. Otporni elementi mogu se međusobno spajati serijski, paralelno i paralelno-serijski.

Tablica 1. Osnovne karakteristike materijala koji se najčešće koriste za izradu otpornih elemenata

Karakteristika	Oblik otpornih elemenata		
	Žičani elementi	Elementi od lijevanog željeza	Elementi od nerđajućeg čelika
Materijal	CuNi44 (constantan) NiCr8020	površinski obrađeno lijevano željezo	nerđajući čelik nekorodirajuća legura CrNi
Otpor pojedinog elementa pri 20 °C	1 500 – 0,5	0,2 – 0,01	0,75 – 0,04
Dozvoljeno trajno strujno opterećenje elemenata	0,5 – 20 A	25 – 125 A	25 – 250 A
Vremenska konstanta zagrijavanja T	20 – 90 s	240 – 600 s	120 s
Povećanje otpora s porastom temperature	0,4%/100 K	7,5%/100 K	5%/100 K
Stupanj izolacije			
– prema kućištu	600 V/ 1 kV	1 kV	1 kV
– prema zemlji preko izolatora	3,6/52 kV	3,6/52 kV	3,6/52 kV

S obzirom na zaštitu od utjecaja vlage otpornici od nerđajućeg čelika i od legura imaju znatnu prednost pred onima od lijevanog željeza.

Osnovne karakteristike materijala koji se najčešće koriste za izradu otpornih elemenata dane su u tabl. 1.

Iz tabl. 1. očito je da se žičani elementi koriste ekonomično do dozvoljene trajne strujne opteretivosti od 15 A. Za struje iznad 25 A koriste se elementi od lijevanog željeza, nerđajućeg čelika ili razne legure. Treba također naglasiti da su povećanja otpora s porastom temperature za elemente od CuNi44 (constantan) praktično zanemariva, a za leguru CrNi iznose oko 2%/100 K.

Može se konstatirati da se gotovo isključivo koristi prirodna ventilacija, a da se prisilna ventilacija ili ulj-no hlađenje koriste samo u vrlo specifičnim situacijama. Tako se i proizvođači koji su se prije koristili uljnim otpornicima za uzemljenje neutralne točke, npr. ABB, danas više ne koriste takvim rješenjem.

Standardne vrijednosti tolerancije pojedinih otpornih elemenata iznose $\pm 10\%$, a kompletnog otpornika $\pm 5\%$ pri 20 °C.

Povećanje temperature prouzrokuje povećanje otpora. Tako npr. za elemente od lijevanog željeza iznosi navedeno povećanje (prema tabl. 1.) 7,5%/100 K.

Računa li se s povećanjem temperature od oko 400 K (tipična vrijednost) i uz nazivnu struju od 600 A, smanjit će se početna nazivna struja na 461,5 A.

Otpornici se projektiraju za kratkotrajni pogon, tj. limitirano vrijeme, a ne za slučaj trajnog strujnog opterećenja.

Ako je vrijeme opterećenja $t_B < T_g$, mogu se dopustiti i kratkotrajna preopterećenja. Ako sa a označimo faktor preopterećenja

$$a = \frac{I_a}{I_n}$$

sa strujom I_a koja je veća od nazivne struje I_n ,

tada iznosi maksimalno vrijeme preopterećenosti t_{Bmax} (to je vrijeme unutar kojeg dolazi do zagrijavanja koje ne prelazi dopuštene vrijednosti):

$$t_{Bmax} = T_g \cdot \ln \frac{a^2}{a^2 - 1}. \quad (13)$$

Nakon tog vremena t_{Bmax} potrebno je dugo vremensko razdoblje za kompletno hlađenje otpornika.

Trebamo li otpor nazivne struje 400 A, a njegovi otpornički elementi su od lijevanog željeza i imaju dozvoljeno trajno strujno opterećenje od $I_n = 60$ A i vremensku konstantu zagrijavanja $T = 450$ s, tada maksimalno vrijeme preopterećenja iznosi:

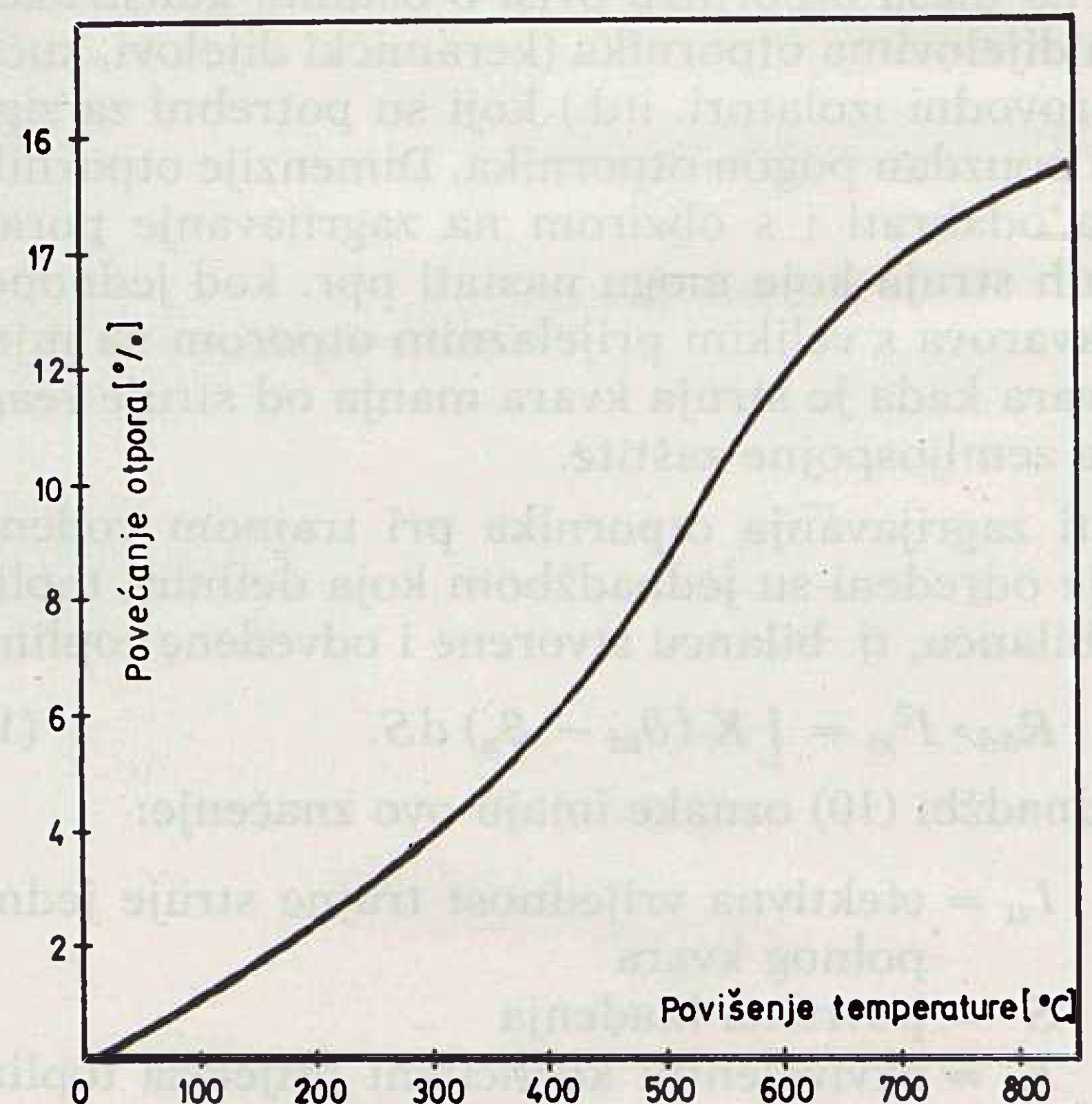
$$t_{Bmax} = 450 \cdot \ln \frac{\left(\frac{400}{60}\right)^2}{\left(\frac{400}{60}\right)^2 - 1}$$

$$t_{Bmax} = 10,25 \text{ s.}$$

Prema tome, navedeni otpornik može se koristiti za nazivno vrijeme od 10 s.

Zanimljivo je prezentirati podatke o materijalima nekih poznatih svjetskih proizvođača.

Tako npr. tvrtka GEC proizvodi otpornike od legure nerđajućeg čelika sa 13% kroma i 4% aluminija. Temperaturni koeficijent otpora je 0,000 16 / °C pri 20 °C. Na sl. 1. prikazana je promjena otpora s temperaturom.



Slika 1. Promjena otpora s temperaturom za RP otpornički materijal (proizvodnje GEC)

Mali temperaturni koeficijent ovog materijala osigurava mogućnost povećanja otpora manju od 2% za

100°C povećanja temperature. Mogućnost rada na temperaturama koje su više i od 1 000°C daje posebnu sigurnost i povećava pouzdanost pogona u odnosu na otporničke materijale koji imaju mogućnost rada na nižim temperaturama. Treba također naglasiti da standardni RP otpornici imaju vrlo malen induktivitet, koji rezultira faznim kutom od 8° između struje i napona kod pogonske frekvencije 50 Hz. Moguće su i specijalne izvedbe s još manjim vrijednostima induktiviteta.

Treba naglasiti da, u skladu s ANSI/IEEE 32 – 1972, temperatura najtoplijeg mjesta konvencionalnih otpornika za uzemljenje neutralne točke ne bi smjela prijeći 760°C za nerđajući čelik, odnosno 510°C za ljevano materijale.

I neki drugi proizvođači, poput Le Metal Deploye, proizvode otpornike sa sastavnim elementima koji mogu izdržati temperature do 1 000°C. Navedeni proizvođač ima niz različitih tipova otpornika (npr. Gridex G, Gridex U, Gridex N, Gridex F), ovisno o zahtjevima (adijabatski ili neadijabetski proces zagrijavanja, prirodno ili prisilno hlađenje itd.). U skladu s tim zahtjevima u tabl. 2. su prikazane i osnovne karakteristike različitih materijala (legura) koje se koriste kao sastavni elementi otpornika.

Tablica 2. Osnovne karakteristike raznih legura koje tvrtka Le Metal Deploye primjenjuje za izradu otpornih elemenata

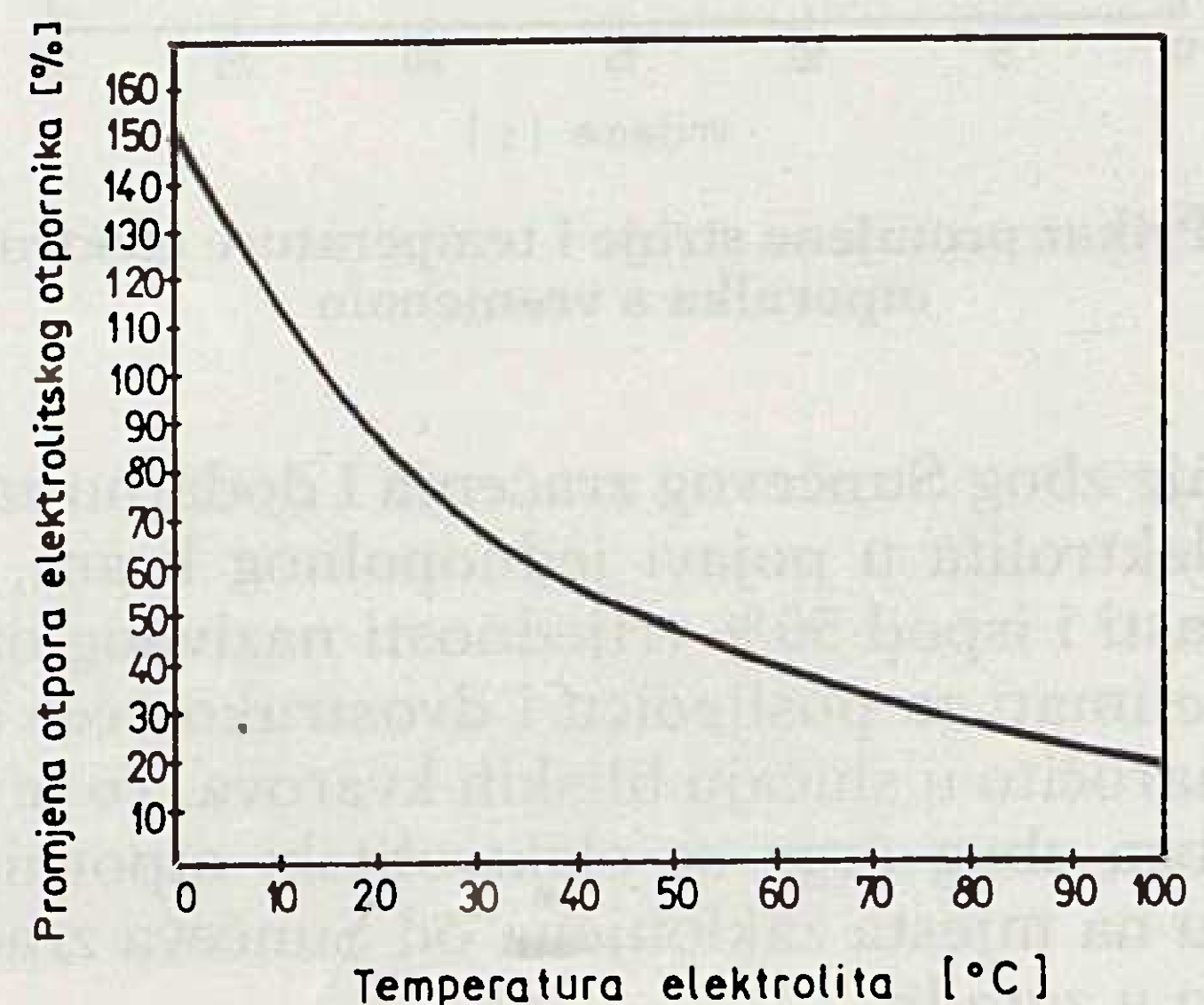
Legura	Referenca	Otpornik $\mu\Omega \cdot \text{cm}^2$ cm	Temperaturni koeficijent
specijalni silikonski čelik	DIN 46400	37	$2 \cdot 10^{-3}$
17% krom-feritni čelik	Z. 8C. 17 X. 8CR. 17	60	$1,5 \cdot 10^{-3}$
18/10 nerđajući čelik	A. 2CN. 1810 X2 CR. NI 1809	72	$0,9 \cdot 10^{-3}$
tvrdi čelik	NI. CR. 30. 20	105	$(0,25 - 0,40) \cdot 10^{-3}$
Cu-Ni legura		48	zanemariv

2.2. Elektrolitski otpornici

Kako je pokazala analiza u točki 2, metalni otpornik za iste pogonske uvjete zahtijeva nešto više materijala od elektrolitskog otpornika. U slučaju metalnog otpornika radi se o aktivnom materijalu koji je svakako skuplji od elektrolita. Inače se kao elektrolit najčešće koriste vodene otopine kalcinirane sode odnosno sode za pranje (natrij-karbonata).

Kod većih nazivnih snaga zbog uvjeta hlađenja metalni otpornici se moraju izvoditi iz nekoliko posebnih dijelova koji se povezuju serijski. To povećava ukupni gabarit otpornika, što može uzrokovati povećanja potrebne tlocrtnne površine i za nekoliko puta u odnosu na elektrolitske otpornike. Jasno je da su to samo orijentacijske veličine i da dimenzije otpornika bitno ovise i o tipu konstrukcije otpornika odnosno korištenom aktivnom materijalu.

U slučaju potrebe za povećanjem nazivne struje otpornika (npr. zbog porasta ukupne dužine priključne mreže), metalni otpornik se mora mijenjati ili se moraju dograditi dodatni otpornici. Osim troškova, to zahtijeva i dodatni prostor u postrojenju. U slučaju elektrolitskih otpornika otpor se može podešavati u širokim granicama promjenama koncentracije otopine. Kod elektrolitskih otpornika s povećanjem temperature smanjuje se otpor. Tipične vrijednosti promjene otpora s temperaturom prikazane su na sl. 2. (za elektrolitske otpornike proizvodnje GEC).



Slika 2. Ovisnost promjene otpora elektrolitskog otpornika o porastu temperature

Ovisnost otpora o temperaturi može se, prema tome, opisati izrazom:

$$R_g = k_g \cdot R_{\text{rof}}$$

pri čemu je k_g eksperimentalno utvrđen temperaturni korekcijski faktor, a R_{ref} vrijednost otpora pri nekoj referentnoj temperaturi. Tako npr. prema British Electricity Board's specifications BEBS S5 definira referentnu temperaturu od 15°C, dok prema zahtjevima ANSI/IEEE Standard 32 – 1972 iznosi referentna temperatura 25°C.

Treba naglasiti da se u ostalim slučajevima najčešće zahtijeva da je referentna temperatura 20°C.

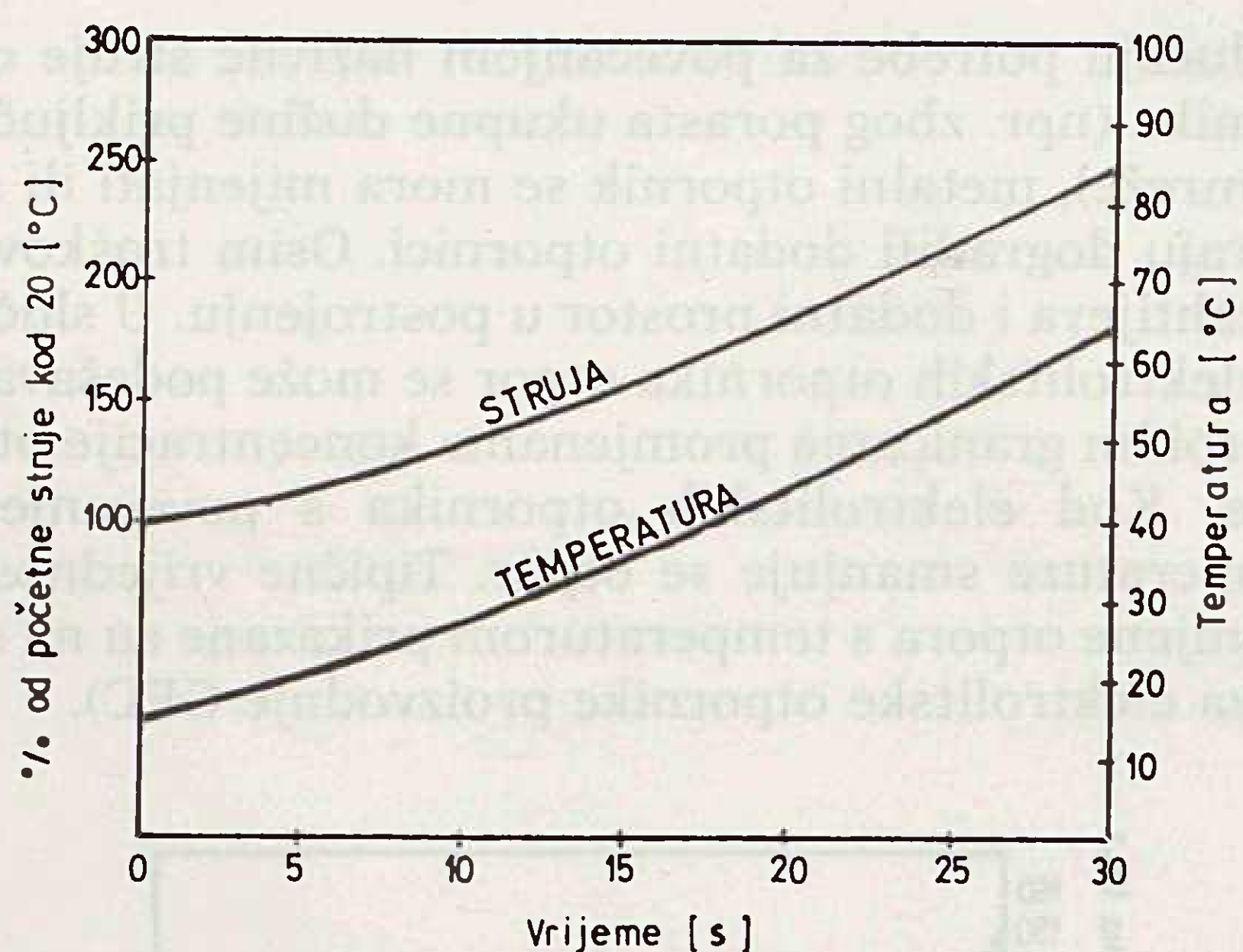
U svakom slučaju izraziti negativni temperaturni koeficijent ima kao posljedicu brzo povećanje struje kvara s povećanjem temperature elektrolita.

Što se tiče dimenzioniranja elektrolitskih otpornika, najčešći je zahtjev da otpornici izdrže nazivnu struju kroz 30 s uz maksimalno povećanje temperature od 50°C.

Za ilustraciju navedenih karakteristika elektrolitskih otpornika, na sl. 3. prikazana je ovisnost promjene struje i temperature elektrolitskog otpornika (proizvodnje GEC) s vremenom.

Unatoč određenim prednostima elektrolitski otpornici imaju i dosta mana, prije svega zato što zahtijevaju brižljivo održavanje zbog mogućeg isparavanja, zaleđivanja ili prljanja elektrolita. Osim mjerenja otpora, potrebno je stalno kontrolirati termostat i grijač. Antikorozivna zaštita posude s elektrolitom mora biti izvedena vrlo kvalitetno.

Vrijednosti otpora u toku toplijih i hladnijih razdoblja vrlo je različita (vidi sl. 2), a uzimajući u obzir i za-



Slika 3. Prikaz promjene struje i temperature elektrolitskog otpornika s vremenom

grijavanje zbog Sunčevog zračenja i dodatno zagrijavanje elektrolita u pojavi jednopolnog kvara, može otpor pasti i ispod 50% vrijednosti nazivnog otpora. To može imati za posljedicu i dvostruko veće struje kvara, naročito u slučaju bliskih kvarova. To je jedan od razloga zbog čega se elektrolitski otpornici postavljaju na mjesta zaklonjena od Sunčeva zračenja, odnosno u zgrade.

Treba također naglasiti da su u slučaju elektrolitskih otpornika potrebni dodatni izvori napajanja i kabeli za upravljanje i napajanje krugova termostata i grijača i da nije zanemariva ni potrošnja grijača. Snaga grijača iznosi obično između 2,5 kW i 8 kW, ovisno o proizvođaču i veličini otpornika.

Čest je zahtjev da poklopac posude igra ulogu i »sigurnosnog ventila« za slučaj otkazivanja svih zaštita. U tom slučaju potrebno je poklopac konstruirati tako da se pod pritiskom, kod intenzivnog isparavanja elektrolita, odvoji od posude i tako spriječi eksploziju.

U tom su slučaju još teži zahtjevi koji se definiraju proizvođaču posuda.

Zbog svega navedenog može se konstatirati da se danas elektrolitski otpornici sve više izbjegavaju i da metalni otpornici sa suvremenim tehničkim rješenjima (posebno aktivnog dijela) danas imaju nesumnjivu prednost.

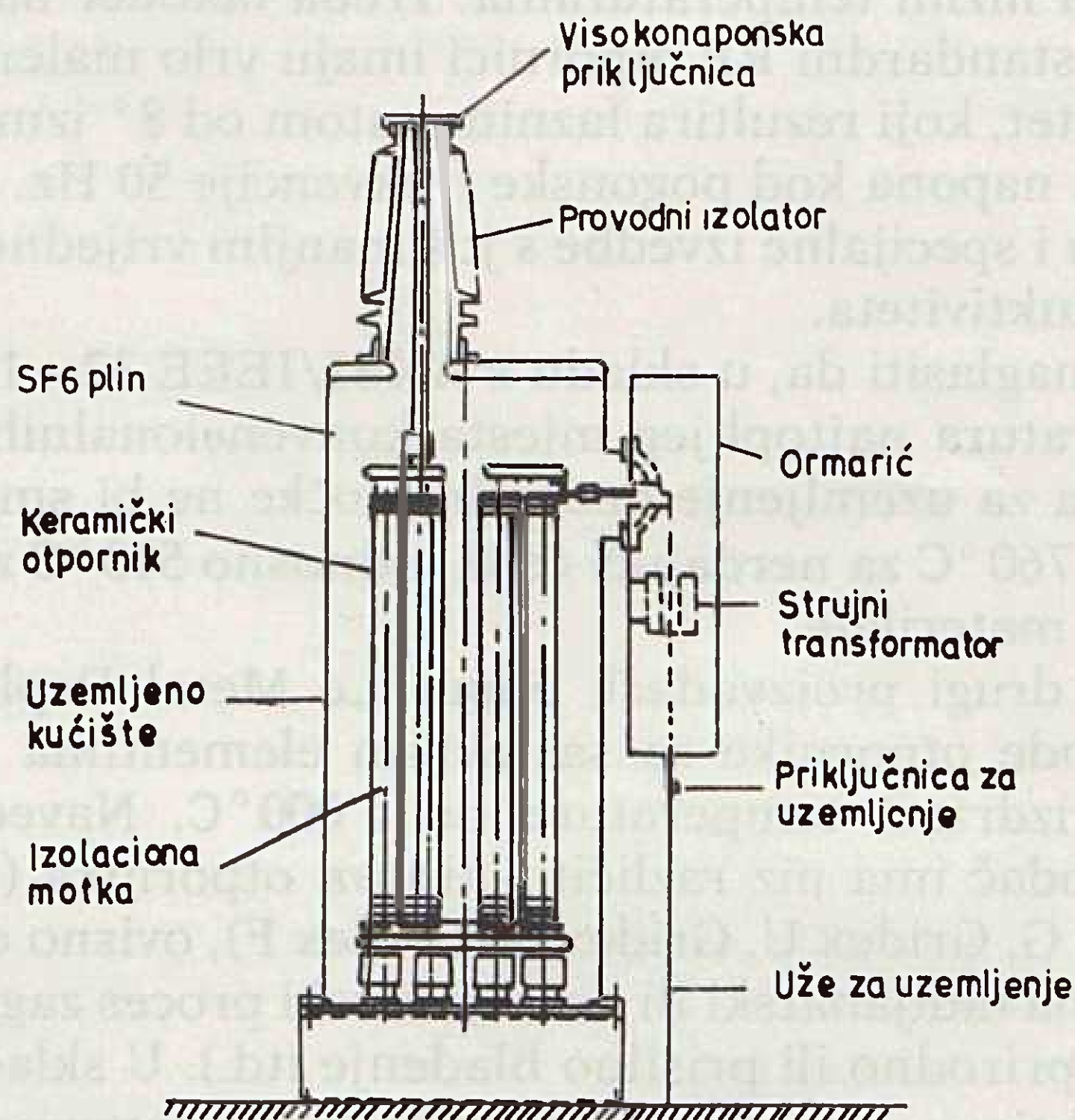
2.3. Keramički otpornici

Osnovne su prednosti keramičkih otpornika sa SF₆ plinom kao izolacijskim medijem u odnosu na metalne otpornike sljedeći:

1. zahtijevaju manji prostor potreban za montažu,
2. znatno su manje težine,
3. znatno im je manji volumen,
4. bolje su zaštićeni od nepovoljnih utjecaja okoline (zagadenja od morske soli, utjecaja snijega itd.)
5. unutrašnjost otpornika je potpuno zaštićena od korozije,
6. potrebni su manji radovi u toku održavanja i redovnih pogonskih kontrola,
7. imaju bolje električne performanse.

U daljnjem tekstu opisan će se pobliže navedene prednosti keramičkih otpornika.

Unutrašnja konstrukcija keramičkih otpornika sa SF₆ izolacijom prikazana je na sl. 4.



Slika 4. Unutrašnja konstrukcija keramičkih otpornika za uzemljenje zvjezdišta elektroenergetskih mreža

Prednosti keramičkih otpornika posebno dolaze do izražaja na višim naponima. Tako se danas u svijetu vrše uzemljenja i na naponskim nivoima 66 kV, 110 kV, 132 kV i 154 kV.

U tabl. 3. dane su osnovne karakteristike keramičkih otpornika koji se koriste u mrežama 66 kV i 110 kV.

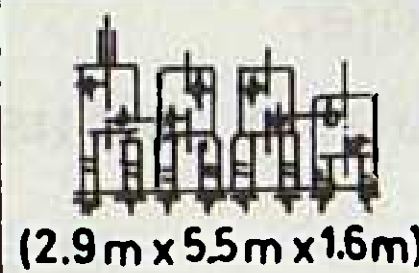



Tablica 3. Osnovne karakteristike keramičkih otpornika izoliranih plinom SF₆ u mrežama nazivnog napona 66 kV i 110 kV

1. Nazivni napon (kV)	66/√3	110/√3
2. Nazivna struja (A)	150	150
3. Vrijednosti otpora (Ω)	254	423
4. Nazivno trajanje opterećenja (s)	15	15
5. Frekvencija (Hz)	60	60

Budući da danas u svijetu metalni otpornici prevladavaju u odnosu na tekuće, to je zanimljiva usporedba osnovnih dimenzija i težina keramičkih otpornika i metalnih otpornika za tipičnu 66 kV mrežu, što je prikazano na sl. 5.

Na nižim naponskim nivoima razlike nisu tako drastične, ali se svejedno može zaključiti da će nova generacija keramičkih otpornika imati nesumnjive prednosti u pogledu transporta, montaže, građevničkih radova, kao i olakšanog projetiranja dispozicija postrojenja zbog enormno manjeg potrebnog prostora za montažu (tlocrtne površine), ukupnog volumena (dovoljno jedno kućište umjesto više njih) i bitno smanjene ukupne težine.

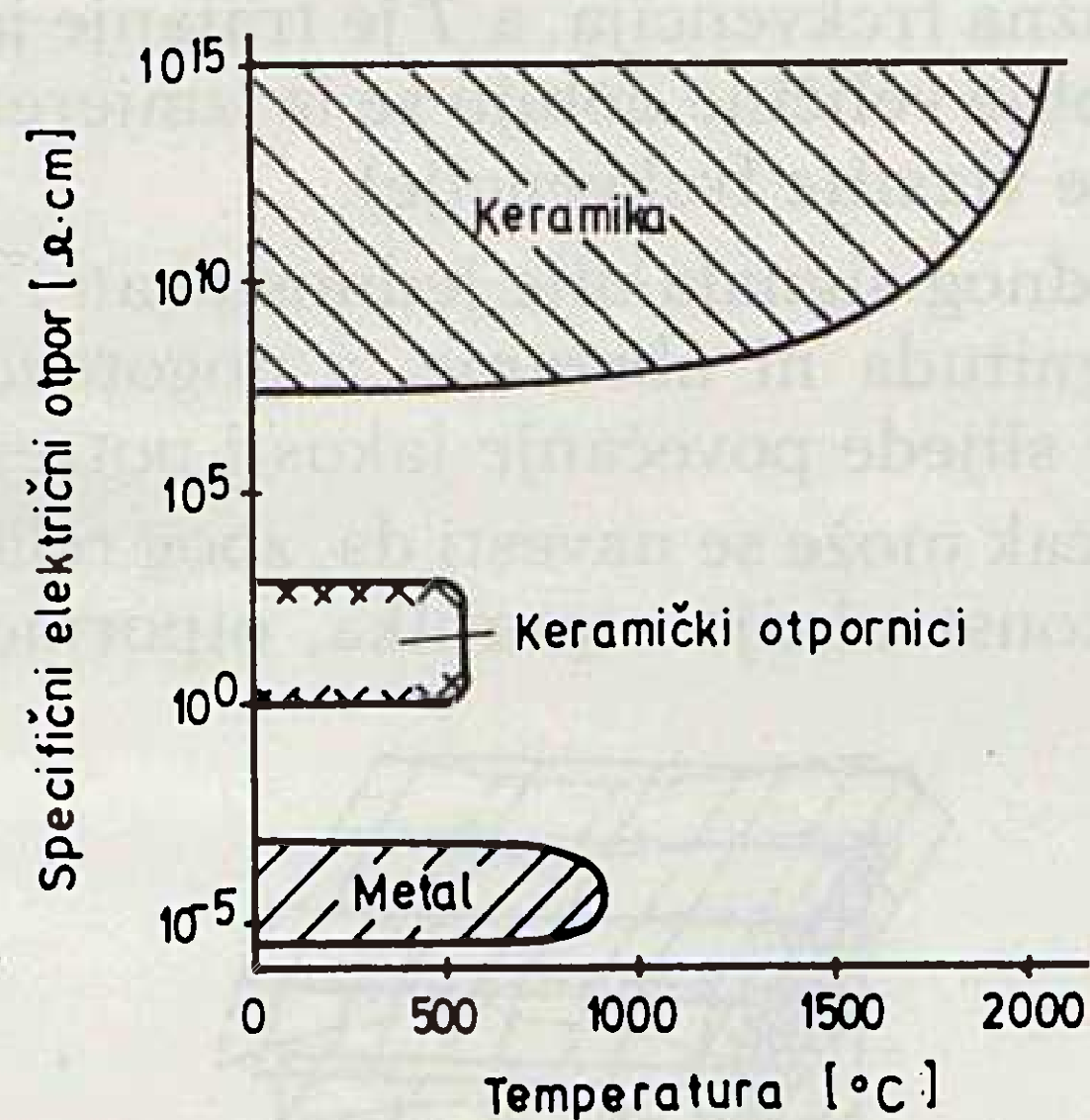
Posebno je potrebno naglasiti prednost primjene keramičkih otpornika izoliranih plinom SF₆ ako se koriste u sklopu sklopnih postrojenja izoliranih plinom SF₆ i za uzemljenje energetskih transformatora izoliranih plinom SF₆. Budući da se takva postrojenja i

Metalni otpornik		Keramički otpornik
Konstrukcija	 (2.9m x 5.5m x 1.6m)	 (3.0m x 1.1m x 1.1m)
Konfiguracija elemenata otpornika		
Volumen	100%	15%
Težina	100%	45%
Prostor za montažu	100%	15%

Slika 5. Usporedba osnovnih dimenzija i težina konvencionalnih metalnih i keramičkih otpornika za 66 kV mrežu

transformatori ponajviše koriste u gustim urbanim sredinama, tj. mjestima gdje je problem prostora vrlo izražen i kada su veoma nepovoljni utjecaji okoline (blizina mora, kemijska industrija itd.), to je jasno koliko se dobiva korištenjem keramičkih otpornika koji zahtijevaju bitno manji prostor, a imaju i veću pouzdanost od drugih tipova otpornika. Treba naglasiti da se keramički otpornici danas koriste u Japanu, a da je u Japanu i najčešća komercijalna upotreba energetskih transformatora izoliranih plinom SF6.

Osnovna prednost keramičkih otpornika, bitno smanjenje dimenzija očigledna je iz sl. 6.

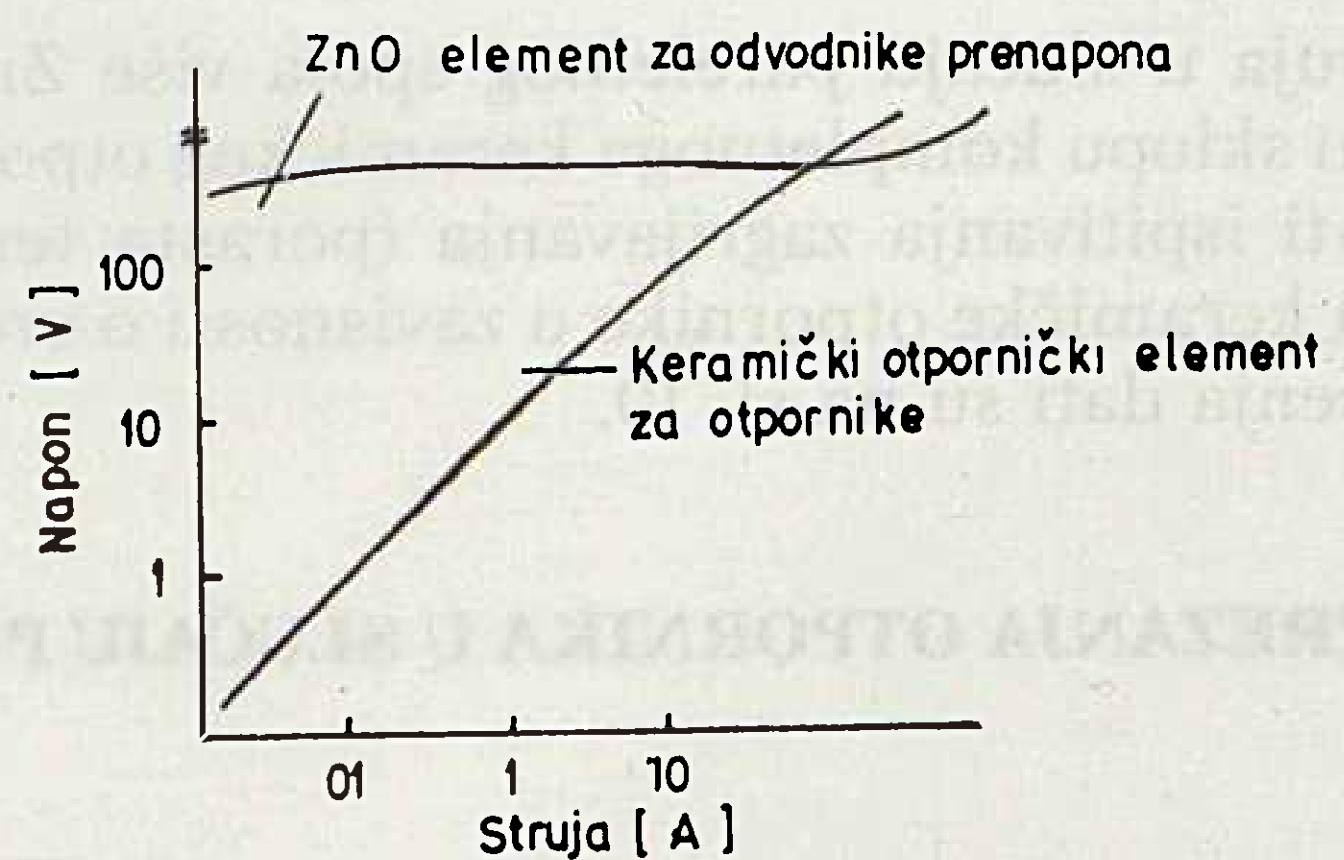


Slika 6. Nivo specifičnog električnog otpora za metale i keramičke materijale u temperaturnom području do 2 000 $^{\circ}\text{C}$

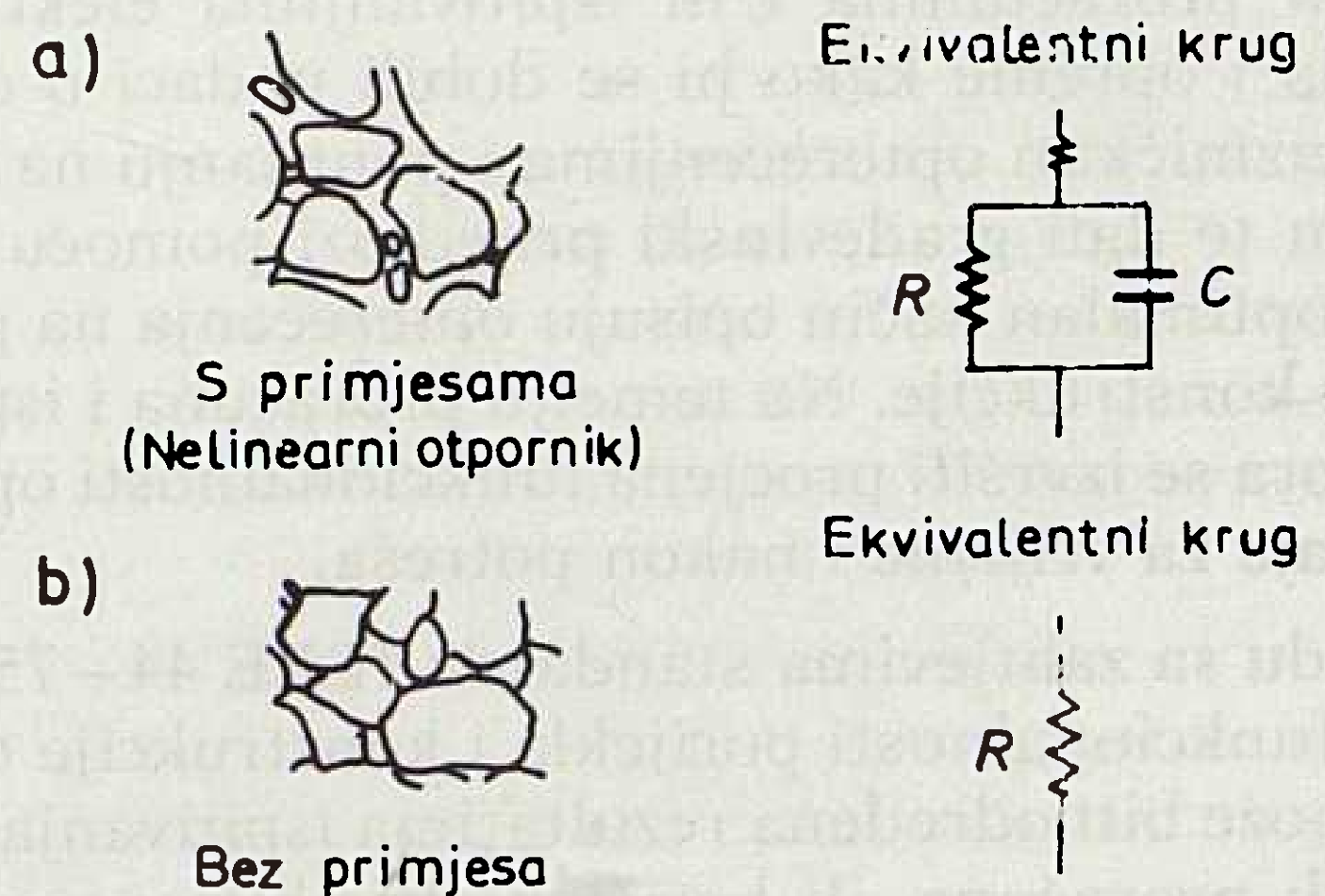
Iz sl. 6. očito je da novi keramički materijali koji se koriste za izradu otpornika imaju specifični otpor od nekoliko stotina $\Omega \cdot \text{cm}$ (područje od 1 do $10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ – ovisno o dodacima osnovnom materijalu), a konvencionalni metalni otpornici imaju specifični otpor i ispod nekoliko stotina $\mu\Omega \cdot \text{cm}$.

Budući da je osnovni materijal ZnO, dakle kao i za odvodnike prenapona, to je zanimljiva komparacija $U - I$ karakteristika za ZnO odvodnike prenapona i za keramičke otpornike.

Mikrostruktura elemenata za odvodnike prenapona i keramičke otpornike je data na sl. 8.

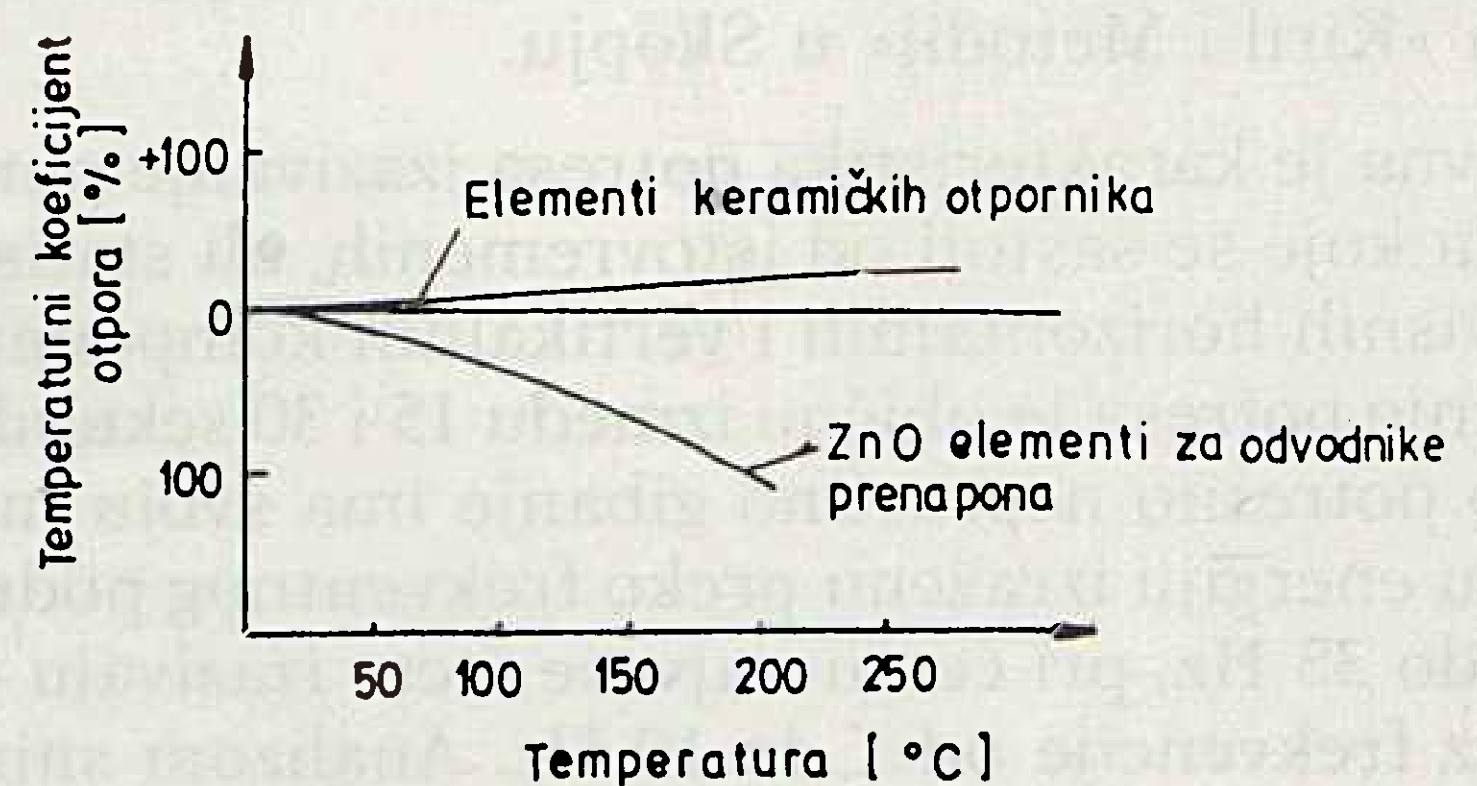


Slika 7. $U - I$ karakteristika ZnO elemenata za odvodnike prenapona i keramičke otpornike



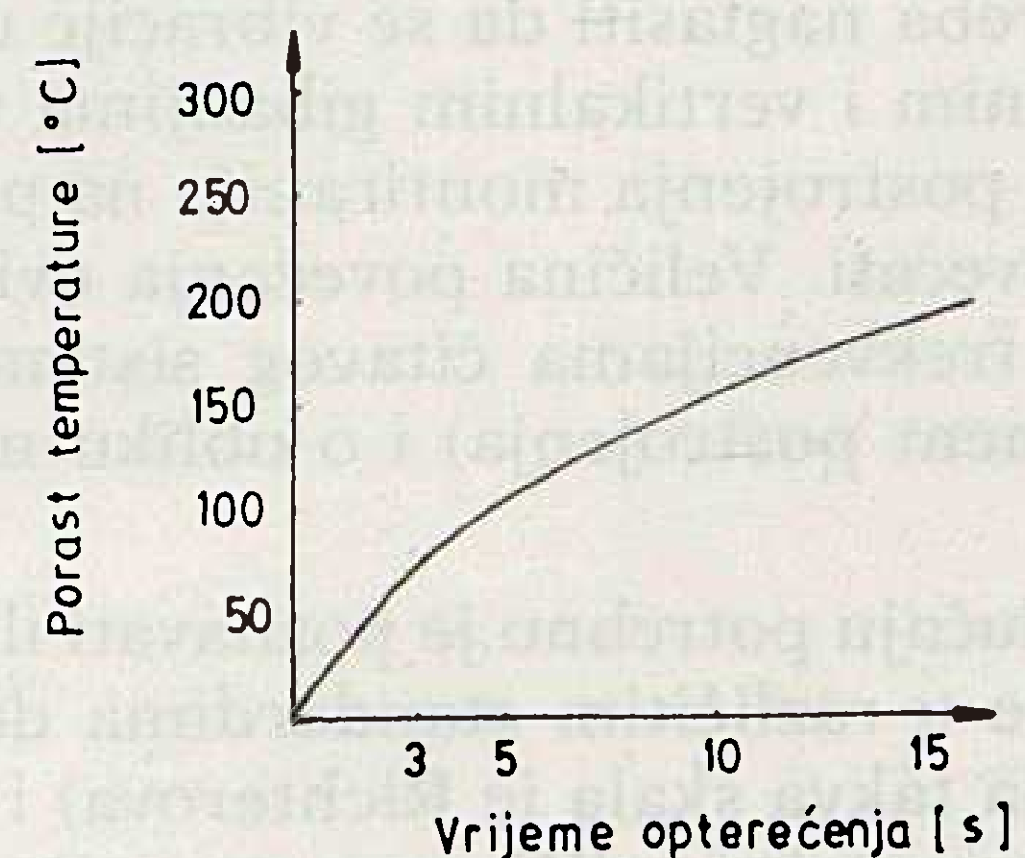
Slika 8. Mikrostruktura elemenata za odvodnike prenapona a) i za keramičke otpornike b)

Temperaturni koeficijent otpora elemenata za ZnO odvodnike prenapona i keramičke otpornike prikazan je na sl. 9.



Slika 9. Temperaturni koeficijent otpora u ovisnosti o temperaturi za ZnO elemente za odvodnike prenapona i za elemente keramičkih otpornika

Blag porast temperaturnog koeficijenta otpornika s porastom temperature uzrokuje povoljniju distribu-



Slika 10. Porast temperature za keramičke otpornike napona 66 kV u ovisnosti o vremenu opterećenja

ciju struja u slučaju paralelnog spoja više ZnO elementa u sklopu kompletnoga keramičkog otpornika. Rezultati ispitivanja zagrijavanja (porasta temperature) za keramičke otpornike u zavisnosti o vremenu opterećenja dati su na sl. 10.

3. NAPREZANJA OTPORNIKA U SLUČAJU POTRESA

Kao posljedica potresa javljaju se vibracije slučajnog i nepravilnog karaktera koje mogu proizvesti različita naprezanja. Zbog toga je sve češći zahtjev za seizmičkim proračunima i/ili ispitivanjima električnih uređaja i opreme kako bi se dobili podaci o dodatnim seizmičkim opterećenjima i ponašanju na takvu uzbuđu te dali građevinski prijedlozi pomoću kojih se na optimalan način opisuju opterećenja na građevinske konstrukcije. Na temelju proračuna i ispitivanja mora se izvršiti procjena funkcionalnosti opreme i uređaja za vrijeme i nakon potresa.

U skladu sa zahtjevima standarda IEEE 44 – 75, procjena funkcionalnosti porijekla i konstrukcije otpornika može biti određena rezultatima ispitivanja ili teorijskih proračuna, ili korištenjem obiju navedenih metoda.

U primjeru otpornika obično se vrše samo teorijski proračuni. Ipak, ako se otpornici žele koristiti i u naročito seizmički aktivnim područjima, bilo bi poželjno provesti i određena seizmička ispitivanja. U Jugoslaviji se to može izvesti u Institutu za zemljotresno inženjerstvo i inženjersku seizmologiju Univerziteta »Kiril i Metodij« u Skopju.

Osnovna je karakteristika potresa izazivanje pomicanje tla koje se sastoji od istovremenih, ali statistički nezavisnih horizontalnih i vertikalnih komponenata. Trajanje potresa je obično između 15 i 30 sekundi. Tipično potresno nepravilno gibanje ima svoju maksimalnu energiju izraženu preko frekventnog područja od 1 do 35 Hz, pri čemu najveće štete izazivaju gibanja uz frekvencije od 1 do 10 Hz. Analizom snimljenih akcelograma potresa zaključilo se da su horizontalne komponente gibanja tla redovito veće od vertikalnih komponenti. U skladu s IEC Publication 721 – 1 – 6, smatra se da vertikalne komponente gibanja tla iznose 67% do 100% od horizontalne komponente u frekventnom području iznad 3,5 Hz (koji je interesantan za električnu opremu).

Međutim, treba naglasiti da se vibracije uzrokovane i horizontalnim i vertikalnim gibanjima tla mogu u elementima postrojenja montiranim na postolja i višestruko povećati. Veličina povećanja ovisi o karakterističnim frekvencijama čitavog sistema (tlo, postolje i element postrojenja) i o obliku narinute uzbuđe.

U svakom slučaju potrebno je poznavati ili jakost potresa koja je u različitim standardima dana opisno (najpoznatija takva skala je Richterova) i koja se zasniva na izmjerenim veličinama energije potresa ili intenzitet izražen pomoću posljedica koje izaziva potres (Mercallijeva skala).

Kako je pojava potresa isključivo stohastičkog karaktera, vrlo je važan i oblik kojim se simulira gibanje tla. Tako postoje:

– trajni ili kratkotrajni sinusni oblik

$$f(t) = \begin{cases} A \cdot \sin \omega t & \text{za } 0 \leq t \leq /3,4,5 \dots \infty / \cdot T \\ 0 & \text{za } t \geq /3,4,5, \dots \infty / \cdot T \end{cases}$$

– modularni sinusni oblik (oblik signala nazivan »sin-beat« prema IEEE 344 – 71)

$$f(t) = \begin{cases} A \cdot \sin \omega t \cdot \sin \frac{\omega}{10} \cdot T & \text{za } 0 \leq t \leq 5T \\ 0 & \text{za } t \geq 5T \end{cases}$$

– eksponencijalno prigušeni signal (»e-beat«)

$$f(t) = \begin{cases} A \cdot e^{-\beta \cdot t} \cdot \cos \omega t & \text{za } 0 \leq t \leq \infty \\ 0 & \text{za } t = \infty \end{cases}$$

– signal kombiniran prema karakterističnim potresnim (»time history signal«), kao što su npr. El Centro ili San Fernando.

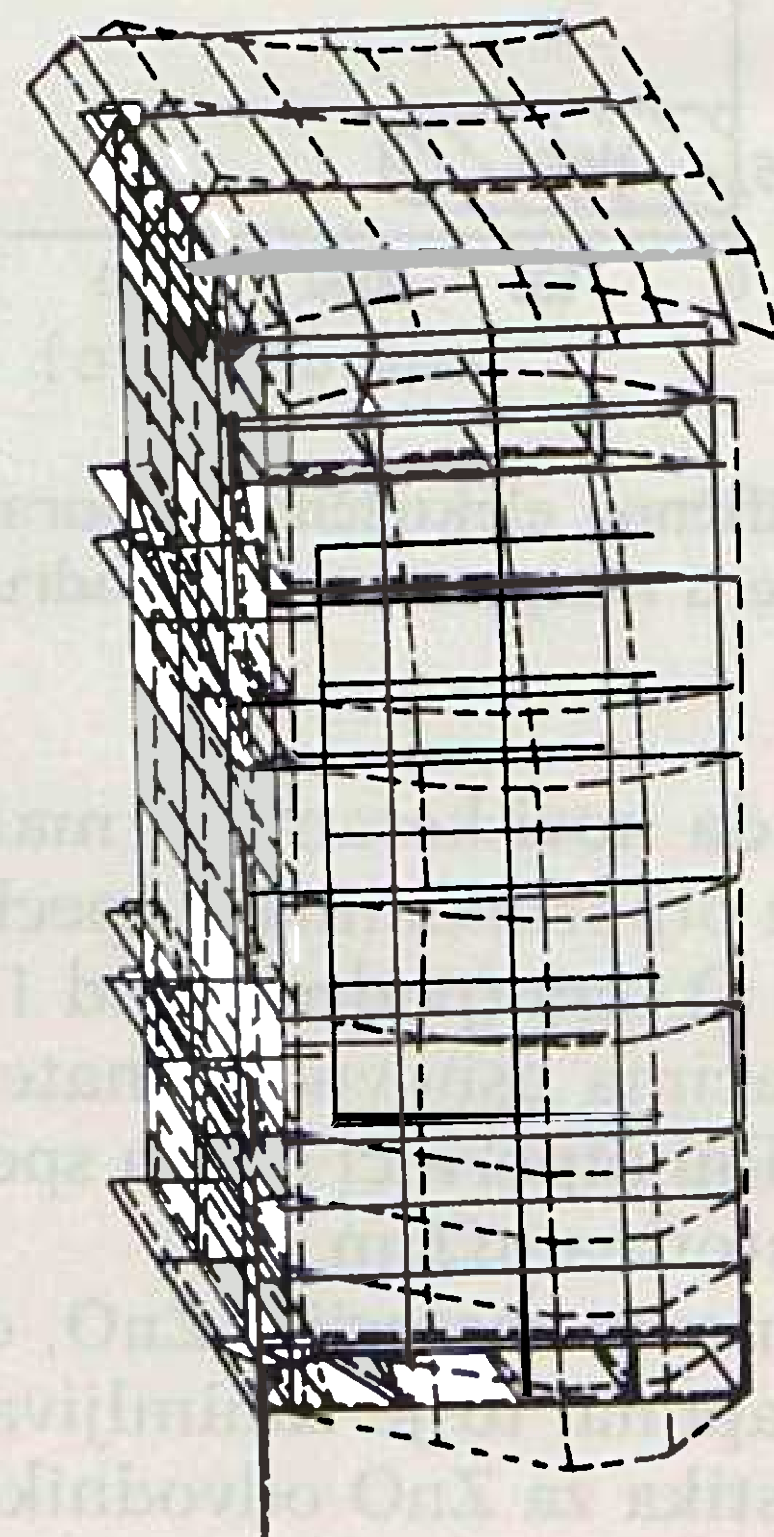
Modularni sinusni oblik (»sin-beat« prema IEEE 344 – 71) često nazivaju ENDESA-Čile. Navedene uzbuđe smatraju se dovoljno strogim u pogledu simuliranja oblika i trajanja realnog potresa na najvećem broju lokacija.

Pojedine oznake u navedenim izrazima imaju ovo značenje:

- A je amplituda ubrzanja u $\frac{m}{s^2}$ i može se uzeti prema tablici klasa seizmičkih opterećenja (npr. prema DIN 40046)
- t je ukupno trajanje uzbudnog signala bez obzira na oblik
- ω je kružna frekvencija, a T je trajanje jedne periode (obje veličine dobiju se iz izmjerene ili izračunate vlastite frekvencije).

Izbor uzbudnog signala nije jednostavan i zbog toga što ni magnituda ni ubrzanje, a pogotovo trajanje potresa, ne slijede povećanje jakosti potresa.

Kao zaključak može se navesti da, zbog relativno jednostavne konstrukcije otpornika, otpornici zadovo-



Slika 11. Kompjutorski prikaz naprezanja otpornika u slučaju simulacije djelovanja moduliranog sinusnog oblika ENDESA-Čile (1977)

ljavaju zahtjeve u pogledu ispitivanja napreznja u slučaju potresa ako nema mehaničkih opterećenja kao rezultat takvih napreznja. Za ilustraciju proračuna napreznja u slučaju potresa dan je na sl. 11 kompjutorski izlazni rezultat za napreznja otpornika u slučaju simulacije djelovanja modularnog sinusnog oblika ENDESA-Čile (1977) koji su napravili stručnjaci francuske tvrtke Le Metal Deploye.

4. USPOREDBA POJEDINIH VRSTA OTPORNIKA ZA UZEMLJENJE NEUTRALNE TOČKE ELEKTROENERGETSKIH MREŽA

Budući da se keramički otpornici praktično ne koriste izvan Japana, to ćemo se u daljnjem tekstu ograničiti na usporedbu metalnih i elektrolitskih (tekućih) otpornika.

Osnovne prednosti metalnih otpornika u odnosu na elektrolitske (tekuće) jesu:

1. Vrijednost otpora je konstantna i određena u procesu proizvodnje, tj. ne mijenja se u toku pogona.
2. Termička vremenska konstanta T je kraća što omogućuje izbor otpornika s kraćim nazivnim trajanjem opterećenja.
3. Jednostavnija je ugradnja strujnih transformatora za priključak zaštitnih uređaja.
4. Lakša je montaža na mjestu ugradnje.
5. Praktično nije potrebno održavanje u toku pogona.

Tablica 4. Usporedba osnovnih dimenzija, težina i cijena metalnih otpornika proizvodnje GEC, Le Metal Deploye i »Rade Končar«

1. ($U_n = 5,7$ kV; $I_n = 150$ A; $t_n = 10$ s)			
Proizvođač	»Le Metal Deploye«	»GEC«	»Rade Končar«
Visina (mm)	1 275	1 290	2 200
Širina (mm)	1 300	1 320	2 080
Dubina (mm)	1 220	1 056	900
Masa (kg)	200	300	420
(približna)			
Cijena (%)	17,27	59,30	100
2. ($U_n = 17,3$ kV; $I_n = 1300$ A; $t_n = 10_s$)			
Proizvođač	»Le Metal Deploye«	»GEC«	»Rade Končar«
Visina (mm)	1 350	3 110	2 295
Širina (mm)	1 300	1 400	2 080
Dubina (mm)	1 660	1 056	
Masa (kg)	520	1 800	1 170
(približna)			
Cijena (%)	18,94	66,36	100
3. ($U_n = 17,3$ kV; $I_n = 1 000$ A; $t_n = 10_s$)			
Proizvođač	»Le Metal Deploye«	»GEC«	»Rade Končar«
Visina (mm)	1 650	3 110	2 295
Širina (mm)	1 300	1 400	2 080
Dubina (mm)	1 760	1 056	
Masa (kg)	$2 \times 500 = 1000$	1 800	2 920
(približna)			
Cijena (%)	13,69	28,08	1 000

6. Nije potrebna ugradnja dodatnih grijača koji su potrebni za sprečavanje zamrzavanja elektrolita. Zbog toga će se u daljnjem razmatranju uspoređivati samo osnovne osobine pojedinih tipova metalnih otpornika različitih proizvođača.

Za usporedbu pojedinih vrsta odnosno tipova otpornika važna je informacija o potrebnom prostoru i težini, kao i cijeni za pojedine proizvođače otpornika za uzemljenje neutralne točke. Razmatrala su se tri karakteristična otpornika sljedećih parametara:

1. U_n mreže = 10 kV; $I_n = 150$ A; $t_n = 10$ s
2. U_n mreže = 30 kV; $I_n = 300$ A; $t_n = 10$ s
3. U_n mreže = 30 kV; $I_n = 1 000$ A; $t_n = 10$ s

Iz navedenog pregleda očita je prednost metalnih otpornika koji su izvedeni na bazi suvremenih tehničkih rješenja kako u pogledu potrebe tlocrtne površine, tako i još više u pogledu težine i cijene.

5. STANJE UZEMLJENJA ZVJEZDIŠTA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA HRVATSKE

U uvodnom poglavlju navedene su granične kapacitivne struje zemljospoja u distributivnim mrežama, do kojih se tolerira pogon s izoliranim zvjezdištem. Kada kapacitivne struje premaše granične vrijednosti, potrebno je provesti uzemljenje zvjezdišta u pnoj stanici.

U distributivnim 35(30) kV mrežama Hrvatske izložen pristup uglavnom je ostvaren, tako da se većina TS 110/35(30) kV danas nalazi u pogonu sa zvjezdištima uzemljenim preko otpornika. Najčešće se koriste metalni otpornici nazivne struje 300 A, a puno rjeđe nazivne struje 1 000 A. No, u distributivnim 10(20) kV mrežama situacija je bitno drugačija. Većina TS X/10 kV još uvijek radi s izoliranim zvjezdištem 10 kV mreže, bez obzira na to što su kapacitivne struje zemljospoja veće od graničnih iznosa. Zbog toga je 1988. provedena analiza 10(20) kV mreža s obzirom na potrebu provedbe uzemljenja zvjezdišta [9].

Rekapitulacija dobivenih rezultata dana je u tabl. 5.

Tablica 5. Pregled TS X/10(20) kV obzirom na visinu kapacitivnih struja zemljospoja (1988. god.)

Broj TS X/10(20) kV s izoliranim zvjezdištem	Kapacitivna struja zemlj. (A)
2	> 100
3	80–100
6	60–80
51	40–60
86	20–40
38	15–20

Iz tabl. 5 slijedi zaključak da je 1988. god. čak 148 TS X/10(20) kV radilo s izoliranim zvjezdištem, iako su kapacitivne struje zemljospoja bile veće od graničnih 20 A. Daljnjih 38 stanica je napajalo mreže s kapacitivnim strujama samo malo manjim od graničnih vrijednosti (15–20 A).

Realno je pretpostaviti da su kapacitivne struje u tim mrežama danas već prešle iznos od 20 A zbog stalno

prisutnog kabliranja u 10(20) kV mrežama. Tada dolazimo do cifre od čak **186 TS X/10(20) kV** u kojima treba provesti uzemljenje zvjezdišta. Ta brojka sama po sebi govori o značaju koji treba dati izboru tehnološki najpovoljnije vrste otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Dakako, pritom treba voditi brigu i o svim drugim problemima vezanim za uzemljenje zvjezdišta: ostaloj opremi koju treba nadopuniti u TS X/10(20) kV, a posebno o stanju uzemljivača u TS 10(20)/0,4 kV na koje se tada postavljaju novi (stroži) uvjeti.

6. ZAKLJUČAK

Uzemljenje zvjezdišta elektroenergetskih mreža kompleksan je problem, pri čijem rješavanju treba uzeti u obzir mnoge parametre. Jedan od njih su i karakteristike otpornika za uzemljenje zvjezdišta (u slučaju rezistantnog uzemljenja).

U članku su prikazane osnovne karakteristike različitih vrsta otpornika za uzemljenje zvjezdišta — metalnih, elektrolitskih i keramičkih. Budući da su za sada za upotrebu najprikladniji metalni otpornici, izvršena je njihova usporedba, i to za slučaj triju različitih proizvođača. Iz te usporedbe lako je uočiti velike tehničke i financijske razlike između otpornika domaće i strane izvedbe, što upućuje na potrebu za tehnološkim unapređenjima kod domaćih proizvođača. Za budućnost se kao najperspektivnije rješenje pojavljuju keramički otpornici, no o njima za sada nema dovoljno informacija. Značenje pravilnog odabira otpornika za uzemljenje zvjezdišta je očito — samo na području Hrvatske distribucije procjena pokazuje da bi trebalo provesti uzemljenje zvjezdišta preko 180 TS X/10(20) kV!

Time se potpuno opravdava potreba za tehnološkim unapređenjima u proizvodnji domaćih otpornika.

LITERATURA

- [1] S. ŽUTOBRADIĆ: »Uzemljenje zvjezdišta 10(20) kV mreža«, »Energija«, 6/1984.
- [2] Propisi o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja, Sl. list SFRJ, 19/68.
- [3] Prijedlog preporuka za primjenu jednofaznih metalnih otpornika za uzemljenje zvjezdišta u mrežama srednjeg napona

- [4] ABB (Assea Brown Boweri Aktiengesellschaft): Switchgear Manual 8th edition, Mannheim, 1988.
- [5] Priručnik Westinghouse: Prenos i distribucija električne energije, Građevinska knjiga, Beograd, 1963. (prijevod).
- [6] Kataloški materijali poduzeća »Rade Končar«, »GEC«, »Le Metal Deploye«
- [7] J. NAHMAN: »Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža«, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [8] ANSI/IEE Std 32–1972: IEEE Standard Requirements, Terminology, and Test Procedure for Neutral Grounding devices, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1984.
- [9] S. ŽUTOBRADIĆ, B., FILIPOVIĆ: »Pregled TS 110/35/10, TS 110/10(20), TS 35/10 kV sa stanovišta uzemljenja zvjezdišta«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF NEUTRAL POINT GROUNDING RESISTORS IN TRANSMISSION NETWORKS

The basic characteristics and developmental trends of neutral point grounding resistors are presented. Technical and financial comparisons are made. Attention is also directed to the present state of the neutral point groundings in the 10(20) kV Croatian distribution networks.

MODERNE TENDENZEN IN DER ENTWICKLUNG DES WIDERSTANDES ZUR STERNERDUNG DER ELEKTROENERGETISCHEN NETZE

Im Artikel schildert man die Grundcharakteristiken und Entwicklungstrends des Widerstandes zur Sternerdung. Veröffentlicht wurde ihr gegenseitiger technischer und finanzieller Vergleich. Es wird ebenfalls auf die jetzige Lage der Sternerdung in 10 (20) KV der Distributionsnetze in Kroatien aufmerksam gemacht.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЗАЗЕМЛЕНИЯ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В статье представлены основные свойства и направления развития сопротивлений заземления узлов. Объяснены их взаимные технические и финансовые сравнения. Обращается также внимание на теперешнее состояние заземления узлов распределительных сетей 10(20) кВ в Хорватии.

Naslov pisaca:

Dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Jugoslavija
Proleterskih brigada 37

Velimir Ravlić, dipl. inž.
»Rade Končar« — Inženjering,
41000 Zagreb, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1990-10-09

PROBLEM FREKVENTNE OVISNOSTI TRANSFORMACIONE MATRICE U PRORAČUNAVANJU PRIJELAZNIH POJAVA NA KABELSKIM SUSTAVIMA

Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić — Snježana Rimac-Drlje, Osijek

UDK 621.315.2:621.3.05

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku su dani kriteriji i načini proračunavanja prijelaznih pojava na kabelskim sustavima korištenjem programa za digitalno simuliranje koji se osnivaju na tehnikama vremenske domene. Naime, frekventna ovisnost transformacione matrice ima područja u kojima je ta matrica gotovo konstantna. Na osnovi uvida u dominantnu frekvenciju koja karakterizira razmatranu prijelaznu pojavu i karakterističnu i kritičnu frekvenciju mogu se točno utvrditi kriteriji kada transformacijska matrica i karakteristična impedancija mogu biti pretpostavljene konstantnima. Prikazana je primjena navedenih kriterija za slučaj sklopne prijelazne pojave na kabelskom sustavu.

Ključne riječi: Prijelazne pojave, kabelski sustavi, transformaciona matrica, karakteristična i kritična frekvencija.

1. UVOD

Proračunavanje prijelaznih elektromagnetskih pojava u kabelskim sistemima, što predstavlja sve važniju zadaću suvremene elektroenergetike, pretpostavlja razrješavanje poteškoća koje nameće izrazita frekventna ovisnost parametara kabela. To, zapravo, zadaću čini znatno složenijom u usporedbi s nadzemnim vodovima. Ta poteškoća ne postoji u slučaju kad se primjenjuje Fourierova transformacija, kad su frekventne ovisnosti parametara izravno uključene u proračun. Međutim, primjena postupaka koji se zasnivaju na Fourierovoj transformaciji ograničava njihova manjkavost glede predstavljanja sklopnih uvjeta, nelinearnih elemenata i velikih mreža. To je osnovni razlog što se u proračunavanju prijelaznih pojava danas diljem svijeta koriste postupci vremenske domene, pri čemu je nezaobilazna poteškoća upravo uključivanje frekventne ovisnosti parametara. Najpoznatiji program osnovan na postupcima vremenske domene, poznat pod akronimskom kraticom EMTP, kao djelotvorno sredstvo suvremene analize prijelaznih elektromagnetskih pojava, nameće, također, potrebu razrješavanja pitanja djelotvornog uključivanja frekventne ovisnosti parametara.

U slučaju proračunavanja prijelaznih pojava u kabelskim sistemima, s obzirom na naglašenu frekventnu ovisnost parametara, primjena programa osnovnih na metodama vremenske domene može biti valjana samo za određene uvjete u kojima je moguće pretpostaviti konstantnu transformacijsku matricu. Važno je i teorijsko i praktično pitanje kako ustvrditi te uvjete primjenjivosti programa vremenske domene, te na osnovi njih biti siguran da su dobiveni rezultati točni. Ovo pitanje postaje posebno važno kad se na umu ima raznovrsnost konstrukcija i načina polaga-

nja suvremenih kabela. Cilj je ovog članka dati postupak ustvrđivanja tih uvjeta, pri čemu se dana razmatranja nastavljaju na ranija o općim pitanjima frekventne ovisnosti parametara podzemnih kabela [1].

2. PRIMJENA MODALNE ANALIZE

Naponi i struje bilo kojeg n -vodičkog sistema — uz pretpostavku da se četverodimenzionalno polje može zamijeniti putnim valom — mogu biti izraženi sljedećim matričnim jednadžbama:

$$\frac{d}{dx} [V] = -[Z][I] \quad (1)$$

$$\frac{d}{dx} [I] = -[Y][V], \quad (2)$$

gdje su $[V]$ i $[I]$ vektori stupci napona i struja s n elemenata, $[Z]$ je matrica serijskih impedancija, $[Y]$ matrica shunt-admitancija, pri čemu su obje ove matrice kvadratne $n \times n$ matrice, x je udaljenost uzduž sistema na kojoj se promatraju odgovarajuće struje i naponi.

Jednadžbe (1) i (2) daju sljedeći sistem jednadžbi drugog reda:

$$\frac{d^2}{dx^2} [V] = [Z][Y][V] \quad (3)$$

$$\frac{d^2}{dx^2} [I] = [Y][Z][I]. \quad (4)$$

Matrični umnožak $[Z][Y]$, koji je također kvadratna matrica, u jednadžbi (3), predstavlja kvadrat matrice konstante rasprostiranja n -vodičkog sistema:

$$[Z][Y] = [\Gamma]^2 \quad (5)$$

Budući da je matični umnožak $[Z][Y]$ kvadratna matrica, nije moguće izravno sračunati matricu konstante rasprostiranja, koja je kvadratni korijen navedenog matičnog umnoška. To je pitanje, međutim, moguće razriješiti korištenjem teorije vlastita vrijednost/vlastiti vektor matrice. Vlastite vrijednosti matičnog umnoška $[Z][Y]$ odredljive su. Pretpostavljamo da je matrica vlastitih vrijednosti matičnog umnoška $[Z][Y]$ jednaka matrici $[Q]$, a da je matrica vlastitih vektora $[A]$, što nas, zapravo, dovodi do transformacijske matrice kojom stvarne fazne veličine napona transformiramo u modalne veličine. Ako uvedemo oznaku $[P] = [Z][Y]$, možemo pisati:

$$[P] = [A][Q][A]^{-1}. \quad (6)$$

Slično, svaka funkcija matrice $[P]$ može biti definirana na sljedeći način:

$$f([P]) = [A]f([Q])[A]^{-1}. \quad (7)$$

Budući da je $[Q]$ dijagonalna matrica, njezin kvadratni korijen može lako biti dobiven. Modalna konstanta rasprostiranja $[\gamma]$ dana je sa:

$$[\gamma] = [Q]_{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

Iz modalne konstante rasprostiranja dobiva se stvarna konstanta rasprostiranja korištenjem uzajamnosti dane jednadžbom (7).

Pojedini modovi rasprostiranja, dobiveni na osnovi netom izvanrednoga modalnog rasprostiranja, međusobno nisu spregnuti. To, razumljivo, bitno pojednostavljuje analizu rasprostiranja vala u modalnoj domeni u usporedbi s onim u stvarnoj domeni. Međutim, taj zaključak je, dakako, valjan samo onda kad je moguće pretpostaviti da je transformacijska matrica konstantna preko cijeloga frekventijskog područja. Pretpostavka je uglavnom točna kada su u pitanju nadzemni vodovi [2]. Međutim u slučaju podzemnih kabela njezina frekventna ovisnost znatno je izrazitija i dugo se mislilo da je gotovo nerješiva smetnja u proračunavanju prijelaznih pojava na kabelskim sistemima uz primjenu programa koji se osnivaju na postupcima vremenske domene.

Nadalje, modalna konstanta rasprostiranja definirana je kao

$$\gamma = \alpha + j\beta, \quad (9)$$

gdje je α definiran kao atenuacija.

Ovdje bi valjalo napomenuti da iako, sljedeći običaj, i dalje koristimo pojam »konstanta rasprostiranja«, ova veličina nije konstantna.

Brzina rasprostiranja koja se često naziva faznom brzinom dana je

$$v = \frac{\Omega}{\beta}. \quad (10)$$

Svojstva modalnog prigušenja i modalne brzine za različite kabelske sisteme razmatrana su prije [3]. Kako je to istraživanje jasno pokazalo, brzina rasprostiranja zemnog moda manja je za oko deset puta od brzine koaksijalnog moda, a to, posljedično, nameće poteškoće u izboru vremenskog koraka integracije. To, nadalje, nameće i problem u vezi s izvođenjem konvolucije u stvarnom vremenu.

2.1. Frekventno ovisna karakteristična impedancija

Stvarana karakteristična impedancija 3-faznog jednožilnog kabelskog sustava s horizontalnim rasporedom dana je u sljedećem matičnom obliku:

$$[Z] = \begin{bmatrix} [Z_{cc}] & [Z_{cs}] \\ [Z_{cs}] & [Z_{ss}] \end{bmatrix} \quad (11)$$

gdje su

$$\begin{aligned} [Z_{cc}] &= \text{impedancija među jezgrama triju faza,} \\ [Z_{cs}] &= \text{impedancija među jezgrama i plaštevima.} \end{aligned}$$

Svaka podmatrica u jednadžbi (11) izražena je kao:

$$[Z]_{jk} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{ab} & Z_{cc} \end{bmatrix}_{jk} \quad j,k = c \text{ i } s. \quad (12)$$

Općenito, $Z_{aa} \cong Z_{bb}$, a u slučaju trokutnog rasporeda jednožilnih kabela $Z_{ab} \cong Z_{ac}$. Na visokim frekvencijama, nadalje, imamo da je $Z_{ss} \cong Z_{cs}$, $(Z_{ab})_{cc} \cong (Z_{ab})_{cs}$.

Proračun karakteristične impedancije u stvarnoj faznoj domeni jasno pokazuje da je frekventna ovisnost njezinih pojedinih elemenata znatno izrazitija nego u slučaju nadzemnih vodova. Međutim, kako je već naglašeno, proračunavanje prijelaznih pojava u vremenskoj domeni vršimo primjenom modalne analize, što zahtijeva mnogo manje vrijeme proračuna za uključivanje učinaka frekventne ovisnosti korištenjem konvolucije u stvarnom vremenu. Frekventna ovisnost karakteristične impedancije za pojedine modove rasprostiranja razmatrana je u radu [1]. Ta istraživanja pokazuju da su krivulje koje predstavljaju zemne povratne modove i međuplašne modove gotovo ravne za frekvencije veće od 100 Hz, dok su krivulje koje odgovaraju koaksijalnim modovima oscilatorne naravi. Tu se, naime, utvrđuju dvije svojstvene frekvencije; one su posljedica promjene svojstava transformacijske matrice. Oscilatorna narav karakteristične impedancije, kako je to opaženo, nastaje kada je plašt tanak, a njegova otpornost niska. U protivnom takva se karakteristika ne pojavljuje i karakteristična impedancija opada kako se povećava frekvencija. U proračunavanju prijelaznih pojava, stoga, često je moguće pretpostaviti da je karakteristična impedancija konstantna. Ta je pretpostavka sasvim prihvatljiva ukoliko je frekvencija prijelazne pojave u jednom od frekventijskih područja gdje je karakteristična impedancija približno konstantna. Ako frekvencija prijelazne pojave pripada području frekvencija u kojima prethodna pretpostavka nije točna, onda je potrebno u proračunavanju uzeti u obzir frekventnu ovisnost karakteristične impedancije. Učinak frekventne ovisnosti karakteristične impedancije uključuje se u proračunavanje prijelaznih pojava korištenjem konvolucije u realnom vremenu sa step odzivom modalne karakteristične impedancije ili admitancije ili funkcije odziva povratnog vala koja uzima u obzir frekventnu ovisnost karakteristične impedancije. Ako se konvolucija izvodi rekursivno [4,5], potrebno je izvršiti »pogađanje« vremenskog odziva karakteristične impedancije s oscilatornom naravi.

2.2. Frekventno ovisna transformacijska matrica

Transformacijska matrica $[A]^{-1}$ trofaznog kablenskog sustava, čija se jedna faza sastoji od jednožilnog kabela s jezgrom i plaštom, dana je približno u sljedećem obliku:

$$\begin{aligned} \text{za } f < f_s: [A]^{-1} &\cong \begin{bmatrix} [\Delta] & [a] \\ [a] & [\Delta] \end{bmatrix} = \text{matrica tip - A} \\ \text{za } f_s \leq f < f_c: [A]^{-1} &\cong \begin{bmatrix} [0] & [a] \\ [a] & -[a] \end{bmatrix} = \text{matrica tip - B} \\ \text{za } f_c \leq f: [A]^{-1} &\cong \begin{bmatrix} [0] & [a] \\ [U] & -[U] \end{bmatrix} = \text{matrica tip - C} \end{aligned} \quad (13)$$

gdje su

$$[v] = [A]^{-1} \begin{bmatrix} [V_{\text{jezgra}}] \\ [V_{\text{plast}}] \end{bmatrix}$$

(v = modalni napon, a V = stvarni fazni napon)

$$[a] = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ -1/3 & 2/3 & -1/3 \end{bmatrix}, [U] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, [\Delta] \cong \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

f_s = frekvencija na kojoj je upotpunjena matrica tip-B, koju nazivamo karakterističnom frekvencijom;

f_c = frekvencija na kojoj je upotpunjena matrica tip-C, koju nazivamo kritičnom frekvencijom.

Transformacijska matrica $[A]^{-1}$ primjenjiva je na trofazne kablenske sustave sačinjene od jednožilnih kabela, ali i na trofazne cijevotipne kabele. U transformacionoj matrici u jednadžbi (13) gornje dvije podmatrice odgovaraju međuplašnim modovima, uključujući zemni povratni mod. Donje dvije podmatrice odgovaraju jezgrenim modovima. Na niskim frekvencijama, $f < f_s$, plaševi ne mogu zakriliti jezgrene napone ili struje. Tako, modovi 4 do 6 odgovaraju samo jezgrama triju faza, te transformacijska matrica postaje matrica tip-A. Na visokim frekvencijama, $f > f_c$, budući da se plaševi ponašaju kao potpuna zakriljenja, modovi 4 do 6 postaju tzv. koaksijalni modovi na svakoj fazi. Matrica tip-C biva stoga upotpunjena. U međufrekvencijskom području, $f_s < f < f_c$, jezgrena napon ili struja bivaju inducirani na plaštu iste faze sa suprotnim znacima. Potom, napon i struja plašta međusobno su spregnuti s plaštevima ostalih faza. Tako je dobivena matrica tip-B.

Pokusi pokazuju da karakteristična i kritična impedancija opadaju kako raste debljina plašta i otpornost plašta opada. Tako, zapravo, dolazimo do zaključka da područja frekvencije u kojima je opravdana pretpostavka o konstantnosti transformacijske matrice valja odrediti na osnovi konstrukcijskih svojstava samog kablenskog sustava, na jednoj strani, i frekvencije promatrane prijelazne pojave, na drugoj strani.

Kada je transformacijska matrica frekventno ovisna, tada nije moguće koristiti programe koji se osnivaju na tehnikama vremenske domene i modalnoj analizi da bi proračunavali prijelazne pojave u kablenskim sustavima.

3. ODREĐIVANJE KARAKTERISTIČNE I KRITIČNE FREKVENCIJE

Transformacijska matrica kablenskog sustava približno je konstantna u području frekvencija $f_s < f < f_c$ ili $f > f_c$, kako je to pokazano u jednadžbi (13), gdje je f_c kritična frekvencija, a f_s karakteristična frekvencija.

Prevladavajuća ili dominantna frekvencija neke prijelazne pojave f_t na vodu s raspodijeljenim parametrima duljine x može se odrediti na osnovi sljedeće jednadžbe, izuzimajući prijelazne pojave zbog atmosferskih pražnjenja:

$$f_t = \frac{1}{2} r = \frac{v}{2x} \quad (14)$$

gdje su

$$\begin{aligned} \tau &= \text{vrijeme putovanja rasprostirućeg vala,} \\ v &= \text{brzina rasprostiranja vala } (c_0/\sqrt{\epsilon_1}). \end{aligned}$$

Prethodna istraživanja omogućuju uspostavljanje sljedećih zaključaka u vezi s proračunavanjem prijelaznih pojava kablenskih sustava sačinjenih od jednožilnih koaksijalnih kabela:

- U slučajevima kada je $f_s < f_t < f_c$ ili $f_c < f_t$, proračunavanje prijelaznih pojava može biti provedeno uz pretpostavku da je transformacijska matrica konstantna.
- U slučajevima $f_s > f_t$ ili $f_t \cong f_c$, mora se uzeti u obzir frekventna ovisnost transformacijske matrice u proračunavanjima prijelaznih pojava u kablenskim sustavima.

Netom izneseni zaključci mogu biti primijenjeni i za karakterističnu impedanciju jer je njezina frekventna ovisnost povezana sa svojstvima transformacijske matrice.

Prema tome, korištenje programa za digitalno simuliranje prijelaznih pojava koji se osnivaju na tehnikama vremenske domene u slučaju proračunavanja prijelaznih pojava pretpostavlja prethodno određivanje kritične i karakteristične impedancije na osnovi podataka o konstrukcijskim svojstvima kabela.

3.1. Kritična frekvencija

Provodeći opsežna istraživanja frekventne ovisnosti transformacijske matrice, za različite konstrukcije kabela, moguće je ustvrditi da je kritična frekvencija dana izrazom:

$$f_c = \frac{P_s}{d^2 \pi \mu_o \mu_s} \quad (15)$$

gdje su:

$$\begin{aligned} \pi &= \text{otpornost plašta,} \\ \mu_s &= \text{relativna permeabilnost plašta,} \\ d &= \text{debljina plašta.} \end{aligned}$$

S fizikalnog stanovišta kritična frekvencija može biti objašnjena na slijedeći način. Kritična frekvencija je ona na kojoj impedancija vanjske površine plašta postaje mnogo veća nego međusobna impedancija između unutrašnjih i vanjskih površina plašta. To doводи do toga da se nikakva struja ne vraća kroz vanjsko tvarivo plašta, već sva struja koja teče iz jezgre ima povratni put kroz plašt. Tako je upotpunjen ko-

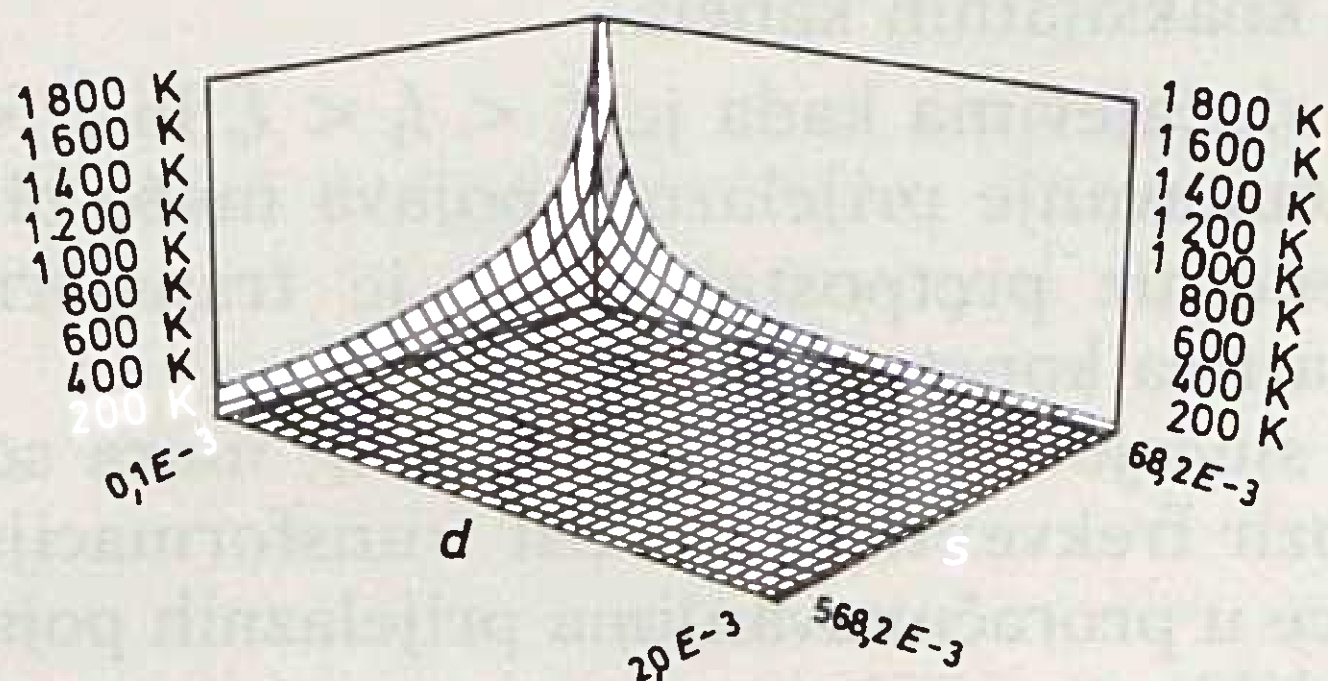
aksijalni mod rasprostiranja. Povratna struja kroz vanjsko tvarivo plašta ovise o dubini prodiranja u vodič plašta. Kako frekvencija raste, dubina prodiranja opada. Kada ona postane manja od debljine plašta, nikakva struja ne može teći u tvarivo izvan plašta. Stoga je kritična frekvencija ona frekvencija na kojoj dubina prodiranja postaje manja od debljine plašta u slučaju jednoga faznog kabela.

U slučaju višefaznog kabelskog sustava, kritična frekvencija je frekvencija na kojoj međusobna impedancija između faza postaje mnogo veća nego impedancija između jezgre i plašta. Izraz za kritičnu frekvenciju tada nije moguće dobiti analitički. Proračunati slučajevi, međutim, daju sljedeći eksperimentalni izraz za višefazni kabelski sustav:

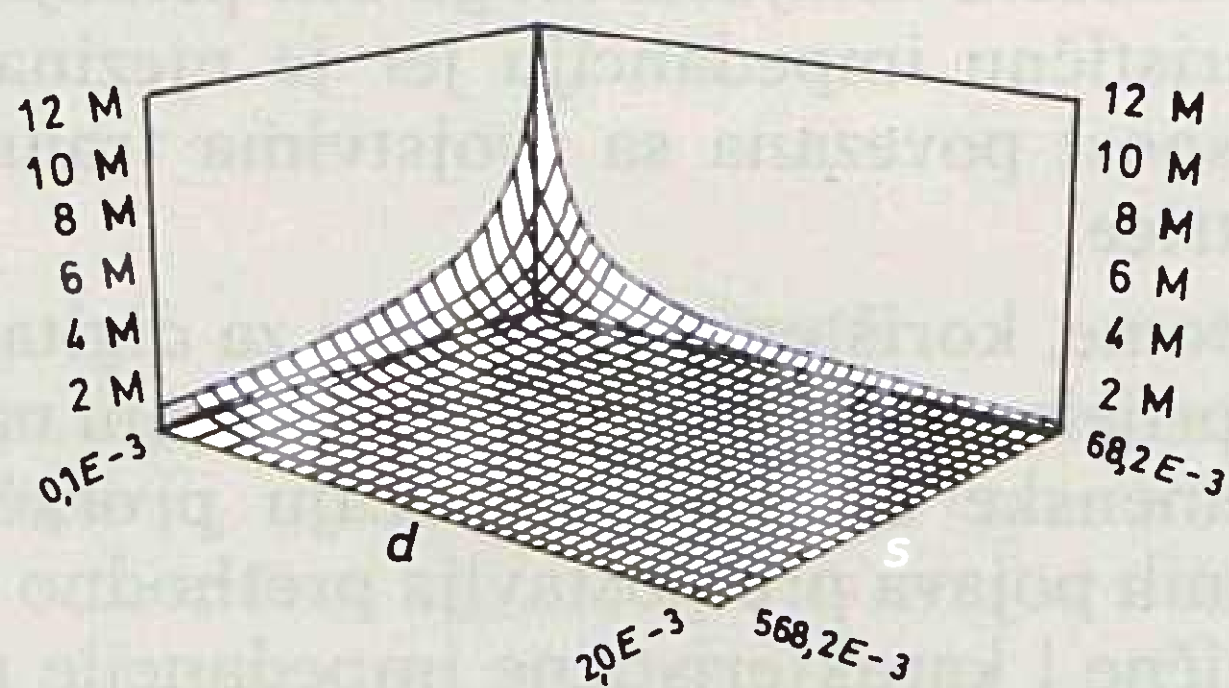
$$f_c \approx \frac{10 \cdot \rho^{3/4}}{\pi \mu_0 \mu_s d_s} \quad (16)$$

gdje je s rastojanje među fazama.

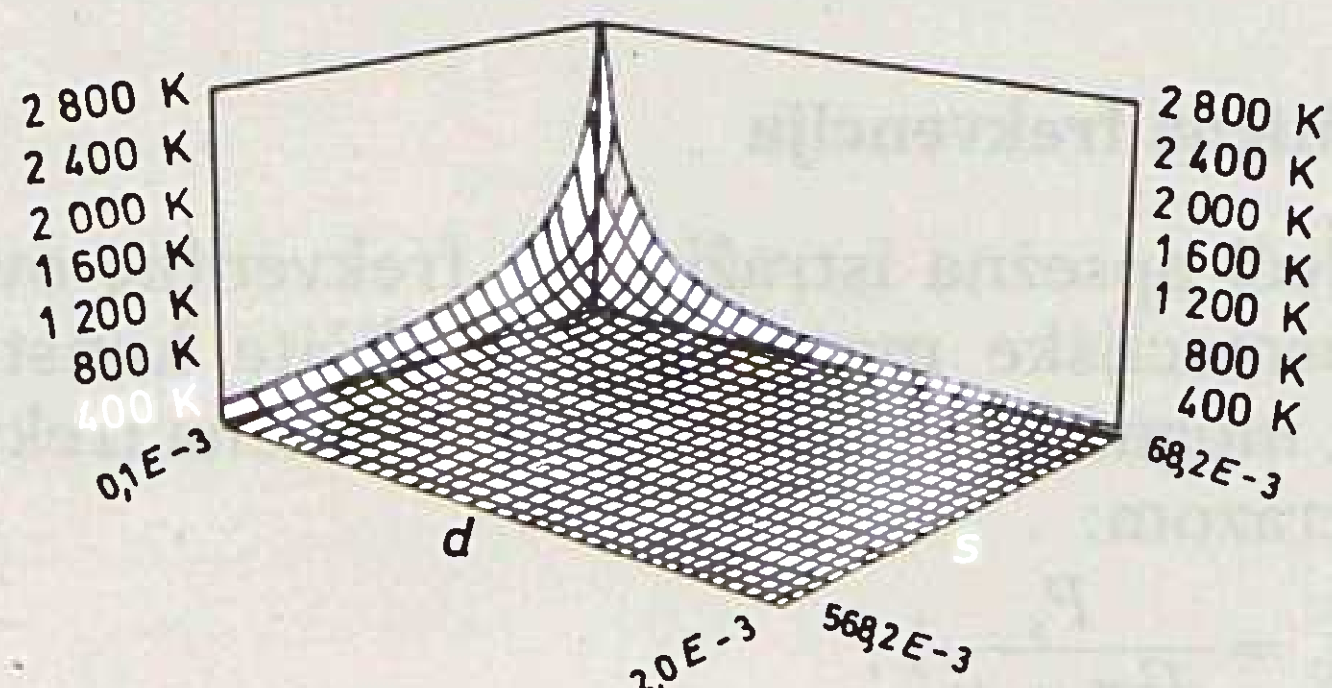
Slika 1. prikazuje ovisnost kritične frekvencije o rastojanju među fazama (s) i debljini plašteva za tri različita materijala od kojih su izgrađeni kabelski plaštevi.



(a) plašt od bakra ($\rho_s = 1.72 E - 8 \Omega m$)



(b) plašt od olova ($\rho_s = 0.19 E - 6 \Omega m$)



(c) plašt od aluminija ($\rho_s = 2.8 E - 8 \Omega m$)

Slika 1. Ovisnost kritične frekvencije o rastojanju među fazama (s) i debljini plašteva (d)

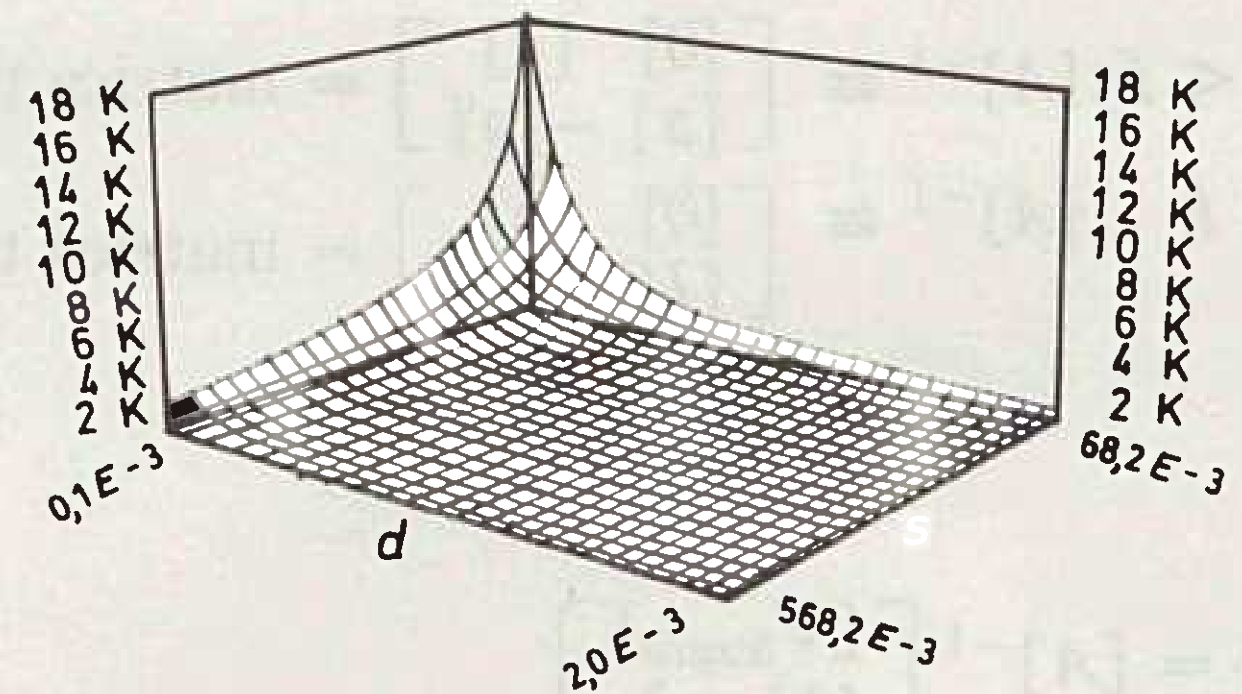
3.2. Karakteristična frekvencija

Karakteristična frekvencija je ona na kojoj se transformaciona matrica mijenja od matrice tip-A na matricu tip-B. To znači da su modovi rasprostiranja 4 do 6 međusobno spregnuti samo s jezgama tri faze na frekvencijama manjim od f_s . Na frekvencijama većim od f_s , oni su spregnuti s jezgrama i plaštevima.

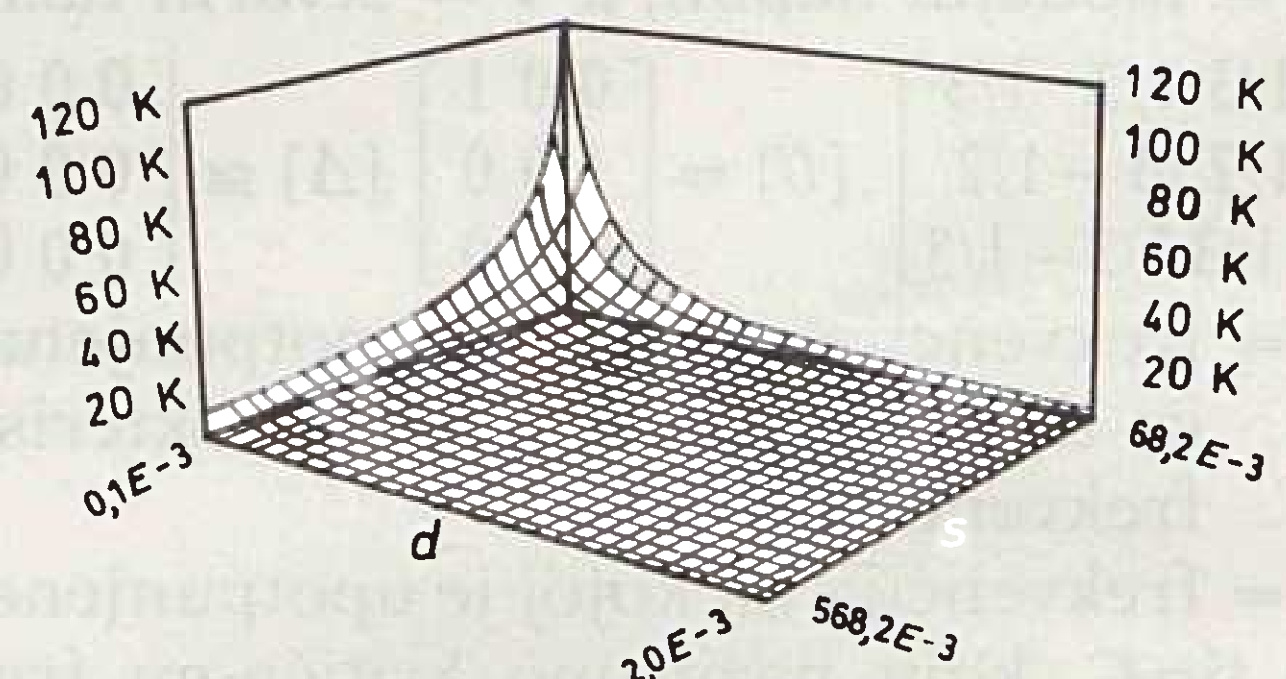
Eksperimentalno je dobiven sljedeći izraz za vrijednost karakteristične frekvencije:

$$f_s \approx \frac{\rho_s^{3/4}}{10 \pi \mu_0 \mu_s d_s} \quad (17)$$

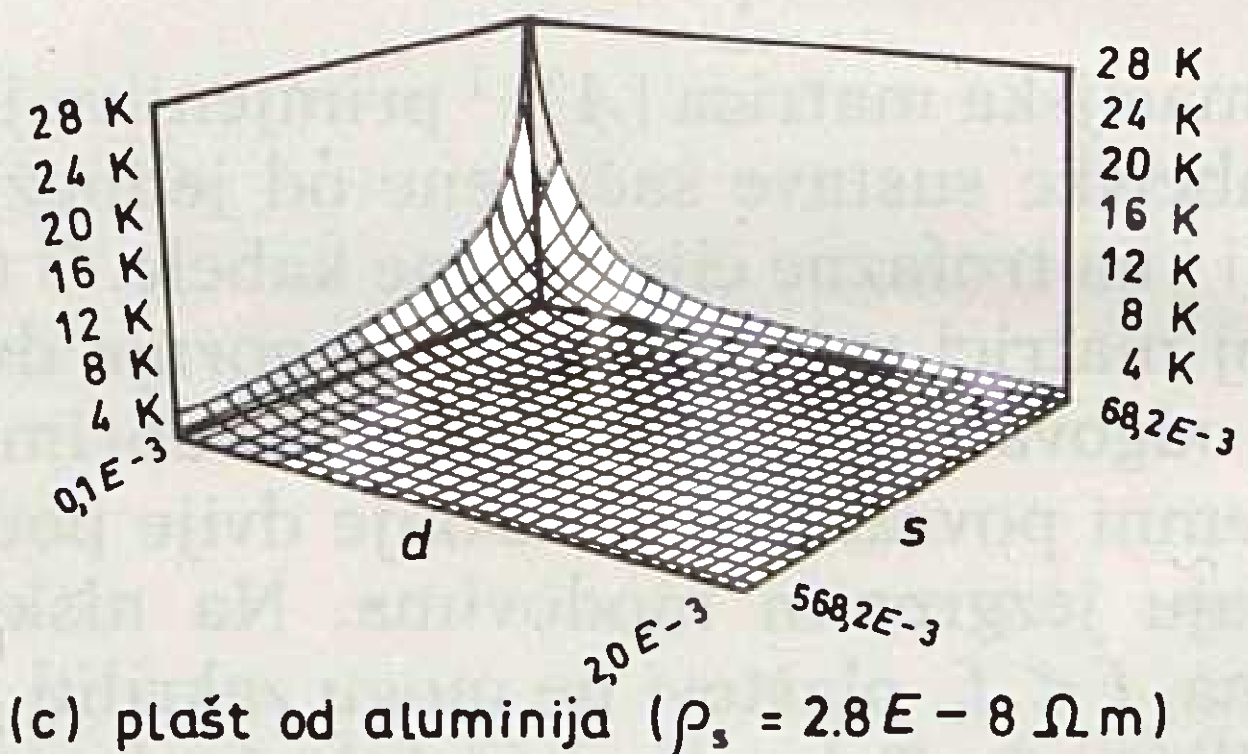
Slika 2. prikazuje ovisnost karakteristične frekvencije o rastojanju među fazama (s) i debljini plašta (d) za tri različita materijala od kojih su plaštevi izrađeni.



(a) plašt od bakra ($\rho_s = 1.72 E - 8 \Omega m$)



(b) plašt od olova ($\rho_s = 0.19 E - 6 \Omega m$)



(c) plašt od aluminija ($\rho_s = 2.8 E - 8 \Omega m$)

Slika 2. Ovisnost karakteristične frekvencije o rastojanju među fazama (s) i debljini plašteva (d)

U proračunavanju neke određene pojave, najnižu i najvišu frekvenciju f_1 i f_2 sadržane u proračunu određujemo iz vremena promatranja T i vremenskog koraka $\Delta t = T/N$ na osnovi teorije uzrokovanja u Fourierovoj transformaciji.

$$f = 1/t, f_2 = 1/\Delta t = Nf_1 \quad (18)$$

Proračunavanje prijelazne pojave korištenjem tehnike vremenske domene može se provesti uz pretpostavljanja da je transformacijska matrica konstantna ako su zadovoljni sljedeći uvjeti:

$$f_s < f_1 \text{ i } f_2 < f_c \text{ ili } f_1 > f_c. \quad (19)$$

Budući da je $f_1 < f_1 < f_2$ za većinu slučajeva, gornji uvjet se aproksimira sa

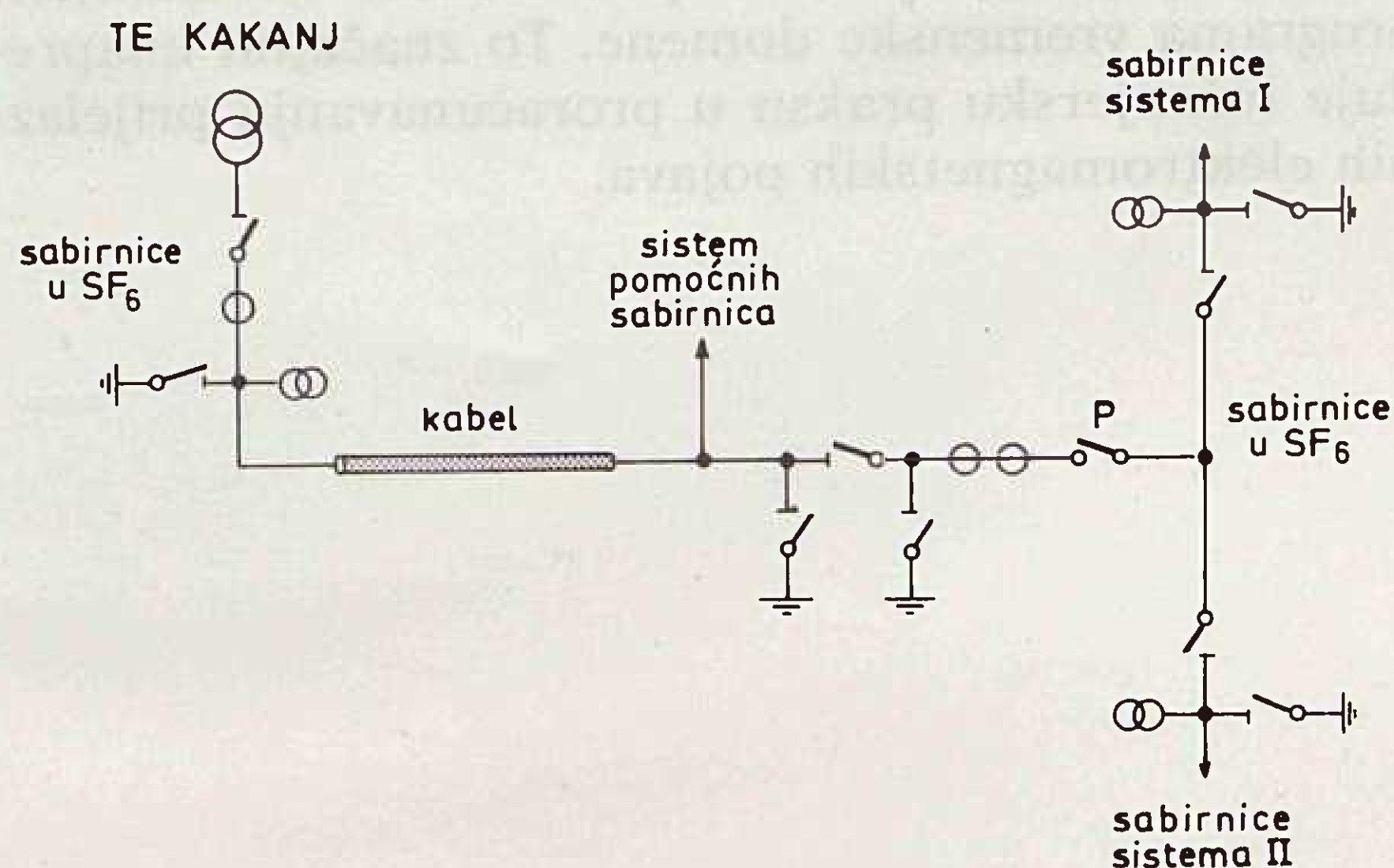
$$f_s < f_1 < f_c \text{ i } f_1 > f_c. \quad (20)$$

U uvjetima određenim izrazima (19) ili (20) i modalne karakteristične impedancije također se pretpostavljaju konstantnima, te su tako zaobidene konvolucije u realnom vremenu za karakterističnu impedanciju ili admitanciju.

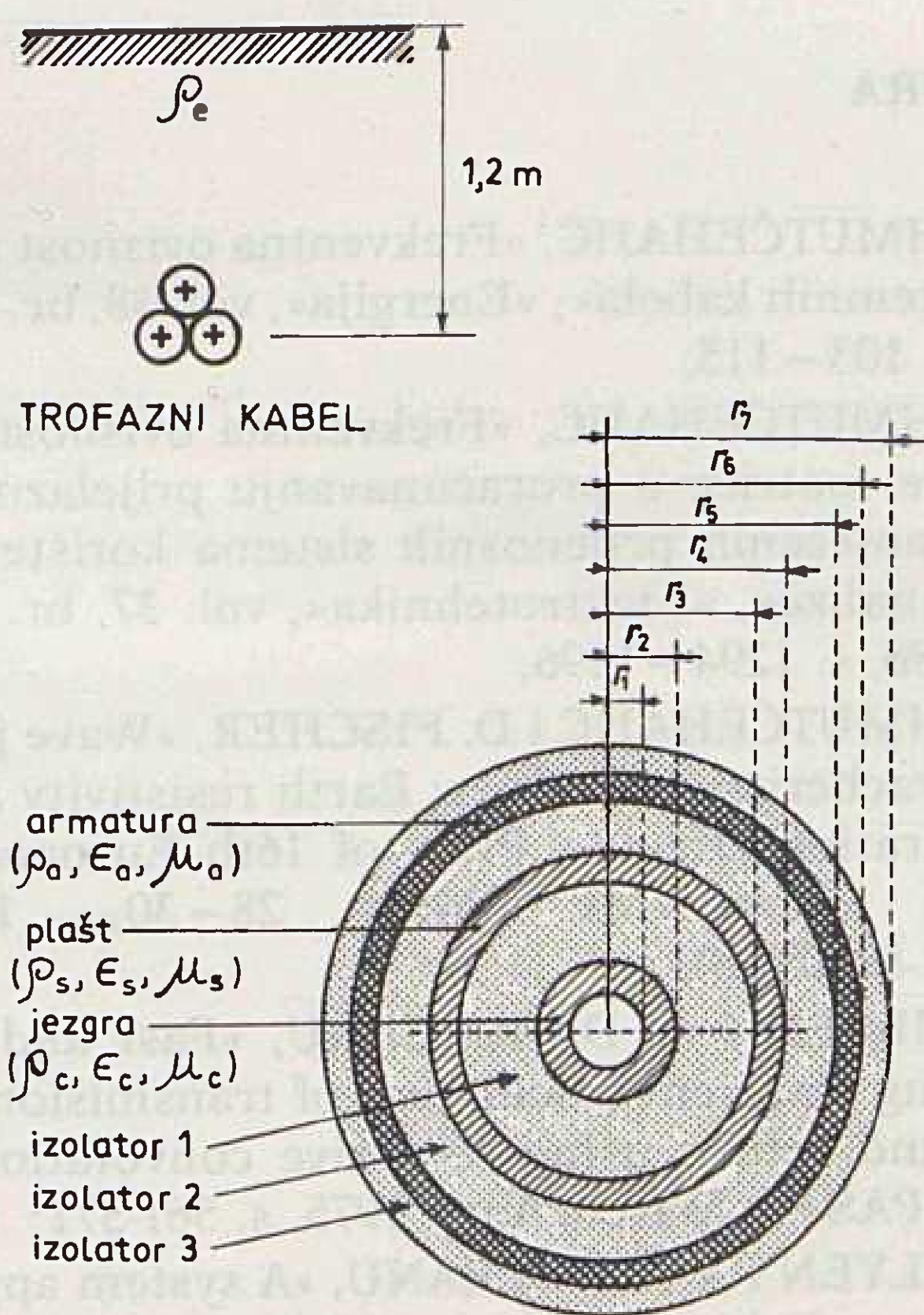
Kada je T veliko, a Δt veoma malo, prije navedeni uvjeti ne mogu biti udovoljeni.

4. PRIMJER PRORAČUNA

Da bismo pokušali primjenu izloženog pristupa u proračunavanju prijelaznih pojava u kabelskim sustavima, razmotrit ćemo proračunavne prenapona u sustavu koji je prikazan na slici 3 [6]. Kabelski sustav tvore tri jednaka jednožilna koaksijalna kabela s poprečnim presjekom prikazanim na slici 4. Kabeli su ukopani u zemlju kako je prikazano na slici 4. Podaci o konstrukciji kabela i tvarivima dani su u tablici 1. Plaševi kabela su povezani, a uzemljeni preko uzemljivačkog otpora, kako je to prikazano na slici 5.

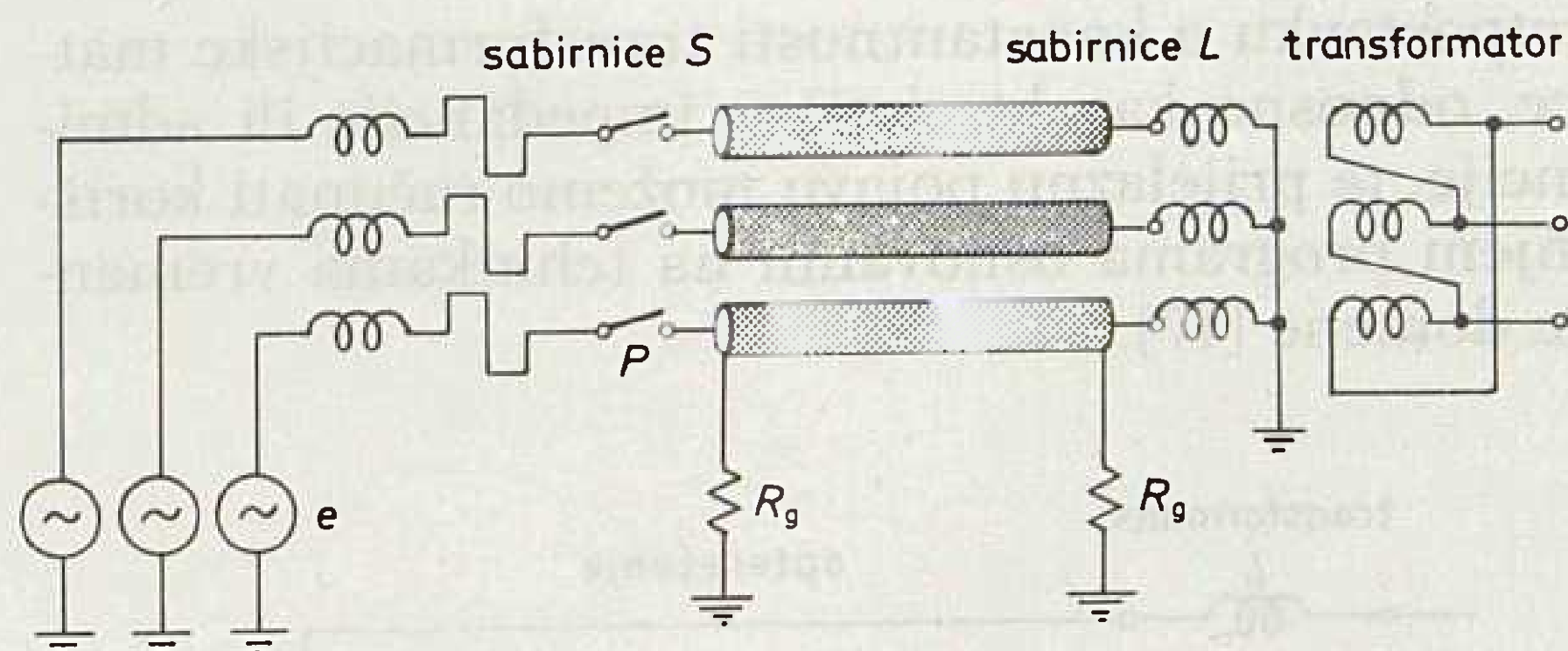


Slika 3. Promatrani kabelski sustav



Slika 4. Kabelski sustav koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela ukopana u zemlju: (a) način polaganja, (b) poprečni presjek jednožilnog koaksijalnog kabela

Cilj je ovog proračuna simulirati prenapone inducirane u plaštevima tijekom stavljanja pod napon kabelskog sustava, kada je prijemni kraj spojen s opterećenim transformatorom. Ekvivalentni krug koji predstavlja pokus stavljanja pod napon dan je na sli-



Slika 5. Model kabelskog sustava koji se sastoji od tri jednožilna kabela kojim su spojene sabirnice S i L

ci 5. Strana izvora predstavljena je ekvivalentnim Theveninovim R-L krugom, gdje je vektor $[e]$ Theveninov napon otvorenog kraja u točkama A, B i C s faznim pomakom od 120° , kako je to pokazano na slici 5. Kabelski sustav koji povezuje sabirnice S i L predstavljen je korištenjem modela s raspodjeljenim parametrima sračunatim za dominantnu frekvenciju. Opterećeni transformator, koji je spojen na sabirnice L, modeliran je pomoću R-L-C sprege kako je to prikazano na slici 6. Umjesto toga veoma jednostavnog predstavljanja transformatora, dakako, bilo je moguće koristiti neko od znatno domišljenijih modela. Međutim, to nije bilo nužno s obzirom na prirodu prijelazne pojave koja se proračunavala.

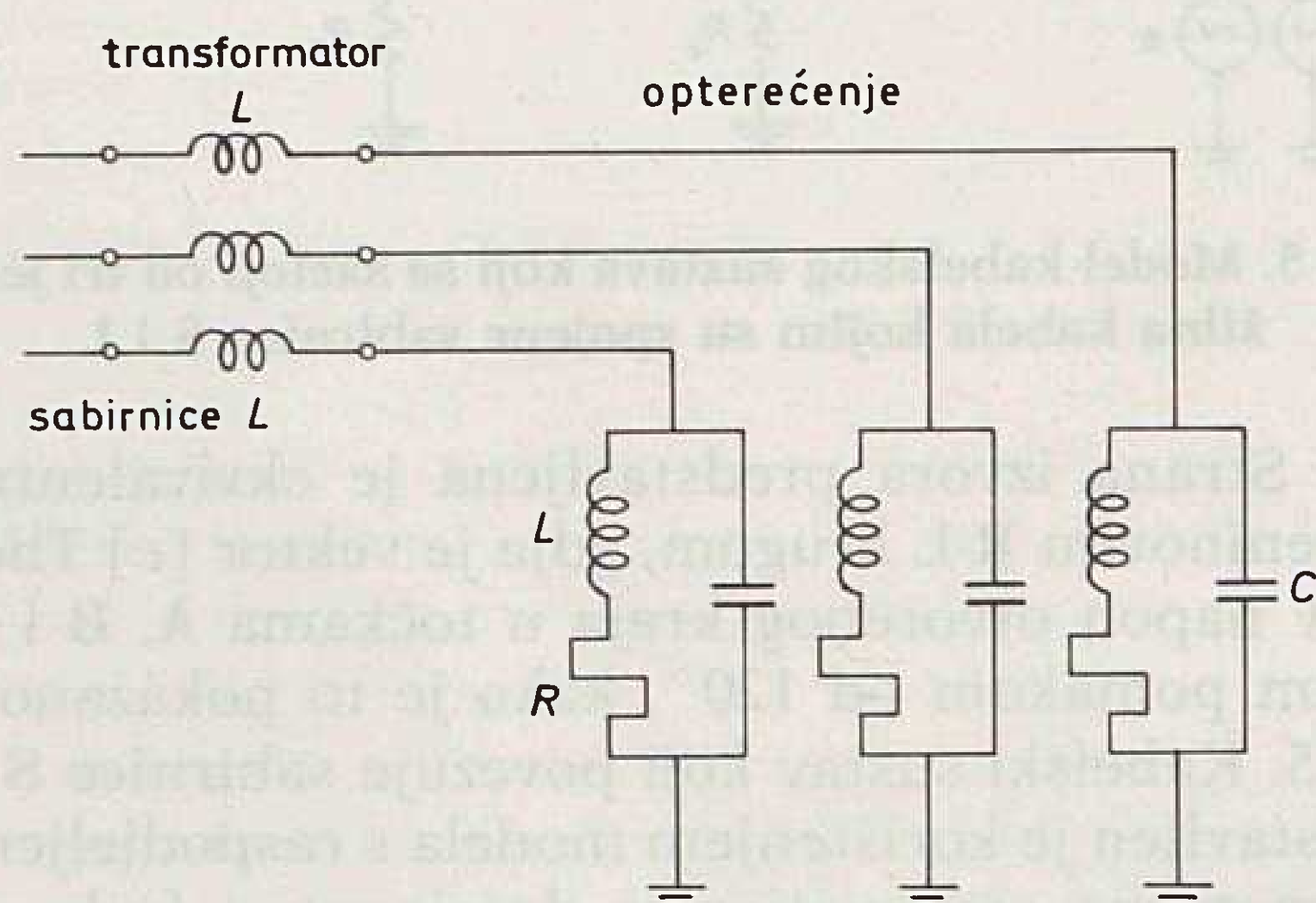
Tablica 1. Podaci o konstrukciji kabela

unutarnji polumjer jezgre	$r_1 = 0 \text{ mm}$
Vanjski polumjer jezgre	$r_2 = 0.35 \text{ mm}$
unutarnji polumjer plašta	$r_3 = 10.00 \text{ mm}$
vanjski polumjer plašta	$r_4 = 10.50 \text{ mm}$
unutarnji polumjer armature	$r_5 = 27.10 \text{ mm}$
vanjski polumjer armature	$r_6 = 29.00 \text{ mm}$
vanjski polumjer kabela	$r_7 = 34.10 \text{ mm}$
otpornost jezgre	$\rho_c = 1.72 \text{ E} - 8 \Omega\text{m}$
otpornost plašta	$\rho_s = 1.72 \text{ E} - 8 \Omega\text{m}$
otpornost armature	$\rho_a = 1.72 \text{ E} - 8 \Omega\text{m}$
relativna permeabilnost jezgre	$\mu_c = 1$
relativna permeabilnost plašta	$\mu_s = 1$
relativna permeabilnost armature	$\mu_a = 1$
relativna permitivnost prvog izolatora	$\epsilon_{i1} = 2.3$
relativna permitivnost drugog izolatora	$\epsilon_{i2} = 2.3$
relativna permitivnost trećeg izolatora	$\epsilon_{i3} = 2.3$
relativna permeabilnost prvog izolatora	$\mu_{i1} = 1$
relativna permeabilnost drugog izolatora	$\mu_{i2} = 1$
relativna permeabilnost trećeg izolatora	$\mu_{i3} = 1$
otpornost zemlje	$\rho_e = 300 \Omega\text{m}$
duljina kabela	$l = 670 \text{ m}$

Općenito, frekvencije sadržane u nekoj prijelaznoj pojavi prilično su visoke. Prema jednadžbi (14), dominantna frekvencija za razmatranu pojavu je 147 kHz. Nadalje, kritična frekvencija, u skladu sa izrazom (17), za naš poseban slučaj iznosi 1116 kHz. Karakteristična frekvencija, prema izrazu (16), iznosi 111.6 kHz.

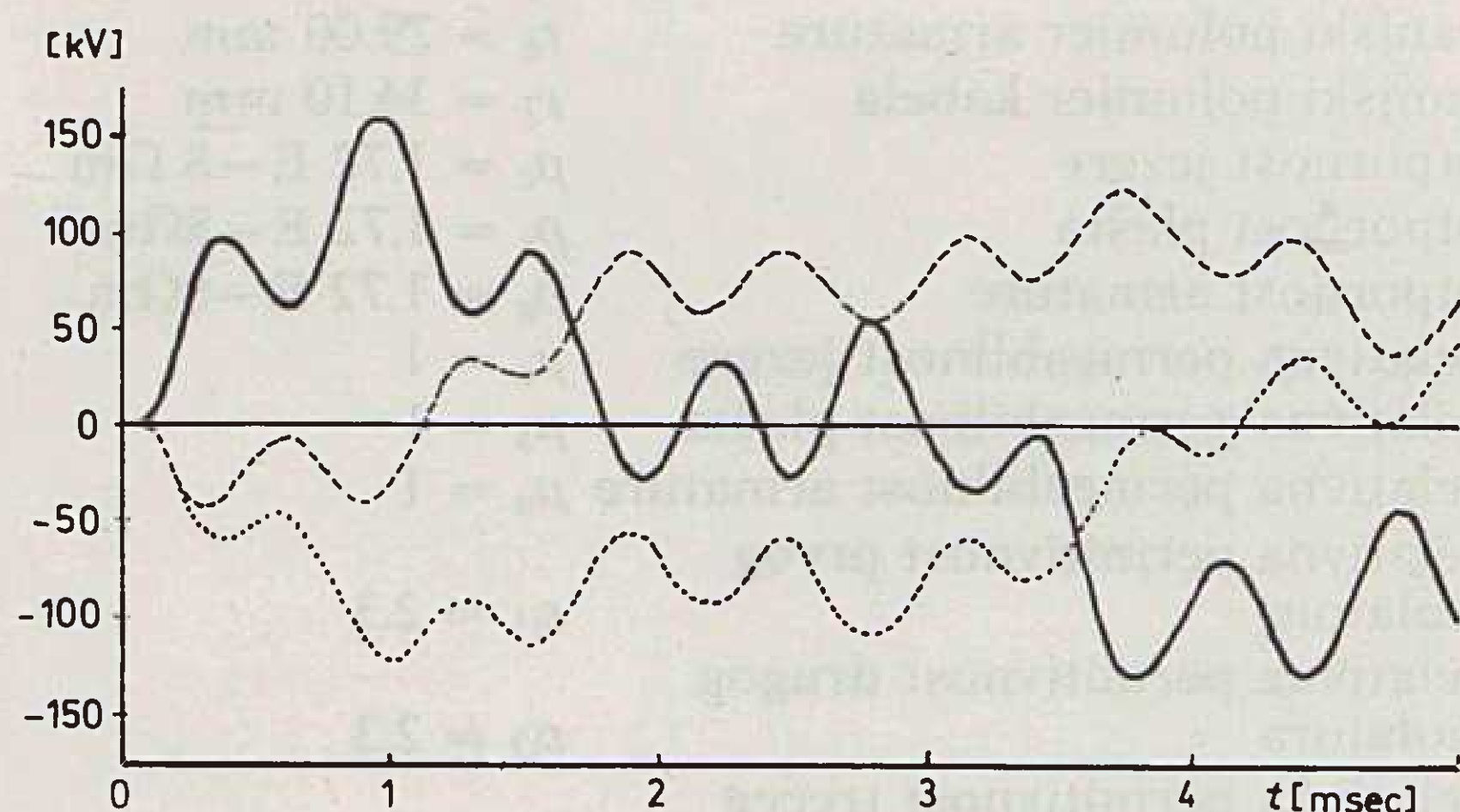
Prema vrijednosti dominantne, karakteristične i kritične frekvencije vidimo da je zadovoljen uvjet za

pretpostavku o konstantnosti transformacijske matrice, odnosno karakteristične impedancije ili admancije, te prijelaznu pojavu možemo računati korištenjem programa osnovanih na tehnikama vremenske domene [17].

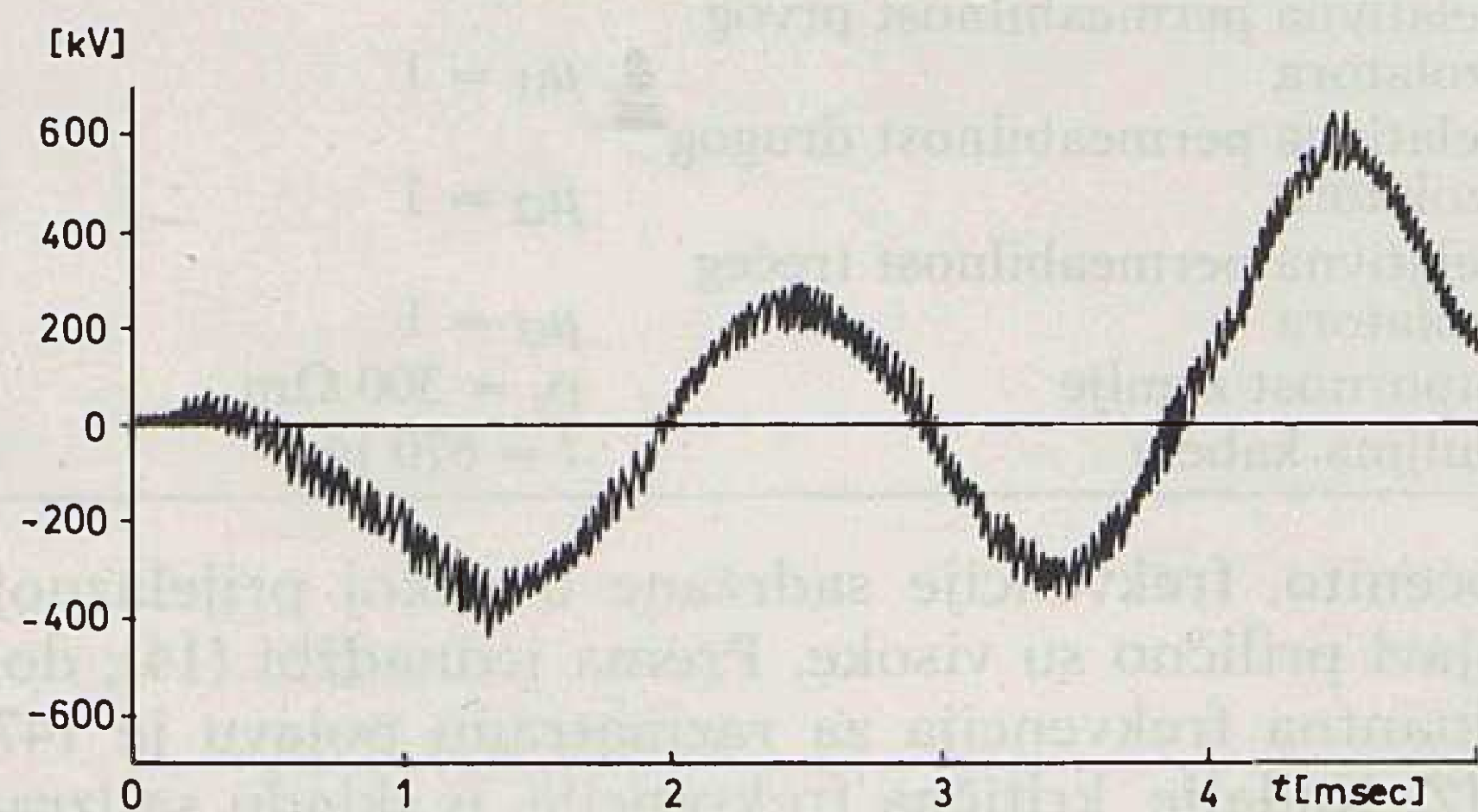


Slika 6. Dijagram transformatora priključnog na sabirnice L i opterećenog opterećenjem predstavljenim R, L krugom

Rezultati proračuna dani su na slici 7, i to za prenapone na plaštu i jezgri na prijemnom kraju na koji je spojen opterećeni transformator; ti prenaponi su uzrokovani stavljanjem sustava pod napon preko prekidača.



(a) prenapon na jezgri



(b) prenapon na plaštu

Slika 7. Prenaponi na jezgri i plaštu na prijemnom kraju na koji je spojen opterećeni transformator zbog stavljanja kabla pod napon (uzemljivački otpor je 1Ω)

5. ZAKLJUČAK

Frekventna ovisnost modalne transformacijske matrice bitno otežava proračunavanje prijelaznih elektromagnetskih pojava u kabelskim sustavima kada se koriste programi za digitalno simuliranje osnovani na tehnikama vremenske domene. Međutim, na osnovi podataka o konstrukciji kabelskog sustava i uvida u dominantnu frekvenciju prijelazne pojave moguće je podrediti točne kriterije korištenja takvih programa uz pretpostavku da su transformacijska matrica kao i karakteristična impedancija konstantne. Promjena svojstava transformacijske matrice ovisno o frekvenciji određena je tzv. kritičnim i karakterističnim frekvencijama, čije određivanje omogućuje da se sasvim pouzdano ustvrdi da li neku prijelaznu pojavu možemo proračunati korištenjem programa vremenske domene. To značajno unapređuje inženjersku praksu u proračunavanju prijelaznih elektromagnetskih pojava.

LITERATURA

- [1] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, »Frekventna ovisnost parametara podzemnih kabela«, »Energija«, vol. 38, br. 2, Zagreb, 1989, s. 103–115;
- [2] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, »Frekventna ovisnost transformacione matrice u proračunavanju prijelaznih pojava neuravnoteženih prijenosnih sistema korištenjem modalne analize«, »Elektrotehnika«, vol. 37, br. 12, Beograd, 1988, s. 1294–1296;
- [3] R. MEHMUTĆEHAJIĆ i D. FISCHER, »Wave propagation characteristic of cables: Earth resistivity and cable configuration effects«, Proc. of 16th European EMTP Meetig, Dubrovnik May 28–30, 1989, s. 89/05/1-89/05/20;
- [4] A. SEMLYEN i A. DABULEANU, »Fast and accurate switching transient calculation of transmission lines with ground return using recursive convolution«, IEEE Trans., PAS-94, March/April 1975, s. 561-571;
- [5] A. SEMLYEN i A. DABULEANU, »A system approach to accurate switching transient calculations based on state variable component modelling«, IEEE Trans. PAS-94, March/April 1975, s. 572-578;
- [6] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, R. GAČANOVIĆ i S. ČARŠAMAMOVIC, »Effect of cable sheaths grounding on overvoltage surges due to cable energization when the receiving end is terminated by a loaded transformer«, Proc. of 16th European EMTP Meeting, Dubrovnik May 28-30, 1989, s. 89/06/1-89/06/11;
- [7] »Alternative Transient Program«, LEC, Leuven (Belgija), 1988.

THE PROBLEM OF THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE TRANSFORMATION MATRIX IN THE STUDY OF THE TRANSIENT STATES IN CABLE SYSTEMS

Criteria and methods for transients state studies in cable systems using a digital simulation program based on time domain techniques are presented. The frequency dependence of the transformation matrix has areas where the matrix is almost constant. On the basis of the dominating frequency, criteria can be precisely determined when the transformation matrix and characteristic impedance can be assumed constants. Application of these criteria in the case of a switching surge at a cable system is shown.

PROBLEME DER FREQUENZABHAENIGKEIT DER TRANSFORMATIONS-MATRITZE BEI DER BERECHNUNG DER UEBERGANGSERSCHEINUNG IN KABELSYSTEMEN

Im Artikel schildert man die Kriterien und Berechnungsarten der Uebergangerschei-nungen an Kabelsystemen durch Anwendung für die digitale Stimulation, die auf den Techniken der Zeitdomäne beruhen. Die Frequenzabhängigkeit der Transformations-matritze hat Gebiete, in denen diese Matritze fast konstant ist. Aufgrund der Einsicht in die dominante Frequenz können die Kriterien, wann die Transformationsmatritze und die charakteristische Impedenz den Konstanten voran-gestellte werden können, genau festgestellt werden. Es wurde die Anwendung der angeführten Kriterien für den Fall der Schaltungs-Ue-bertragungserscheinung im Kabelsystem geschildert.

ПРОБЛЕМА ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ МАТРИЦЫ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ПЕРЕХОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В статье приводятся критерии и способы вычисления переходных явлений в ка-бельных системах, использованием программ цифрового моделирования, осно-вывающихся на техниках временной области эксплуатации. Другими словами частотная зависимость преобразовательной матрицы располагает областями, в кото рых матрица почти не изменяется. На основании просмотра преобладаю-щей частоты, можно с точностью установить критерии, когда преобразователь-ная матрица и характерн и характерное полное сопротивление можно предста-вить неизменяющимися. Представлено применение приведенных критериев на случай сопряженного переходного явления.

Naslov pisaca:

**Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić,
dipl. inž.**

**Snježana Rimac-Drlje, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
54000 Osijek, Istarska 3,
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis
1990-90-10



PROIZVODNI PROGRAM

Energetski kabele za napone:

1 kV-s termoplastičnom izolacijom

10 kV-s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- etilen-propilena

20 kV — s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- termoplastičnog polietilena

35 kV — s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- etilen-propilena

Termoplastikom izolirani instalacijski vodovi i kabele.

Gumom izolirani instalacijski vodovi i kabele.

Brodski kabele izolirani etilen-propilenom i plaštom od neoprena.

Kabele i konektori za aerodromske instalacije.

Samonosivi kabelelki snopovi Elkalex-1.

Telekomunikacijski kabele s izolacijom i plaštom od termoplastičnih materijala.

Telefonske montažne žice.

Optički kabele.

Specijalni vodovi i kabele.

Rudarski kabele.

Kabelelki setovi sa konektorima.

Lakirana žica.

Aluminijska, alu-čelična i užad iz aluminijske legure.

Čelična užad za dizalice, brodove i druge namjene.

Umreživi polietilen



VREDNOVANJE ELEKTRIČNE OTPORNOSTI TLA U ZAŠTITI OD UDARA MUNJE

Dr. Zvonimir Krulc, Zagreb

UDK 621.316.93
PREGLEDNI RAD

Razmotrena je važnost poznavanja električne otpornosti tla u projektiranju i izvođenju uzemljivačkih sustava. Za pravilno poimanje tla treba konačno uvesti i prihvatiti geološke nazive vrsta tala. Za utvrđivanje električne otpornosti tla treba u suvremenim uvjetima koristiti geoelektrično sondiranje. Veću pozornost treba posvetiti i proučavanju problematike ugroženosti od udara munje.

Ključne riječi: električna otpornost (specifični otpor) tla, geoelektrično sondiranje, zaštita od udara munje.

1. UVOD

Uzemljivači su prema definiciji uređaji koji tehničke vodiče odnosno instalacije povezuju s geološkim vodičima u tlu. Uzemljivači su bitni sastavni dijelovi uzemljivačkih — posebno gromobranskih — instalacija odnosno sustava.

Kod svakog uzemljivača je otpor rasprostiranja (ili prijelazni otpor):

$$R_n = \rho \cdot k_u [\Omega],$$

gdje je:

- ρ = specifični otpor (ili električna otpornost) tla, a
- k_u = koeficijent što ovisi samo o geometrijskoj veličini odnosno uzemljivačkog sustava.

Posebno treba naglasiti da je za racionalno projektiranje i izvođenje različitih uzemljivačkih sustava vrlo važno poznavati vrijednosti električne otpornosti tla u kojem će biti smješten uzemljivač. O električnoj otpornosti ili električnoj vodljivosti tla ima još uvijek nekih nedoumica u pogledu poznavanja vrsta tala i geoloških vodiča. Za geofizikalno pravilno poimanje tla u elektrotehniku treba konačno uvesti i bezuvjetno prihvatiti geološku terminologiju, tj. geološke nazive vrsta tala. Pod tlom treba shvatiti geološki kompleks stijena (tala) ispod površine Zemlje u užem smislu. Naziv ili pojam »zemlja« (u užem ili širem smislu), što se još uvijek ponekad upotrebljava, nije nikako prikladan i ne valja se njime više koristiti. To treba, dakle, shvatiti i tretirati kao geološki, prostorni, vodič (za razliku od linearnih vodiča).

U elektrotehničkoj literaturi još uvijek se u tablicama nalaze nazivi i vrste tala kao što su »močvara«, »oranica«, »kamen« ili »kamenito tlo«. To je, nažalost, promaklo i u najnovijem izvanrednom udžbeniku i priručniku o zaštiti od groma [1]. Ti nazivi i poj-

movi u geofizikalnom smislu ne kazuju ništa, pa ih nikada ne treba više upotrebljavati.

U ovom radu bit će razmotreno suvremeno utvrđivanje električne otpornosti tla u problematici zaštite od udara munje, neke značajke raspodjele električne otpornosti tla u Hrvatskoj, kao i neki problemi ugroženosti od udara munje.

2. UTVRĐIVANJE ELEKTRIČNE OTPORNOSTI TE NJENA VERTIKALNA I HORIZONTALNA RASPODJELA

Posebno treba naglasiti da je za utvrđivanje električne otpornosti (specifičnog otpora) tla u suvremenim uvjetima znanosti i tehnike najispravnije koristiti se postupkom geoelektričnog sondiranja. To više jer se time osim vrijednosti otpornosti tla utvrđuju i debljina te dubina pojedinih naslaga (slojeva) ispod površine terena. Tako se mogu utvrđivati i pratiti vertikalne i horizontalne promjene električne vodljivosti tla. U tu svrhu izvode se geoelektrična sondiranja po profilima ili u sustavu mreže točaka na stanovitom prostoru. Kao rezultati tih mjerenja dobivaju se geoelektrični presjeci tla odnosno karte raspodjele električne otpornosti (specifičnog otpora) tla na određenom području.

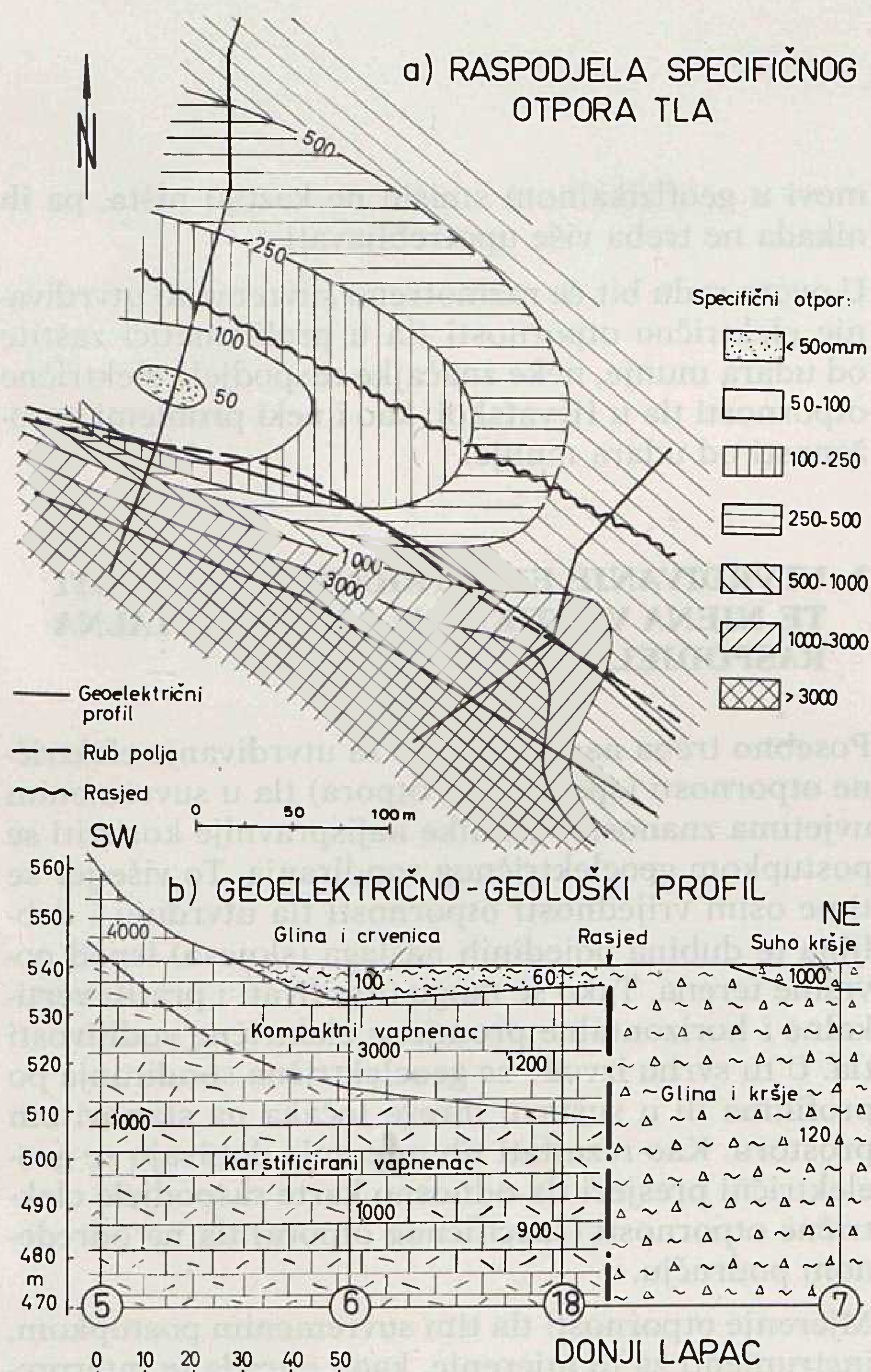
Mjerenje otpornosti tla tim suvremenim postupkom, instrumenti za to mjerenje, kao i obrada te interpretacija podataka mjerenja već su opisani u našoj geofizičkoj literaturi vrlo detaljno, a u elektrotehničkoj literaturi — posebno u problematici zaštite od udara munje — sve više u posljednje vrijeme.

S obzirom na vrlo visok stupanj geoelektrike u SSSR-u, treba ovdje naglasiti da je postupak geoelektričnog sondiranja već odavno uveden i prihvaćen i u elektroenergetskoj praksi u toj zemlji. Posebno treba spomenuti izvrstan priručnik i udžbenik [2]. Slič-

ne priručnike i udžbenike izdala je još ranije i elektroprivreda u DDR [3] i [4].

U nas treba pohvaliti nastojanja i radove stručnjaka iz područja elektrotehnike na upoznavanju i uvođenju postupka geoelektričnog sondiranja u elektrotehničku praksu. Osobito treba istaknuti radove autora S. Miluna [5],[6] i [7], te Dž. Muftića i dr. [8], u kojima je dan vrlo dobar suvremen prikaz postupka geoelektričnog sondiranja u ispitivanju tla za potrebe rješavanja uzemljivačke problematike.

Za ilustraciju horizontalne i vertikalne raspodjele električne otpornosti tla na jednom području prikazana je raspodjela specifičnog otpora na »karti otpora« na sl. 1 gore (a) te geoelektrično-geološki profil odnosno presjek na sl. 1 dolje (b). Ta su dva rezultata geoelektričnog sondiranja dobivena iz nekoliko poprečnih i uzdužnih profila na području malog krškog polja.



Slika 1.

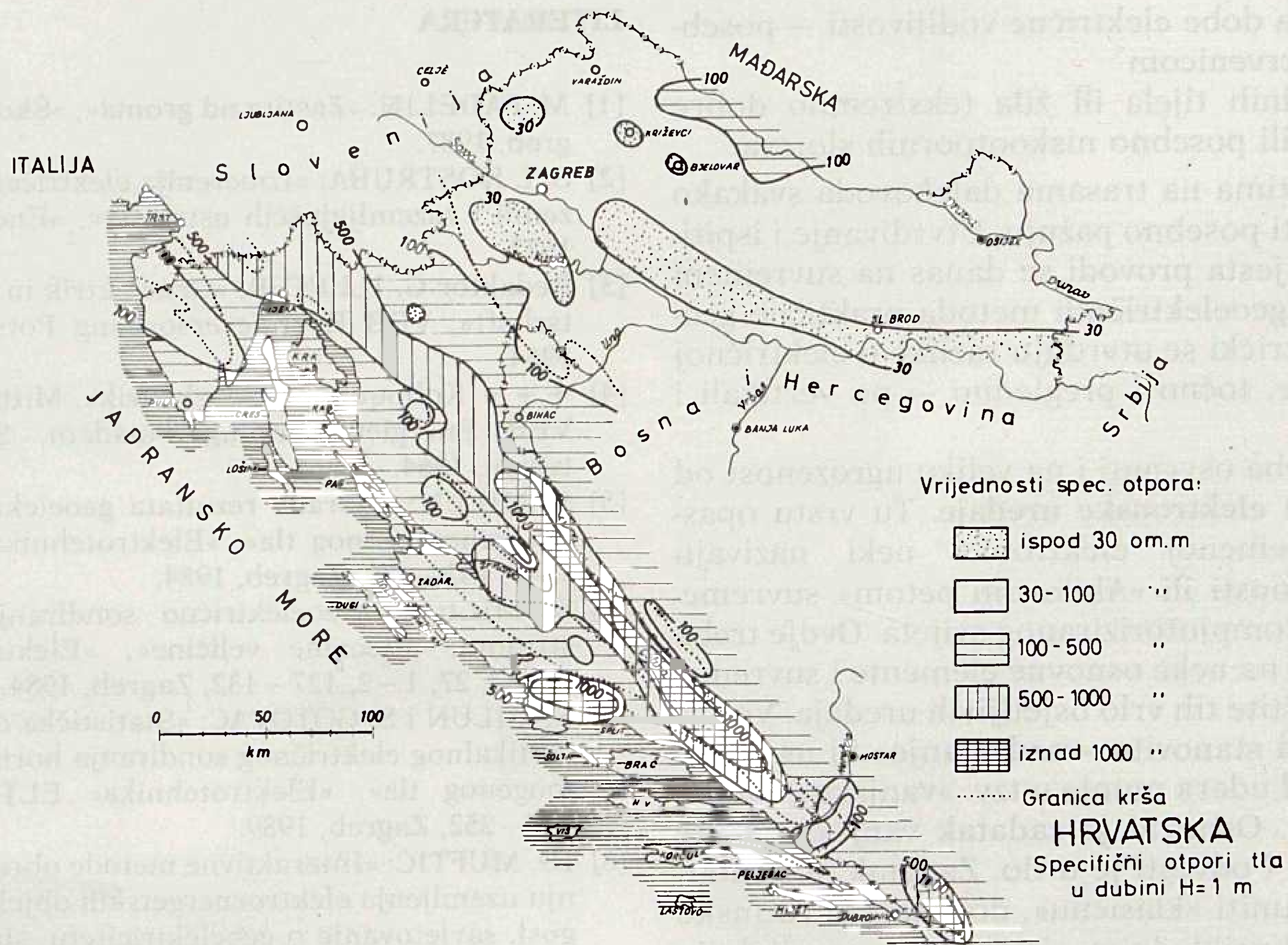
Iz »karte otpora« može se vrlo zorno vidjeti kako se specifični otpor na maloj udaljenosti može brzo i jako mijenjati. Vrijednosti otpornosti tla mijenjaju se od 50 do preko 500 om. m na udaljenosti od nekih 120 m u sjevernom dijelu prikazanog područja. Još su veće razlike odnosno brži porasti otpornosti tla u južnom dijelu područja, koje pripada rubnom dijelu

krškog polja. U geoelektrično-geološkom presjeku na sl. 1. b) jasno je iskazan diskontinuitet u građi tla u horizontalnom smjeru, što se tumači geološkim rasjedom. blizu tog rasjednog kontakta utvrđeni specifični otpori kompaktnog i karstificiranog vapnenca nešto su niži od »normalne« vrijednosti zbog bočnog utjecaja bolje vodljive sredine od gline i kršja. Spomenuti rasjedni kontakt karakterističan je za većinu krških polja u našem dinaridskom području: dobro vodljivi slojevi (geološki vodiči) glina, lapora, glinovitog pijeska, kršja s glinom ili crvenicom nalaze se na rubu polja u dodiru — najčešće vertikalnom kontaktu — s visokootpornim karbonatnim stijinama, pretežno vapnencima. U rezultatima na sl. 1 nije prikazan površinski humusni sloj debljine desetak centimetara. Ti rezultati upućuju zorno i na upozorenje da se ne smije otpornost tla procjenjivati »odoka«, samo pregledom površine tla. Oni s druge strane pokazuju, kako se primjenom geoelektričnog sondiranja može brzo dobiti veoma informativna slika o horizontalnoj i vertikalnoj raspodjeli otpornosti tla — odnosno o geoelektrično-geološkoj strukturi podzemlja u određenom području.

Na sl. 2. prikazana je pak orijentacijska karta specifičnog otpora tla u dubini 1 m za područje Hrvatske. Autor ovog rada kartu je izradio već prije više godina kao poticaj za geoelektrična proučavanja električne vodljivosti tla u našoj zemlji. Karta je urađena prema podacima dotadašnjih preko 13 500 pojedinačnih mjerenja (u okviru radnih zadataka u RO »Geofizika« Zagreb). Budući da točke mjerenja nisu jednolično raspoređene, daje ta karta samo vrlo grubu, orijentacijsku, sliku električne otpornosti u navedenoj dubini. (Prije više godina podnijela je RO »Geofizika« prijedlog projektnog zadatka utvrđivanja specifičnog otpora tla »JUGEL«-u za područje cijele Jugoslavije. Kao interesente za te podatke trebalo je osim »Elektroprivrede« Jugoslavije uključujući još i Jugoslavenske željeznice, organizacije PTT i JNA. Do realizacije nekog zadatka odnosno mjerenja nije došlo.)

Kako pokazuje ta karta, može se utvrditi zonalna podjela specifičnog otpora (električne otpornosti) tla, što je u osnovi u skladu s geološko-geografskom građom Hrvatske. Zonalna je gradnja odnosno podjela otpornosti naročito dobro izražena u zapadnom, obalnom dijelu Hrvatske.

Ovaj obalno-priobalni dio i dio unutrašnjosti u prostoru Dinarida zauzima oko trećine ukupnog područja Hrvatske. Veći dio tog područja sačinjavaju karbonatne stijene — vapnenci i dolomiti. Te stijene imaju u čvrstom, kompaktnom stanju otpornost veću od 5 000 om. m, a često i do 30 000 om. m. Raspucane i zdrobljene te stijene imaju dosta nizak specifični otpor ako se u njihovim pukotinama i šupljinama nalazi voda ili crvenica. Samo se na krškim poljima nalaze veće debljine naslage gline, lapora, pijeska i šljunka s niskim specifičnim otporima (čak od samo 10 ... 60 om. m. kod glina pa do glinovitog pijeska od 60 ... 150 om. m). Prema geotektonskoj rajonizaciji ovo područje pripada **dinarskom kršu**. Morfološki se posebno ističu Učka, cijeli planinski povez Velebita,



Slika 2.

Lička Plješivica i Dinara. Površina tla je u kršu veoma heterogena: naizmjenice se pojavljuju veći ili manji izdanci stijena, a između njih glina ili crvenica. Zbog toga se sreću vrlo promjenljivi prijelazni otpori na elektrodama pri geoelektričnom sondiranju; na mnogim područjima vrlo je teško naći povoljnu sredinu za polaganje uzemljivača.

Drugu trećinu područja Hrvatske čine područja nižih brda i brežuljaka, gdje dolaze većinom mlađe geološke formacije stijena, karakterizirane nižim otpornostima. Veći dio ove zone nalazi se između zone dinarskog krša na zapadu i ravninskih predjela na istoku, što pripadaju tzv. panonskoj geotektonskoj jedinici područja Hrvatske. Drugi dio sačinjavaju brdoviti predjeli unutar panonskog ravninskog dijela; među njima se posebno ističu tzv. masivi Zagrebačke gore, Moslavačke gore i gorja poteza Papuk – Krndija i Psunj – Dilj u Slavoniji.

Približno trećina teritorija Hrvatske otpada na ravninske predjele, gdje dolaze najmlađi geološki sedimenti — pretežno kvartalne naslage. Specifični otpori tala ovdje su većinom vrlo niski i najčešće nema problema ni poteškoća u projektiranju i izvođenju uzemljivačkih sustava. Geotektonski ovo područje pripada **panonskom bazenu**. Morfološki se posebno ističu široke doline rijeka Save i Drave, poznatije pod geografskim pojmovima (nazivima) Posavine i Podravine.

3. PROBLEMATIKA UGROŽENOSTI OD UDARA MUNJE

Problematiku ugroženosti od udara munje treba ovdje samo dotaknuti, jer je o njoj već opširnije pisano

u našoj elektrotehničkoj literaturi — posebno sa stajališta geoelektrično-geološke građe tla.

Nesretna činjenica da je sredinom lipnja 1989. godine munja ubila stranu turistkinju usred Poreča, a ove 1990. god. (također lipnja) pogodila i ubila djevojku u okolici Zagreba, daju svakako povoda da se skrene pažnja na neke osnovne opasnosti od udara munje.

Elektroprivredne stručnjake treba pak zabrinuti činjenica što se još uvijek događaju vrlo štetni udari munje u elektroenergetske objekte usprkos zaštitnim mjerama. O tome govori informacija u dnevnom tisku: »Oštećeni dalekovodi« u »Večernjem listu« 18. 5. 1990: »U jakom nevremenu, praćenom grmljavinom, a na trenutke i tučom, koje je u srijedu (16. 5. '9d) kasno poslijepodne zahvatilo gacku dolinu oštećeni su mnogi otočki dalekovodi. Zbog toga su radnici gospićke »Elektrolike« u Otočcu jučer imali pune ruke posla, najviše na dalekovodu Otočac – Gornja Švica. Stup tog dalekovoda kod otočkog autobusnog kolodvora doslovce je raznio grom, pa je veći dio grada bio više sati bez struje.«

Opažanja i istraživanja — dosad više u inozemstvu nego u nas — opetovano pokazuju da munja udara ponajviše na objekte što se nalaze iznad ili blizu diskontinuiteta (nehomogenosti, anomalija) u građi tla. Kao posebno od udara munje ugrožene diskontinuitete tla treba označiti:

- dobro vodljive uloške malog površinskog protezanja, što se nalaze u visokootpornim naslagama (stijenama)
- granične ili kontaktne zone između dobro i loše vodljivih geoloških vodiča (stijena)
- zone tektonskih poremećaja (rasjedne zone, prijelomnice ili pukotine), što su većinom ispunjene

materijalima dobe električne vodljivosti — posebno glinom, crvenicom

— izdanke rudnih tijela ili žila (ekstremno dobre vodljivosti) ili posebno niskootpornih slojeva.

U takvim mjestima na trasama dalekovoda svakako bi trebalo voditi posebno pažnju. Utvrđivanje i ispitivanje takvih mjesta provodi se danas na suvremeni način pomoću geoelektričnih metoda praktične geofizike. Geoelektrički se utvrđuju razlike u električnoj vodljivosti brze, točno i pregledno — po vertikali i horizontali.

Konačno se treba osvrnuti i na veliku ugroženost od udara munje u **elektronske uređaje**. Tu vrstu opasnosti u suvremenoj elektronici neki nazivaju smrtnom opasnosti ili »Ahilovom petom« suvremenoga, sve više kompjutoriziranog svijeta. Ovdje treba upozoriti samo na neke osnovne elemente i suvremene spoznaje zaštite tih vrlo osjetljivih uređaja. Već se više godina vrši stanovito »razdvajanje« ili usmjerenje zaštite od udara munje u tzv. »vanjsku« i »unutarnju« zaštitu. Osnovni je zadatak vanjske zaštite uhvatiti munju i odvesti je u tlo. Zadatak je unutarne zaštite dopuniti »klasičnu«, dosadašnju rutinsku zadaću zaštite i prikladnim — uglavnom specijalnim i dopunskim — postupcima i uređajima spriječiti indirektno djelovanje struje munje ili ga barem tako ograničiti da ne dovede do šteta unutar osjetljivih elektronskih uređaja. Postoji već više vrsta vrlo dobrih posebnih zaštitnih elemenata (varistora, odvodnika, dioda). Bitnu ulogu ima i dosljedno izvedeno izjednačenje potencijala i osigurano posebno dobro uzemljenje (traže se otpori i samo 0,5 oma).

4. ZAKLJUČAK

Poznavanje električne otpornosti tla vrlo je važno za racionalno projektiranje i izvođenje različitih uzemljivačkih sustava. Za pravilno poimanje tla u elektrotehniku i elektroenergetiku treba konačno uvesti i bezuvjetno prihvatiti geološku terminologiju — tj. geološke nazive vrsta tala.

Za utvrđivanje električne otpornosti tla u suvremenim uvjetima znanosti i tehnike treba koristiti postupke geoelektričnog sondiranja.

Treba posvetiti veću pozornost proučavanju problematike ugroženosti od udara munje — i u elektroenergetici.

U uvjetima sve jače kompjutorizacije treba posvetiti više pažnje i »unutarnjoj« zaštiti od udara munje u objektima gdje se nalaze vrlo osjetljivi elektronski uređaji.

LITERATURA

- [1] M. PADELIN: »Zaštita od groma«, »Školska knjiga«, Zagreb, 1987.
- [2] S. I. KOSTRUBA: »Izmerenja električkih parametara zemli i zazemljajućih ustrojstava«, »Energija«, Moskva, 1972.
- [3] Redaktor G. ILLINER: »Geoelektrik in der Energiewirtschaft«, VEB Energieversorgung Potsdam, Potsdam, 1964.
- [4] + + + Kolloquium »Geoelektrik«, Mitteilungsblatt des VEB Energieversorgung Potsdam, Sonderheft, Potsdam, 1964.
- [5] S. MILUN: »Obrada rezultata geoelektričnog sondiranja nehomogenog tla«, »Elektrotehnika« ELTHB2, 27, 1–2, 133–139, Zagreb, 1984.
- [6] S. MILUN: »Geoelektrično sondiranje izmjeničnom strujom; utjecajne veličine«, »Elektrotehnika« ET-LHB2, 27, 1–2, 127–132, Zagreb, 1984.
- [7] S. MILUN i S. GOTOVAC: »Statistička obrada rezultata vertikalnog električnog sondiranja horizontalno nehomogenog tla«, »Elektrotehnika« ELTHB2, 32, 3–4, 247–252, Zagreb, 1989.
- [8] Dž. MUFTIĆ: »Interaktivne metode obrade u projektiranju uzemljenja elektroenergetskih objekata«, »Šesto jugosl. savjetovanje o geoelektricitetu, statičkom električnom i gromobranama« »Sarajevo '86«, Zbornik radova, 33–1...33.11, Sarajevo, 1986.

EVALUATION OF SOIL RESISTIVITY IN LIGHTNING PRODUCTION

The importance of considering soil resistivity during design and construction is discussed. For correctly evaluating the soil, geological classification of the rocks is required. For determining soil resistivity, geoelectrical sounding is employed. Considerable attention should also be addressed to the dangers posed by lightning.

WERTSCHÄTZUNG DES ELEKTRISCHEN BODENWIDERSTANDES

Man spricht über die Bedeutung des elektrischen Bodenwiderstandes in der Projektierung und Ausführung der Erdungsanlagen. Für die richtige Erfassung des Bodens sollte man endlich die geologischen Namen den Bodenarten einführen und akzeptieren.

Zur Feststellung des elektrischen Bodenwiderstandes unter modernen Bedingungen sollte man die Methoden der geoelektrischen Sondierung anwenden. Man sollte der Problematik der Blitzeinschlag-Gefahr mehr Aufmerksamkeit widmen.

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ УДАРОВ МОЛНИИ

Рассматривается важность знания электрического сопротивления почвы при проектировании и выполнении систем заземления. Для правильного понимания почвы необходимо окончательно ввести и принять геологические названия категорий почвы. Для определения электрического сопротивления почвы необходимо при современных условиях использовать геоэлектрическое зондирование. Большую надежность следует посвятить также и изучению проблематики вниманию ударов молнии.

Naslov pisca:

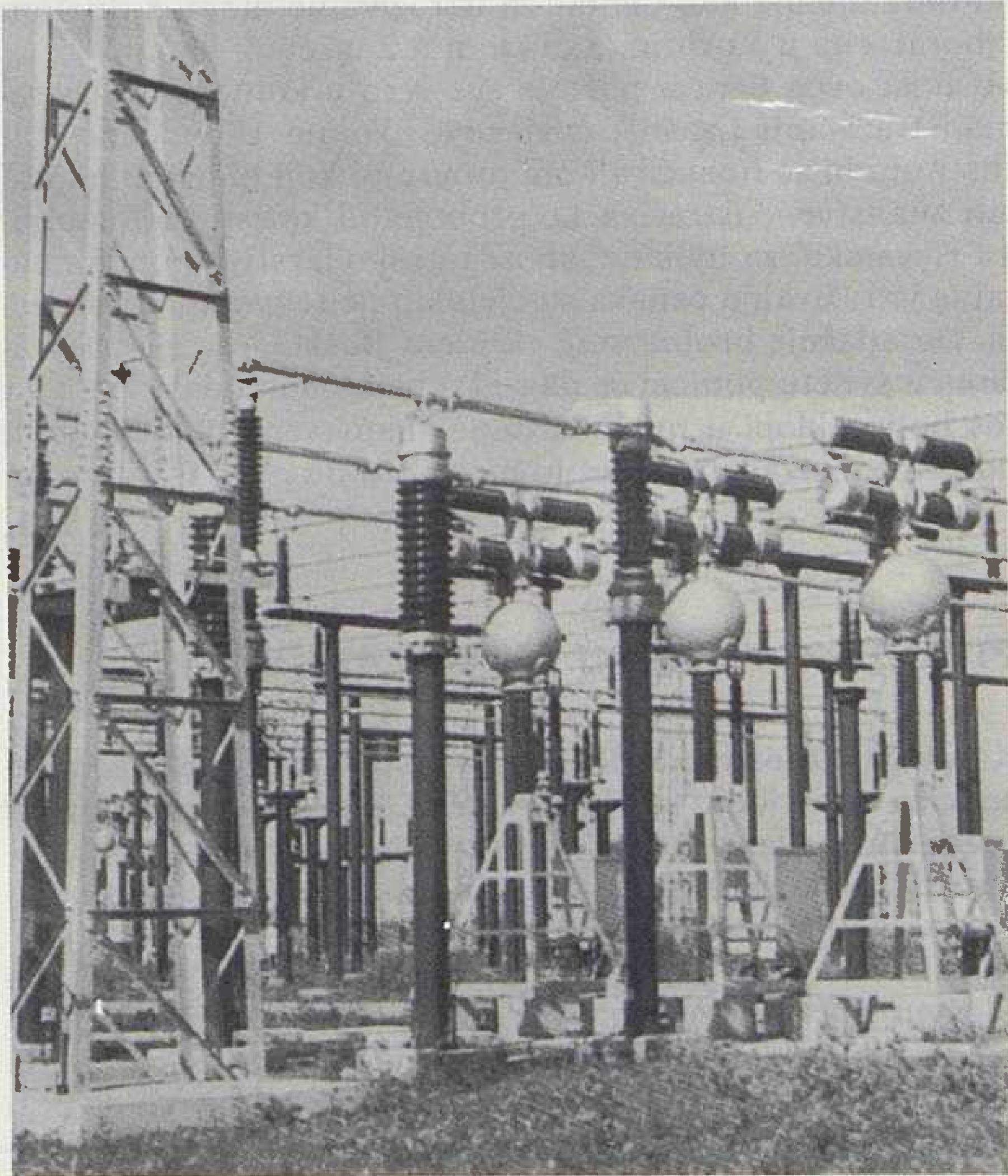
Dr. Zvonimir Krulc, dipl. inž.
Viši znanstveni suradnik
41000 Zagreb, Klaićeva 60,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1990-07-10

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

PROSLAVA GODIŠNJICE OSNUTKA ELEKTROISTRE — PULA

Na temelju odluke Vlade NR Hrvatske, od 20. prosinca 1950. područni ured Pula izuzet je iz sastava poduzeća Elektroprimorje Rijeka i osnovano je novo samostalno poduzeće Elektroistra sa sjedištem u Puli. Poduzeće je dobilo osnovni zadatak da ubrza elektrifikaciju i da se brine za pouzdanu opskrbu Istre električnom energijom. Četrdesetu godišnjicu ovog važnog datuma proslavila je Elektroistra Pula na vrlo svečan način 8. prosinca 1990. Tom je prigodom proslavljena i 90. godišnjica početka javne elektrifikacije Istre. Naime, 1900. osnovana je prva javna elektrana u Puli, pa se ta godina smatra nježnačajnijom, premda su već u posljednjim desetljećima prošlog stoljeća elektrikom osvijetljene neke reprezentativne zgrade i vojni objekti i izgrađeni manji lokalni izvori.



Detalj rasklopnog postrojenja 110 kV

Svečanost je održana u reprezentativnim prostorijama hotela Histrija, uz sudjelovanje velikog broja uzvanika, predstavnika vlasti, elektroprivrednih organizacija, suradnika, poslovnih prijatelja i zaslužnih umirovljenika. Svečanosti je prisustvovao i pomoćnik ministra za energetiku i industriju Republike hrvatske Roman Nota, predsjednik Skupštine općine Pula Luciano Delbianco, rukovoditelj sektora distribucije Hrvatske elektroprivrede Dragan Borojević i predstavnik Instituta za elektroprivredu dr. Ivo Hrs.

Svečanost je otvorio Ivan Fabris, glavni direktor Distribucije Pula, prigodnim govorom u kojemu je iznio razvoj elektrifikacije Istre i vrlo uspješno djelovanje poduzeća slavljenika. To najbolje ilustrira podatak da je potrošnja električne energije u Istri u proteklih 40 godina porasla 25 puta. U

uvjerenju da će se i nadalje nastaviti ovako uspješnim radom iznio je planove poduzeća u bližoj budućnosti.

Zatim je nekoliko viđenih uzvanika uz prigodne riječi čestitalo slavljeniku.

Posebnu je pozornost izazvala edicija »Elektroistra, 1900—1945, 1950—1990«, koju je predstavio glavni i odgovorni urednik i pisac velikog dijela teksta Ivica Deronja. Namjera autora pri pisanju ove knjige najbolje se vidi iz predgovora: »Ovom knjigu pokušali smo otrgnuti od zaborava i sačuvati za buduća pokoljenja bar dio onoga što su naši prethodnici, uz pomoć šire društvene zajednice, učinili na polju elektrifikacije.«

Iz opširnog teksta razabire se da su autori uložili mnogo truda, sakupili i sredili dragocjenu građu i potpuno usjeli u svojim nastojanjima da sustavno i pregledno prikažu razvoj elektrifikacije Istre, razvoj i rad svoga distributivnog poduzeća i zalaganje njegovih radnika.

Mora se naglasiti da je knjiga moderno koncipirana i grafički bogato opremljena. Njena pojava i podjela uzvanicima mnogo je pridonijela uveličanju i značenju proslave. Na kraju su pročitana imena jubilaraca koji su u Elektroistri proveli 10 do 35 godina rada, a trojici koja su u preduzeću provela 40 radnih godina uručena su priznanja i zlatne značke. Priznanje Privredne komore Istre, koja se dodjeljuje uspješnim privrednicima, dobio je Ivica Deronja, dugogodišnji rukovodilac Elektroistre.

Na kraju svečanosti priređen je glazbeni umjetnički program, a zatim ručak za uzvanike.

Boris Markovčić

GODIŠNJI REMONT NE KRŠKO

Redovni godišnji promet NE Krško izvršen je od 16. studenog do 31. prosinca 1990. godine (45 dana). Za vrijeme remonta proizvodnja električne energije u Hrvatskoj je smanjena dnevno za oko 7 milijuna kWh električne energije. Taj manjak je nadoknađen pojačanim radom ostalih elektrana u R. Hrvatskoj i dodatnim kupovinama iz Srbije i inozemstva.

Prema planu remonta u NE Krško zamijenjeno je 28 istrošenih gorivih elemenata, obavljena je i temeljita kontrola parogeneratora. Ovog puta posebna briga posvećena je provjeri nepropusnosti tzv. kontejmentsa. Riječ je o dijelu nuklearke koji spriječava da u okolinu ne »pobjegne« više radioaktivnosti nego je dozvoljeno primjenom vrlo strogih američkih propisa. Utvrđeno je da sadašnji parogeneratori prema ocjenama stručnjaka mogu raditi punom snagom još šest do osam godina. Na remontu HE Krško za vrijeme remonta u različitim poslovima i u različito vrijeme radilo je oko 950 radnika.

NE Krško je u 1990. godini umjesto planiranih 4,922 milijarde kWh proizvela čak 5,132 milijarde kWh električne energije. U protekloj godini nuklearka je zabilježila samo 15 prestanaka radom ili rada sa smanjenim kapacitetom od čega je pet promjena režima rada planirano, dva puta je postrojenje stalo zbog potresa, a u šest navrata smanjivana je snaga NE »Krško« kako bi se spriječilo pregrijavanje Save.

I. R.

MEĐUNARODNI SASTANAK STRUČNJAKA ZA PLIN U OPATIJI

Šesti međunarodni sastanak stručnjaka za plin održan je od 9. do 12. listopada 1990. godine u Opatiji. Organizator ovog naučnog skupa je bio Centar za unapređenje produktivnosti Zagreb, uz sponzorstvo INA-NAFTAPLINA i pokroviteljstvo Republičkog komiteta za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo Republike Hrvatske, te »Energogasa« iz Beograda.

U brojnim predavanjima i organiziranim razgovorima za »okruglim stolom« stručnjaci su razmijenili znanje i iskustva o proizvodnji, potrošnji i potražnji, transportu i distribuciji prirodnog plina. Stručne rasprave na »Šestom međunarodnom susretu stručnjaka održanom u Opatiji« ponovno su aktualizirale između ostalog, problematiku potrošnje plina i izgradnju plinovodne mreže u Jugoslaviji.

Najambicioznije planove imaju zasad Hrvatska, Srbija te Bosna i Hercegovina. Tako je predstavnik »Energogasa« najavio uskoro početak gradnje nove plinovodne mreže u Srbiji u pravcu Paraćin – Pojate – Kruševac – Titovo Užice, dužine 160 km, vrijednosti oko 26 milijuna USA dolara. Drugi dio plinovoda gradio bi se iz smjera zapadne Srbije prema jugu do Leskovca, Niša, Zaječara i Prahova.

Hrvatske koja ima danas najrazvijeniju potrošnju prirodnog plina, svoju će plinovodnu mrežu širiti u pravcu Karlovca i dalje vjerojatno prema Rijeci; prema istoku u pravcu Slavenskog Broda i prema jugu u pravcu Zenice i Banja Luke. Potrošnja plina u Hrvatskoj iznosi oko 3 milijarde prostornih metara, od čega se 2,11 milijardi podmiruje domaćom proizvodnjom, a 800 milijuna iz uvoza.

Republika Slovenija danas troši oko 900 milijuna, a u Vojvodini blizu milijardu prostornih metara, od toga domaća proizvodnja iznosi oko 900 milijuna.

Srbija troši nešto više od 700 milijuna prostornih metara, a Bosna i Hercegovina 500; u Makedoniji, Crnoj Gori i na Kosovu zasad se plin ne troši. Na Kosovu tek nešto malo koksnog plina.

Uvozni plin

Iako proizvodnja prirodnog plina u Jugoslaviji počima od 1918. godine značajna komercijalna proizvodnja i potrošnja nastaje tek šezdesetih godina, međutim sve do 1978. ona je bila relativno mala i podmirivala se isključivo iz domaćih nalazišta. Tek 1975. godine Naftaplin, Naftagas, Petrol, Energogas potpisuju s proizvođačima iz SSSR-a 20. godišnji ugovor za uvoz 3 milijarde prostornih metara plina godišnje za potrebe potrošača u Sloveniji, Hrvatskoj, Vojvodini, Srbiji te Bosni i Hercegovini. Zaključeni su i ugovori o transportu plina plinovodom kroz Čehoslovačku i Austriju. I to 1,5 milijardi prostornih metara godišnje za potrebe Petrola i INA-Naftaplina, te kroz Mađarsku 1,5 milijardi za potrebe Naftagasa i Energogasa. Od 1988. godine sa SSSR-om utanačena je kupnja 10 milijardi prostornih metara godišnje. Povećana količina uvoznog plina transportirat će se plinovodima kroz Čehoslovačku, Austriju i najvećim dijelom kroz Mađarsku oko 5,5 milijardi.

I. R.

PROSLAVA 40 GODINA RADA INSTITUTA »RUDER BOŠKOVIĆ«

Prirodnoznanstveni Institut »Ruder Bošković« Zagreb, proslavio je 22. listopada 1990. godine 40 godina rada. Svečanost je održana u velikoj dvorani »Vatroslav Lisinski«, a pod pokroviteljstvom i u nazočnosti predsjednika Republi-

ke Hrvatske, dr. Franje Tuđmana. Na ovom svečanom skupu našlo se je više generacija koje su svojim znanstvenim znanjem i radom mnogo pridonijele uspjehu ove važne naučne institucije. Kao gosti na proslavi zastupljeni su predstavnici raznih naučnih organizacija iz zemlje i svijeta, te društveno političkih organizacija i društva. Zapaženo je prisustvo doajena naše znanosti akademika Ive Supeka koji spada u red zaslužnih osnivača Instituta »Ruder Bošković«.

Predsjednik Republike Hrvatske dr. Franjo Tuđman, čestitao je članovima na dosadašnjim ostvarenim uspješnim znanstvenim rezultatima. Institut »Ruder Bošković« kao značajna naučna institucija prolazila je kroz različita razdoblja svojega djelovanja, ali je uvijek predstavljala rasadnik znanja ne samo u domovini nego i vezu s vrhunskom znanosti u svijetu.

U početku pedesetih godina 95 posto sredstava bilo je namijenjeno nuklearnom programu. No vremenom su znanstvenici uspjeli proširiti djelatnost instituta i na druge programe — iz znanstvenih područja ne samo fizike, već i kemije, biologije, medicine i elektronike, te niza interdisciplinarnih područja.

Početakom 1969. godine s Institutom »Ruder Bošković« udružuje se i Institut u JAZU za biologiju mora u Rovinju koje od tada djeluje kao Centar za istraživanje mora, s dijelom laboratorija u Rovinju, a dijelom u Zagrebu.

Važnost ovog Centra postaje sve veća u kontekstu programa istraživanja i zaštite čovjekove okoline. U budućnosti u Institutu bi se financirali oni programi koji bi mogli napraviti znanstveno-istraživačke proboje od koristi za Republiku Hrvatsku, za njenu znanost i gospodarstvo. Fundamentalna istraživanja osnova su cjelokupne tehnologije i razvoja. Dosadašnje brojne veze »Rudera Boškovića« s istraživačima u svijetu pomoći će da se i u budućnosti naša znanost još bolje uklopi u međunarodne znanstvene tokove, kojih po prirodi stvari bezuvjetno mora biti dio.

I. R.

PITANJE ZATVARANJA NUKLEARKE

Komisija Skupštine SFRJ za zaštitu čovjekove okoline zalaže se za bezuvjetno zatvaranje NE Krško, ali Odbor za plan i razvoj je nedavno ostao pri zaključcima iz srpnja 1990. godine da nema razloga za zatvaranjem nuklearke dok ona radi u skladu s propisima o mjerama zaštite.

O daljnjem radu odlučivat će nadležni organi Republika Slovenije i Hrvatske uz obavezu da se ubrzo nađe rješenje za odlaganje nuklearnog otpada. Takav stav odbora u skladu je s dopisom Skupštine Slovenije u kojem se navodi da će o načinu i vremenu zatvaranju NE Krško odlučivati Skupština te Republike. Istodobno je odbačen izvještaj komisije za zaštitu čovjekove okoline kao neodgovarajući i nestručni materijal. Slovenija nagovještava da će ipak u tome smislu donijeti određene mjere. Već je zatvoren rudnik urana Žirovski vrh, a u toku je rješenje za odlaganje radioaktivnih otpadnih materijala.

I. R.

STUDIJA KATASTAR MALIH HIDROELEKTRANA

Stručnjaci poduzeća »Elektroprojekta« izradili su studiju »Katastar malih hidroelektrana u Republici Hrvatskoj« — I. faza. Hrvatska elektroprivreda imenovala je Stručni savjet za reviziju studije, recenziju studije koju je izradio »Elektroprojekta« Zagreb. Stručni savjet sastavljen je od stručnjaka Hrvatske elektroprivrede iz Zagreba, Rijeke,

Splita i HE Dubrovnik, te članova Instituta za elektroprivredu Zagreb, Republičkog komiteta za vodoprivredu, te predstavnika Ministarstva energetike, tvornice »Rade Končar« — Odjel za hidroelektrane i »Turboinštitut« Ljubljana.

Studija sadrži pet knjiga: hidrološke podloge — tekst; hidrološke podloge I — prilozi; hidrološke podloge II — prilozi; male hidroelektrane — tekst i male hidroelektrane — nacrti.

I. R.

UBRZATI GRADNJU HE PODSUSED

Prvih dana studenog 1990. godine zagrebačko područje bilo je u opasnosti da bude obuhvaćeno poplavom voda Save. Nadošli vodeni val iz Slovenije najviše je prijetio ugroženom području na potezu Zaprešić—Podsused—Samobor—Velika Gorica—Dugo Selo i dalje nizvodno prema Sisku. Glavni štab za obranu od poplave uložio je velike napore u borbi protiv vodene stihije. Izbjegnuta je velika šteta čije bi posljedice bile teške.

Da bi se ubuduće izbjegle nenadane poplave to će se područje najbolje zaštititi izgradnjom hidroelektrane Podsused. Vodoprivreda i Elektroprivreda moraju naći rješenja što brže izgradnje ove savske hidroelektrane.

HE »Podsused« instalirane snage $2 \times 23,8$ MW s prosječnom godišnjom proizvodnjom 203 GWh električne energije, je prva energetska stepenica u iskorištavanju vodenog potencijala rijeke Save na području Republike Hrvatske.

Zadaća HE Podsused je:

- proizvodnja električne energije;
- zaštita od poplava zaobalnih površina;
- poboljšanje kapaciteta crpljenja postojećih i potencijalnih vodoopskrbnih crpilišta.

Hidrološka značajka rijeke Save su velike proljetne vode, te velike promjene protoka.

Lokacija hidroelektrane Podsused je na toku rijeke Save 700 m uzvodno od mosta na Zagrebačkoj obilaznici kod Zaprešića.

Topografski podaci — u području bazena, Sava prima iz desnog zaobalja dvije pritoke: Breganu i Gradnu, a iz lijevog potok Gorjak.

Opis objekta — glavni sastavni dijelovi hidroelektrane Podsused su: brana, strojarnica s dvije proizvodne grupe, retencijski bazen, rasklopno postrojenje i pomoćni objekti. Strojarnica i brana locirane su izvan korita rijeke Save u lijevoj inundaciji pa novo korito Save treba skrenuti u smjeru protočnih polja.

Strojarnica je funkcionalno, konstruktivno i oblikovano podijeljena na dva dijela i to na:

- podzemni blok strojarnice i
- halu strojarnice s nizvodnom pregradnjom. Uz strojarnicu je locirano vanjsko rasklopno postrojenje 110 kV.

Hidroelektrana Podsused je pribranskog tipa kod kojeg strojarnica i brana čine jedinstveni objekt koji pregrađuje riječni tok.

I. R.

ODLAGANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA

Veliki problem predstavlja gdje i kako trajno deponirati srednje i nisko radioaktivni otpad koji nastaje uglavnom u Nuklearnoj elektrani Krško, ali i u drugim objektima koji koriste ovu energiju. Svi ti atomski otpadi moraju biti uskladišteni i pod stalnom kontrolom, koju će preuzeti javna poduzeća

Međurepublička koordinacija Republike Hrvatske i Slovenije za nuklearnu energiju sredinom studenog prošle godine na održanom sastanku u Ljubljani dogovorili su se o osnivanju javnog poduzeća za radioaktivni otpad.

Zasad su obje republike odredile najprimjerenija područja za trajna odlagališta. Grupa stručnjaka Urbanističkog instituta Hrvatske radi na vrednovanju prvenstveno kvalitete tla, izabrali su desetak područja u Slavoniji i središnjoj Hrvatskoj i na temelju tih ispitivanja na njima će se odrediti potencijalne lokacije koje će se nakon što ih prihvate Vlada i Sabor Hrvatske ugraditi u prostorni plan Hrvatske. Istovremeno je u Sloveniji izabrano dvanaest potencijalnih područja, uglavnom u sjeveroistočnom dijelu republike. Nakon detaljnih terenskih istraživanja, u obje republike će se odrediti po jedna najbolja lokacija za odlagalište radioaktivnog otpada. Tek tada će pasti odluka da li će se graditi samo jedno odlagalište ili će svaka republika napraviti svoje.

Sugerirano je da vlade obje republike zauzmu jasna stajališta o konkretnim problemima organiziranog spremanja radioaktivnog otpada.

Na održanom sastanku potpisan je i aneks na sporazum o financiranju i izvođenju prethodnih radova za odlagalište radioaktivnog otpada, povećanje kapaciteta privremenog skladišta otpada u nuklearni Krško i poboljšanje tehnologije otpadaka. Korisnici i potpisnici obavezali su se da će prikupljati radioaktivne otpatke svih manjih korisnika i brinuti se o njima, i to svaki za svoju republiku u kojoj ima sjedište.

Na koordinaciji je riješen i problem s vodoprivrednom dozvolom za nuklearku, često optuživanu da pregrijava Savu. Da se taj spor ukloni Ministarstvo vodoprivrede Hrvatske i Komitet za zaštitu okoline Slovenije dogovorili su se da nuklearni izdaju novu vodoprivrednu dozvolu po kojoj će se Sava moći zagrijavati maksimalno do tri stupnja.

I. R.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

PROGRAM 1 000 KVAROVA

Ministarstvo za istraživanja i razvoj Njemačke planira opsežan test s krovnim instalacijama sunčanih električnih ćelija. Pothvat je nazvan »Program 1 000 kvarova«, a primjenjivao bi se na cijelom teritoriju zemlje. Pripreme za to u različitim su savezima zemljama različito uznapredovale. Za ostvarenje programa ministarstvo je već za ovu godinu osiguralo 50 milijuna DEM. Završetak se predviđa 1994. Ćelije će električki biti vezane na javnu mrežu, koja će preuzimati višak proizvodnje. Cilj je plana da se nakupe iskustva za instaliranje i pogon krovnih konstrukcija fotovoltaičkih ćelija, a da cijena bude što niža. Ugradnju će obilno subvencionirati država.

Od 1974. Savezno ministarstvo izdalo je za razvoj fotovoltaike oko 570 milijuna DEM, a to je 25% sume koja je dana za razvoj iskorištenja obnovljivih izvora energije u Njemačkoj.

Danas stoji vršna snaga fotovoltaičke ćelije (snaga kod okomitog upada sunčanih zraka u podne) 15 DEM po vatu, a smatra se da bi se daljnjim razvojem mogla sniziti na 2 DEM po vatu. Time bi, za njemačke prilike, 1 kWh stajao 0,50 DEM. U svijetu je 1989. proizvedeno fotovoltaičkih ćelija maksimalne vršne snage od 42 MW, a računa se s godišnjim porastom od 20%. Područje primjene su mali uređaji posebne namjene koji traže nezavisno napajanje električnom energijom. Međutim, za veću proizvodnju električne energije u razvijenim zemljama ova je tehnika još nerentabilna.

Energie, god. 42 (1990), br. 6

Mrk.

VJETROELEKTRANE U SAD

Prema istraživanju ureda Department of Energy Wind Power cijena proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana minulih je godina znatno pala i sad se prosječno kreće oko 7,5 centa po kWh.

U Kaliforniji je 30% vjetroelektrana uvezeno iz inozemstva, jer je kvaliteta uređaja mnogo bolja. Nasuprot projektiranom vijeku trajanja od 20 do 30 godina u Americi proizvedeni rotori traju 5 godina. Zbog toga je za danske i njemačke proizvođače američko tržište vrlo značajno, to više što potražnja raste.

Energie, god. 42 (1990), br. 6

Mrk.

NOVE GORIVE ĆELIJE

Poduzeće Dornier (Njemačka), koje se bavi uređajima za svemirske letove, razvilo je novu vrstu gorive ćelije, za koju se vjeruje da je perspektivna i da mnogo obećava.

Gorive ćelije pretvaraju kemijsku energiju u električnu, kao istosmjernu struju niskog napona. Razlika prema galvanjskim baterijama je u tome što reaktanti nisu integralni sastavni dio sistema koji se u toku pogona troše, već se stalno dovodi gorivi plin i oksidacijsko sredstvo, a odvode se produkti reakcije. U ovoj novoj gorivoj ćeliji gorivo može biti vodik, metan, zemni plin ili ugljik-monoksid, a zrak kao ok-

sidakcijsko sredstvo. Pri reakciji kisik difundira kroz elektrolitnu keramičku membranu prema gorivom plinu. Sila pokretanja iona jest razlika elektrokemijskog potencijala između zraka i goriva. Pogonska temperatura iznosi 1 000 °C.

Prednosti su nove ćelije sljedeće:

- čisti plinski proces, bez brige za elektrolit
- nepotrebni katalizatori iz plemenitih metala
- kao oksidacijsko sredstvo može služiti zrak, a ne čisti kisik
- kao gorivo nije nužan čisti vodik, već se mogu upotrijebiti, kako je rečeno, i drugi plinovi od kojih je najzanimljiviji zemni plin
- visoka temperatura izlaznih plinova, kod većih agregata, može se koristiti za sporedne termičke procese,
- nema korozivnih medija.

U tvrtki Dornier izrađen je laboratorijski model i uspješno isproban. Model je cijevnog oblika sa 1 000 serijski i paralelno vezanih ćelija. Radi se, međutim, o plošnom obliku ćelija, veće gustoće snage, uz smanjenje investicija. Daljnji je cilj da se do sredine devedesetih godina razviju jedinice snage 0,1 do 1 MW, a nakon 2000. godine u planu je da se ćelije proizvode godišnje u ukupnoj snazi od kojeg GW. Za takvim uređajem već sada u svijetu postoji veliko zanimanje, no potrebno je još dosta razvojnog rada da se omogući komercijalna upotreba.

Energie, god. 42 (1990), br. 7

Mrk.

NOVE BATERIJE

Njemačka tvrtka AEG u suradnji s engleskom tvrtkom Beta Research and Development razvila je novu vrstu baterije koja je zbog svoje razmjerno male težine vrlo pogodna za ugradnju u električna vozila. Dok auto s konvencionalnim olovnim baterijama može s jednim punjenjem prijeći 40 do 50 km, s novorazvijenim baterijama ta duljina iznosi do 170 km. U usporedbi s olovnim akumulatorima masa novih baterija iznosi tek četvrtinu. Jedna ćelija takve baterije ima napon 2,6 V, a sastoji se od sistema natrij-nikalklorida. U napunjenom stanju natrij je negativna, a nikalklorid pozitivna elektroda, uz elektrolit na bazi aluminijske. Za vrijeme pražnjenja natrij reagira s nikalkloridom pa se dobiva natrij-klorid i metalni nikel. Baterija radi pod povišenom temperaturom od 250 do 370 °C, pa ćelije moraju biti smještene u izolirane posude. Njihov rad je siguran, a održavanje praktički nepotrebno.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 6

Mrk.

EMISIJA DUŠIČNIH OKSIDA U EVROPI

Emisija vrlo neugodnih zagađivača zraka, dušičnog oksida, vrlo je jaka na području Evrope. Premda vrlo različita u pojedinim zemljama, prosjek iznosi 25 kg godišnje po stanovniku Evrope. Najveći je zagađivač Češkoslovačka sa 72 kg/stan, a zatim mali Luksemburg sa 60 kg/stan, vrlo industrijaliziran i s velikim prometom. Nekoliko daljnjih najvećih zagađivača ovim oksidima navedeno je kako sljedi:

DR Njemačka	58 kg/stan
Danska	57 kg/stan
Finska	51 kg/stan
SR Njemačka	48 kg/stan
Island	41 kg/stan
Belgija	39 kg/stan
Švedska	35 kg/stan
Švicarska	34 kg/stan
Nizozemska i Norveška	33 kg/stan
Portugal	32 kg/stan
Francuska	31 kg/stan
V. Britanija	30 kg/stan
Austrija	29 kg/stan

ÖZE, god. 43 (1990), br. 7

Mrk.

VIŠE STRUJE BEZ UGLJIK-DIOKSIDA U SR NJEMAČKOJ

Elektrane u nekadašnjoj SR Njemačkoj proizvele su 1989. godine 45% ukupne proizvedene električne energije bez emisije ugljik-dioksida, tj. 166 TWh od 377, TWh. Udio proizvedene električne energije bez ugljik-dioksida udvostručuje se u odnosu na godinu 1980, kad je iznosio samo 21%. Udjeli su se povećali kako sljedi:

Godina	Proizvodnja	Udio bez CO ₂
1980.	298 TWh	21%
1985	345 TWh	40%
1989.	377 TWh	45%

Treba primijetiti da je u 1989. od ukupne proizvodnje 17 TWh dolazilo iz hidroelektrana, a 149 TWh iz nuklearnih elektrana. Takva je proizvodnja, prema procjeni VDEW, uštedjela Njemačkoj emisiju od 160 tona CO₂. To odgovara po prilici emisiji sviju kućanstava i malih potošača. Javne su elektrane izbacile 1989. 7% manje CO₂ nego 1980, premda je proizvodnja povećana za 27%.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 7

Mrk.

IZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZMEĐU ZEMALJA EZ

Izmjena električne energije između zemalja EZ povećana je 1989. prema prethodnoj godini za 8%, tj. od 189 TWh na 203 TWh. Najveći uvoznik struje bila je Francuska sa 51,3 TWh (1988. g. 44,7 TWh), koja je iste godine uvezla 9,3 TWh (1988. g. 7,7 TWh). Najveći uvoz struje imala je Italija sa 34,5 TWh, a to je 16,9% njezine proizvodnje. U SR Njemačkoj, koja razmjenjuje električnu energiju također s Austrijom i Švicarskom izvoz i uvoz se poprilično izjednačuju. U prošloj 1988. godini bio je uvoz nešto veći i to za 0,4 TWh.

Elektrizitätswirtschaft, god. 89 (1990), br. 16/17

Mrk.

EZ TRAŽI NOVU ENERGETSKO-POLITIČKU KONCEPCIJU

Sredinom srpnja 1990. sastali su se u Rimu nadležni ministri EZ da se posavjetuju o novoj energetsko-političkoj koncepciji za sljedeće godine. Jedan od dokumenata za diskusi-

ju koji je podnijela talijanska vlada, predlaže, između ostalog, gradnju novih nuklearki. U dokumentu se smatra da je to nužno s obzirom na ekologiju i sigurnost opskrbe električnom energijom.

Elektrizitätswirtschaft, god. 89 (1990), br. 16/17

Mrk.

ENERGETSKE POTEŠKOĆE U ITALIJI

Italija je u položaju da bira između povećanja ovisnosti o uvozu električne energije ili racionalizacije njezine potrošnje. Iako zemlja eksperimentira sa solarnim elektranama i onima na vjetar, problem mogu riješiti samo nove termoelektrane na ugljen ili plin. Glavna je, međutim, poteškoća u pomanjkanju investicija i nemogućnosti gradnje elektrana. Talijansku elektroprivredu više ne može zadovoljiti potražnja iz vlastitih izvora, pa je upućena na uvoz energije. Danas uvoz iznosi 15% ukupne potražnje.

Nacionalno elektroprivredno poduzeće ENEL ne može više udovoljiti svom zadatku u dobavi potrebnih količina električne energije. Već se razmišlja o denacionalizaciji proizvodnje struje.

Pomanjkanje električne energije moglo bi izazvati usporenje industrijske proizvodnje, koja je upravo u toku oporavka.

S obzirom na navedene poteškoće i godišnji porast potrošnje od 4%, parlament je zatražio što brže odobrenje energetskog plana zemlje.

RGE, god. 1990. br. 5

Mrk.

OPREMA ZA HIDROELEKTRANU U ALBANIJI

Francuska grupa Cegelec upravo je potpisala s albanskom tvrtkom Teknoimport ugovor o dobavi elektromehaničke opreme za hidroelektranu Bunja, koja se nalazi u središtu Albanije. Vrijednost ugovora je 163 milijuna francuskih franka. Posao je dobiven u velikom natječaju u kojem su sudjelovale tvrtke iz Austrije, Njemačke i Italije.

Grupa dobavljača ujedinjuje tvrtka Cegelec koja dobavlja električnu i upravljačku opremu, a sudjeluju Neyrpic, dobavljač turbina i hidromehaničkog dijela te Alsthom-Jeu-mont kao dobavljač generatora. Montažu će obaviti albanski stručnjaci uz kontrolu stručnjaka dobavljača. Prema predviđanjima, elektrana bi ušla u pogon 1993.

RGE, god. 1990, br. 6

Mrk.

FRANCUZI GRADE DISPEČERSKE UREĐAJE U GRČKOJ

Francuska tvrtka Cegelec (grupa CGE) potpisala je ugovor s grčkim nacionalnim elektroprivrednim poduzećem PPC (Public Power Corporation) o studiju, dobavi i ugradnji grčkog nacionalnog dispečerskog sistema i regionalnih sistema Atene i Soluna. Sistem bi služio za mjerenja i nadzor električne mreže čime bi se povećala kvaliteta dobave.

Grčki dispečerski sistem imat će tri centra za vođenje i stotinjak elektroničkih računskih uređaja raspodijeljenih po transformatorskim stanicama u mreži. Grčka će industrija sudjelovati u cijelom poslu u visini od 35% vrijednosti ugo-

vora, a dobivat će elektroničke uređaje prema francuskoj licenci.

Ulazak u pogon uređaja predviđa se 1993. godine.

RGE, god. 1990.

Mrk.

RUMUNJSKA GRADI NUKLEARNU ELEKTRANU

Suočena s velikim pomanjkanjem električne energije, Rumunjska ubrzava gradnju imponantne nuklearne elektrane, prve u zemlji. Ona se gradi na Dunavu kod mjesta Cernavoda, 150 km istočno od Bukurešta. Imat će dva reaktorska bloka svaki po 660 MW. Njihova će proizvodnja predstavljati 15% današnje proizvodnje u zemlji. Projekti i tehnologija dolaze iz Kanade. Rumunjska je uz Poljsku jedina zemlja istočne Evrope koja još nema u pogonu ni jednu nuklearnu elektranu.

RGE, god. 1990, br. 8

Mrk.

DANAŠNJE CIJENE VJETRO I SOLARNIH ELEKTRANA

Vjetroelektrane i solarne elektrane sve se više grade kao izvori čiste i obnovljive energije. Glavna zapreka za njihovu veću primjenu jest njihova cijena. Ipak se može reći da je struja iz vjetroelektrana već ekonomična alternativa, a struja od sunčane energije stvar budućnosti, odnosno daljnjeg razvoja.

Cijena instalirane vjetroelektrane snage 200 kW (prema njemačkim podacima) iznosi:

Cijena u tvornici, transport i montaža	400 000 DEM	84%
Projektiranje i dozvole	20 000 DEM	4%
Zgrada	6 000 DEM	1%
Temelji	30 000 DEM	6%
Uređaj za priključak na mrežu	24 000 DEM	5%
Cijena nuklearne elektrane	480 000 DEM	100%

Općenito se može reći da, već prema mjesnim prilikama i mogućnosti priključka na mrežu, svi ostali troškovi u vezi s vjetroelektranama mogu iznositi 20 do 35% cijene postrojenja u tvornici. Treba, međutim, primijetiti da je na spomenuti način moguće dati cijene jedinica manje snage do nekih 400 kW, koje se danas već proizvode serijski. Sasvim je drugačije s pitanjem cijena gradnje velikih postrojenja magnetne snage. Takvi su uređaji pojedinačno konstruirani kao ispitni u okviru nekog razvojnog programa. Troškovi su veliki i redovno se ne mogu razlučiti od razvojnih troškova. Prema tome, u takvim slučajevima nema smisla računati proizvodne troškove. No danas još nema čvrstih podataka o troškovima pogona i održavanja koji bi bili temeljni na dugogodišnjim iskustvima. Postoje vrlo uredni i upotrebljivi podaci iz Danske i Kalifornije, ali samo za posljednjih 8 godina. Prema tome se može zaključiti da godišnji troškovi pogona i održavanja mogu iznositi 1 do 2% investicijskih troškova.

Fotovoltaičke ćelije su pak, gledajući ih kao izvore većih količina električne energije za napajanje elektroenergetskih sistema, tek u početku razvoja. Prema tome, govoriti o cijeni energije iz takvih izvora još je preuranjeno. Ono što se može danas utvrditi to jest trenutno stanje razvoja koji je tek započeo.

Osnova solarnih postrojenja su fotovoltaičke ćelije koje daju istosmjerni napon od 0,5 V. Spajanjem ćelija serijski i paralelno dobivaju se moduli napona 15 V i snage 50 W, a njihovim povezivanjem nastaju jači izvori električne energije nazvani solarni generatori. No uz fotovoltaičke ćelije važan sastavni dio solarnog postrojenja jest presmjerivački uređaj koji istosmjernu struju presmjeruje u trofaznu za korištenje u javnoj mreži. Unatoč visokoj cijeni fotovoltaičkih ćelija ona iznosi tek 61% ukupne cijene solarnog postrojenja. Raspodjela troškova postrojenja dobro se vidi iz specifikacije dane za fotovoltaičku elektranu vršne snage 100 kW.

Projektiranje	100 000 DEM	6%
Solarni moduli	1 100 000 DEM	61%
Temelji i nosači	250 000 DEM	14%
Presmjerivački uređaj	150 000 DEM	8%
Priprema zemljišta	50 000 DEM	3%
Montaža	150 000 DEM	8%

1 800 000 DEM 100%

Troškovi održavanja procjenjuju se sa 0,5% investicijskih troškova. Cijena proizvedenog kWh, za područje srednje Evrope iznosila bi, ovisno o vremenu amortizacije, kako slijedi:

amortizacija u 10 g.	2,81 DEM/kWh
amortizacija u 20 g.	1,97 DEM/kWh
amortizacija u 30 g.	1,74 DEM/kWh

Treba spomenuti da pri malim postrojenjima, vršne snage 1 do 5 kW, troškovi za presmjerivački uređaj čine znatno veći udio u ukupnim troškovima, ali i cijena proizvedene energije raste. Prema tome, u daljem toku razvoja nije samo važno sniziti cijenu ćelije, već i ostalih dijelova uređaja, osobito onih za vezu s mrežom.

Energie, god. 42 (1990), br. 7

Mrk.

DVIJE NOVE VELIKE NUKLEARNE ELEKTRANE U VELIKOJ BRITANIJI

British Nuclear Fuels (BNFL) namjerava u sjeveroistočnom dijelu Velike Britanije izgraditi dvije velike nuklearne elektrane i jednu plinsku elektranu. U toku je ugovaranje s dobavljačem, francuskom tvrtkom Framatome. Električna energija proizvedena u ovim elektranama imat će nižu cijenu od energije koju daju Central Electricity Generating Board (CEGB). Za predviđenu lokaciju dobivena su potrebna odobranja.

S druge strane, BNFL planira gradnju postrojenja za obogaćivanje goriva u SAD, u suradnji sa sličnim poduzećima iz Nizozemske i Njemačke.

RGE, god. (1990), br. 5

Mrk.

STUDIJE VODOVA ULTRAVISOKOG NAPONA U SSSR-u

Kao što je već u ovoj rubrici objavljeno (Energija god. 36 (1987), br. 3 i god. 39 (1990), br. 2), u Sovjetskom je Savezu 1985. stavljen pod nazivni napon prvi vod 1200 kV u svijetu. Bio je to 500 km dugi odsječak Ekibastuz-Kokčetau, dionica buduće veze Bernaul-Ural.

Prve dvije godine bilo je različitih tehničkih poteškoća pa je vod bio u pogonu samo sa 30% vremena. Uspješan rad usli-

jedio je tek u jesen 1987, kad su riješene mnoge smetnje. Tijekom pogona proveden je velik niz ispitivanja i mjerenja pa je između ostalog utvrđeno da bi izvedena izolacija voda mogla podnijeti pogonske napone i 1 400 do 1 500 kV. Napon viši od 1 200 kV bolje bi se uklopio kao superponirani napon mreži 750 kV. No na ovom se naponskom nivou u SSSR-u nije stalo, jer veliko prostranstvo zemlje i koncentracija izvora traže daleke prijenose velikih snaga. Da se ozbiljno radi na studijama napona viših od 1 200 kV, najbolje pokazuje članak o ultravisokim naponskim vodovima koji je objavljen u sovjetskom časopisu Električestvo (br. 6, 1990). Studije su rađene za naponske nivoe u skokovima za 1 200, 1 500, 1 800, 2 200 i 2 500 kV, kako bi se u ovom naponskom rasponu utvrdio najekonomičniji prijenosni vod. Treba, međutim, naglasiti da se studije odnose samo na vodove bez obzira na transformatorske stanice. Kako su pak daleko uznapredovala rješenja i mogućnosti izvedivosti stanica promatranog naponskog nivoa, u članku nije rečeno ništa.

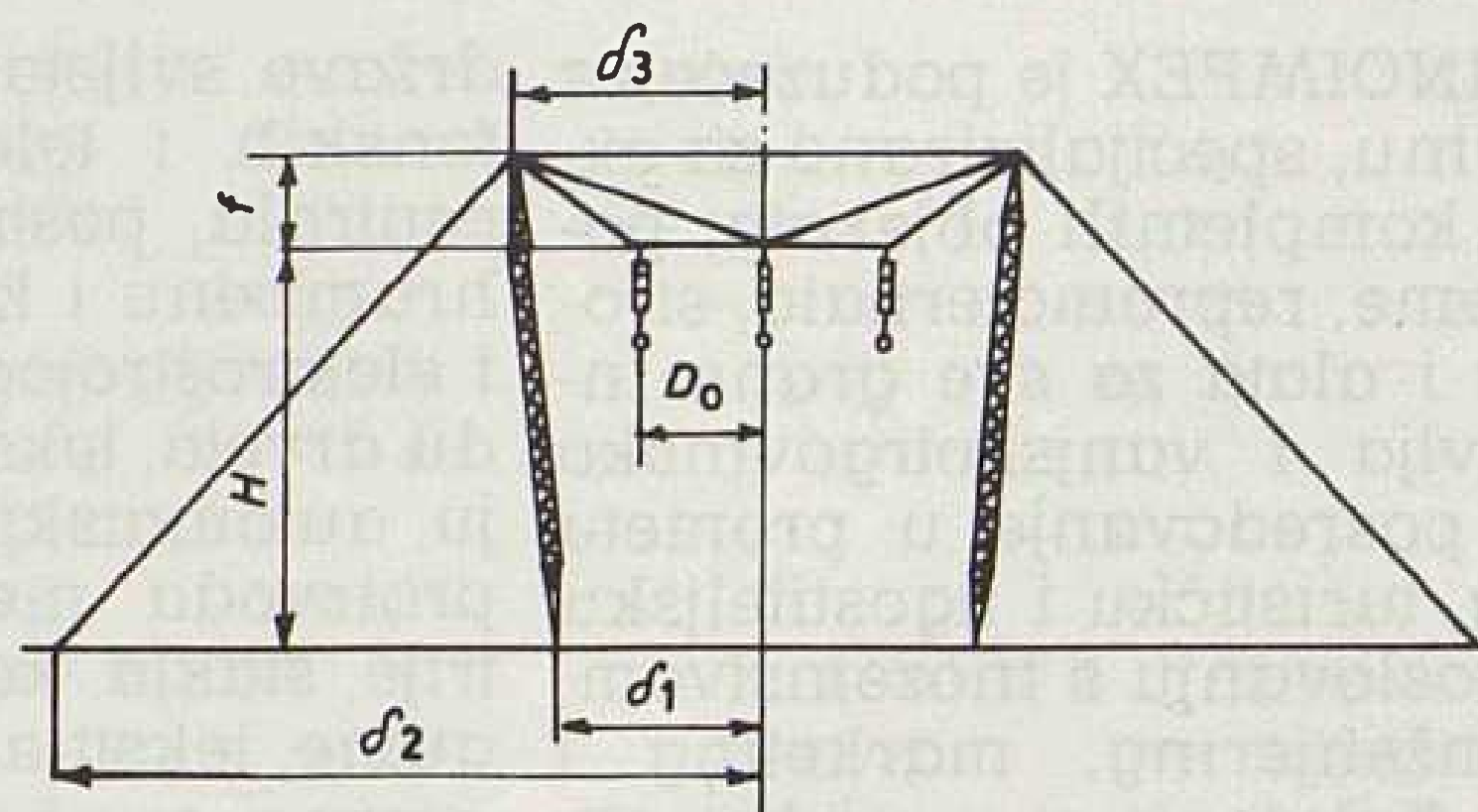
Osim za različite napone, troškovi voda računati su za dva tipa trasa, za različite tipove snopova vodiča, kao i za različite prijenosne snage.

U tablici 1. dane su neke osnovne karakteristike vodova s kojima se ušlo u kalkulacije. U tablicu nisu uneseni svi promatrani snopovi vodiča, već samo po dva karakteristična, da se vide odnosi. S tim u vezi navedene su i odgovarajuće prirodne snage. Užeta u snopu su sovjetsko standardnog tipa AS 300/39 i nešto AS 400/51.

Tablica 1.

	Maksimalni pogonski napon kV									
	1 200		1 500		1 800		2 200		2 500	
Rač. prenapon p.n.	1,8		1,5		1,45		1,4		1,3	
Duljina izol. lanca m	10,7		13,0		15,5		18,7		21,2	
Razmak faza m	15		17		20		24		40	
Broj užeta u snopu	10	16	13	20	22	16	18	22	20	24
Radius faze m	0,5	1,3	0,7	1,7	0,8	1,6	0,9	1,4	1,0	2,5
Prirodna snaga GW	6	10	10	15	15	20	21	27	25	30

Broj užeta u snopovima vodiča vrlo široko varira, pa je za napone 1 200, 1 800, 2 200 kV uzeto maksimalno 32, 26 i 22 užeta. Time su dobiveni za pojedine napone i veliki naponi prirodne snage. Tako je za 1 200 kV raspon prirodne snage 6 do 20 GW, za 1 500 kV 25 do 35 GW. Prema tome, npr. prijenosna snaga od 20 GW može biti realizirana na naponu 1 200, 1 500 i 1 800 kV, pri broju užeta u snopu od 32, 26 i 22. Visina faza nad zemljom određena je tako da električno polje 1,8 m iznad zemlje ne prelazi 15 kV/m. Za napone 1 200 kV do zaključno 2 200 kV predviđen je nosivi stup sa zategama prema sl. 1. Njegove glavne dimenzije, za pojedine promatrane napone, navedene su u tablici 2.

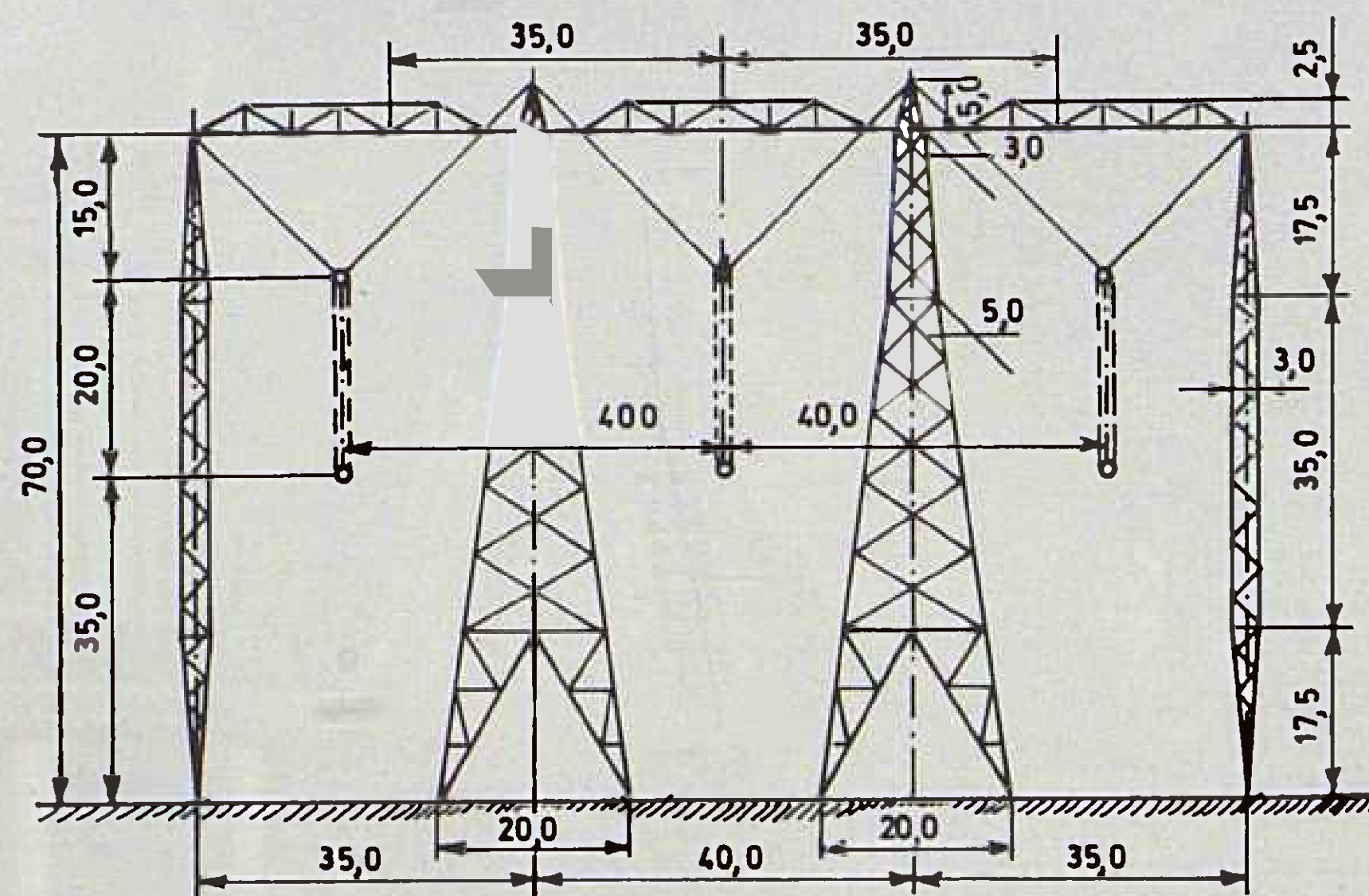


Slika 1.

Tablica 2.

Dimenzije m	Maksimalni pogonski napon kv			
	1 200	1 500	1 800	2 200
b ₁	24,7	29,0	33,3	48,7
b ₂	84,0	94,0	98,0	127,9
b ₃	30,0	34,5	39,0	53,0
H	47,5	48,5	55,2	59,2
f	10,4	10,9	10,2	10,2
raspon	540	470	475	530

Stup ima dva zaštitna užeta standardnog tipa AS 70/72. Za najviši promatrani napon 2 500 kV uzeta je posebna konstrukcija nosnog stupa prema sl. 2. Dimenzije su označene na slici.



Slika 2.

Kao rezultat čitave studije proizašla je procjena ekonomičnosti pojedinih vrijednosti prijenosa. Osnovni je kriterij bio troškovi prijenosa 1 GW po km. Prema navedenom se kriteriju pokazalo da prijenos električne energije na naponu 1 200 kV nije najekonomičniji, već se optimum dobiva pri prijenosnom naponu od 1 800 kV, jer su troškovi 25% niži. U zaključku se dodaje da bi troškovi stanica mogli izmijeniti ovu konstataciju, no kako se na ovim naponskim nivoima redovno radi o velikim daljinama prijenosa, utjecaj cijene voda vrlo je značajan. Prema tome, kao sljedeći naponski nivo u SSSR-u preporučuje se 1 800 do 2 000 kV.

Mrk.



MAŠINOIMPEX

Poduzeće za vanjsku trgovinu
41000 Zagreb, Varšavska 9

Phone 041/457-111
Fax 041/424-090, 426-269
Telex 21177, 21254 MAEX YU

ASTRA MAŠINOIMPEX je poduzeće za vanjsku trgovinu, specijalizirano za export i import kompletnih objekata, postrojenja, opreme, repromaterijala, strova, dijelova i alata za sve grane industrije; obavlja i vanjskotrgovinsko zastupanje i posredovanje u prometu robljem i uslugama, turističku i ugostiteljsku djelatnost u poslovanju s inozemstvom, financijski inženjering, marketing i konzultersku djelatnost u vanjskotrgovinskom poslovanju.

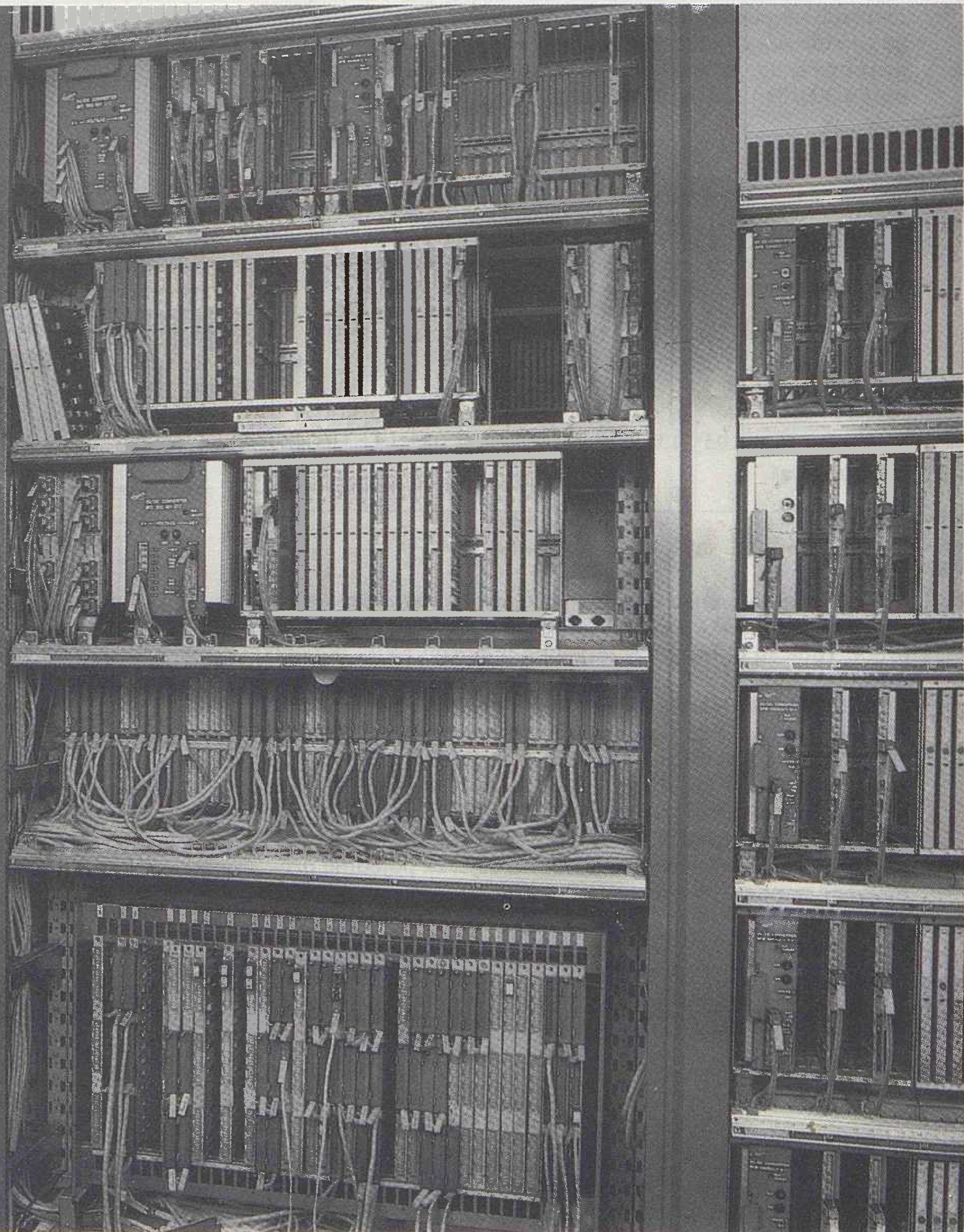
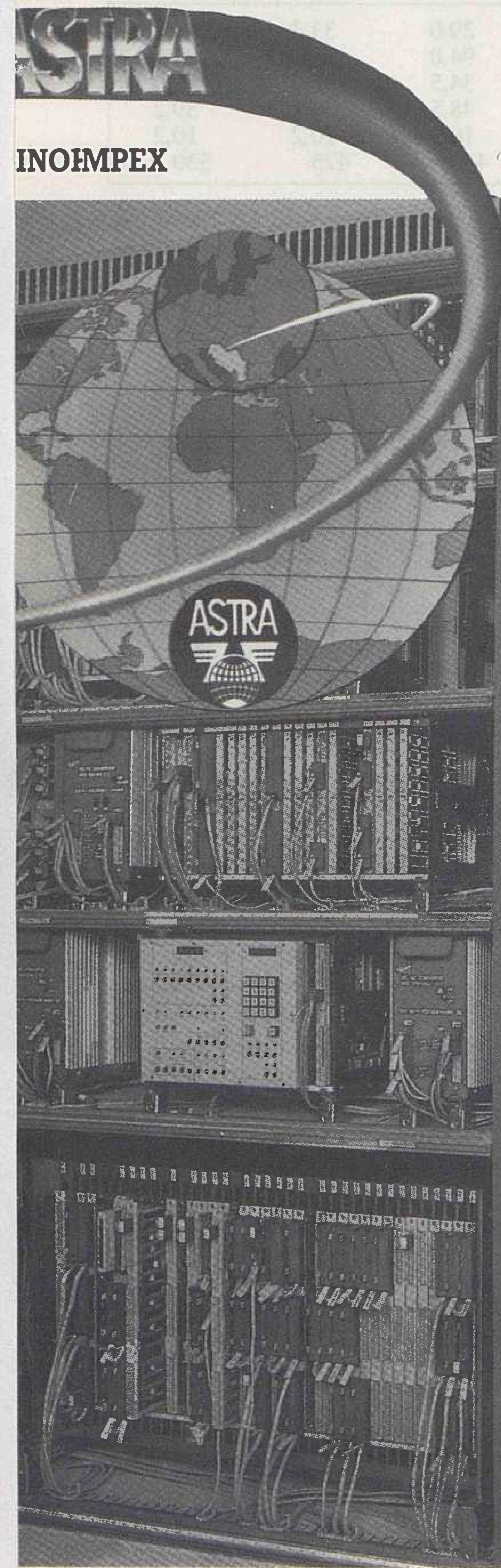
U slučaju nedostatka prostora nemoguće je nabrojiti sve važnije izvozne reference ASTRA MAŠINOIMPEXA u mnoge

države svijeta: plasman domaćih telefonskih i telegrafskih međugradskih centrala, postrojenja i opreme za prehrambenu i kemijsku industriju, strojeve i elektrostrojogradnje, strojeva za obradu drveta, tekstilnu i kožarsku industriju, automatskih alatnih strojeva i alata, proizvoda metaloprerađivačke industrije, stakla, keramike, porculana, kože, gume, tekstila i druge robe.

ASTRA MAŠINOIMPEX istodobno ima i značajnu ulogu u uvozu postrojenja, moderne opreme i repromaterijala potrebnog domaćoj proizvodnji. Našim posredstvom u Jugoslaviji su izgrađeni i modernizirani mnogi privredni objekti: rafinerije i petrokemijska postrojenja, kemijske i tekstilne tvornice, postrojenja za dobivanje i preradu obojenih metala, tvornice papira, stakla, za preradu plastičnih masa, oprema za željeznička transportna poduzeća, poštanske telefonsko telegrafске organizacije i

radioteleviziju, oprema za energetske objekte itd.

Osnovna značajka poslovnog programa ASTRA MAŠINOIMPEXA sastoji se od suradnje u različitim modalitetima čvrstog partnerstva s brojnim domaćim izvoznim i uvoznim poduzećima i tradicijski orijentiranim proizvođačima i tradicionalnoj povezanosti kroz privrednu suradnju s uglednim inozemnim partnerima. U našem poslovanju posebnu pozornost usmjerujemo na složenije i višestruke oblike privredne suradnje: kooperaciju, zajedničko osnivanje poduzeća i osnivanje pojedinih kapitalnih dioničarskih i mješovitih društava za izgradnju infrastrukturnih objekata i tvornica i proizvodnje atraktivnih proizvoda po najsvremenijim svjetskim tehnologijama. Našim ulogama u osnivanju mješovitih društava sastoji se u povezivanju stranih i domaćih ulagača-osnivača na temelju osmišljenih poslovnih programa, te realizacija svih vanjskotrgovinskih i izvoznih i uvoznih zadataka.



SA ASTRA MAŠINOIMPEXOM NA INOZEMNOM TRŽIŠTU POSTIŽETE CILJ U SVAKOJ TRŽIŠNOJ KOMBINACIJI

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 40 (1991)

Zagreb 1991

Br. 2

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

Ministarstvo znanosti, tehnologije i
informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Dr. Niko *Malbaša*, Institut za elektroprivredu, Zagreb — Josip *Antić*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Distribucija Rijeka — Anđelko *Modrčin*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Rijeka — Anđelko *Dujmović*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Osijek — mr. Damir *Subašić*, dipl. inž., Ministarstvo energetike — 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.

Redakcija završena 1991 — 2 — 18

SADRŽAJ

<i>Fuštar S.</i> : Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata elektroenergetskog sustava (Originalni znanstveni rad)	65
<i>Drezga I.</i> : Kratkoročno optimiranje rada višenamjenskog hidroenergetskog sustava sliva (Originalni znanstveni rad)	77
<i>Muftić Dž.</i> : Prilog razvoju novih postupaka optimizacije u projektiranju dalekovoda (Originalni znanstveni rad)	87
<i>Jerković G.</i> — <i>Ravlić V.</i> : Kratkospojna opterećenja komponenti postrojenja pri spojevima užeatom (Prethodno priopćenje)	105
<i>Nikolovski S.</i> : Pokazatelji pouzdanosti višestrukih nadzemnih vodova (Stručni rad)	109
Vijesti iz elektroprivrede	113
Iz strane stručne literature	117
Oglasi	123

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)

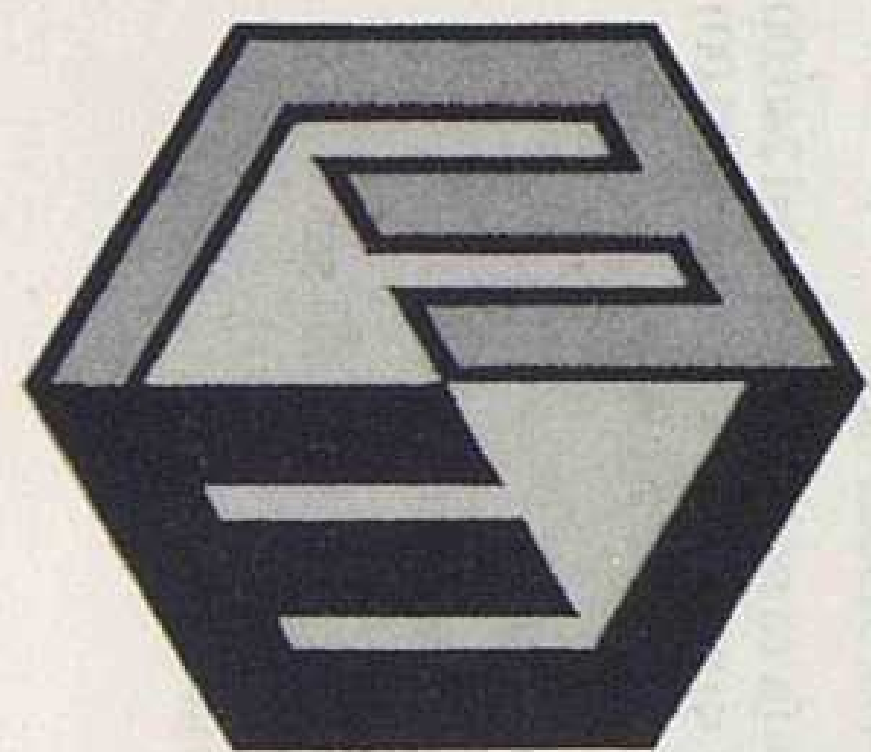
Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 240,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 600,00 dinara (za studente 120,00) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 90,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

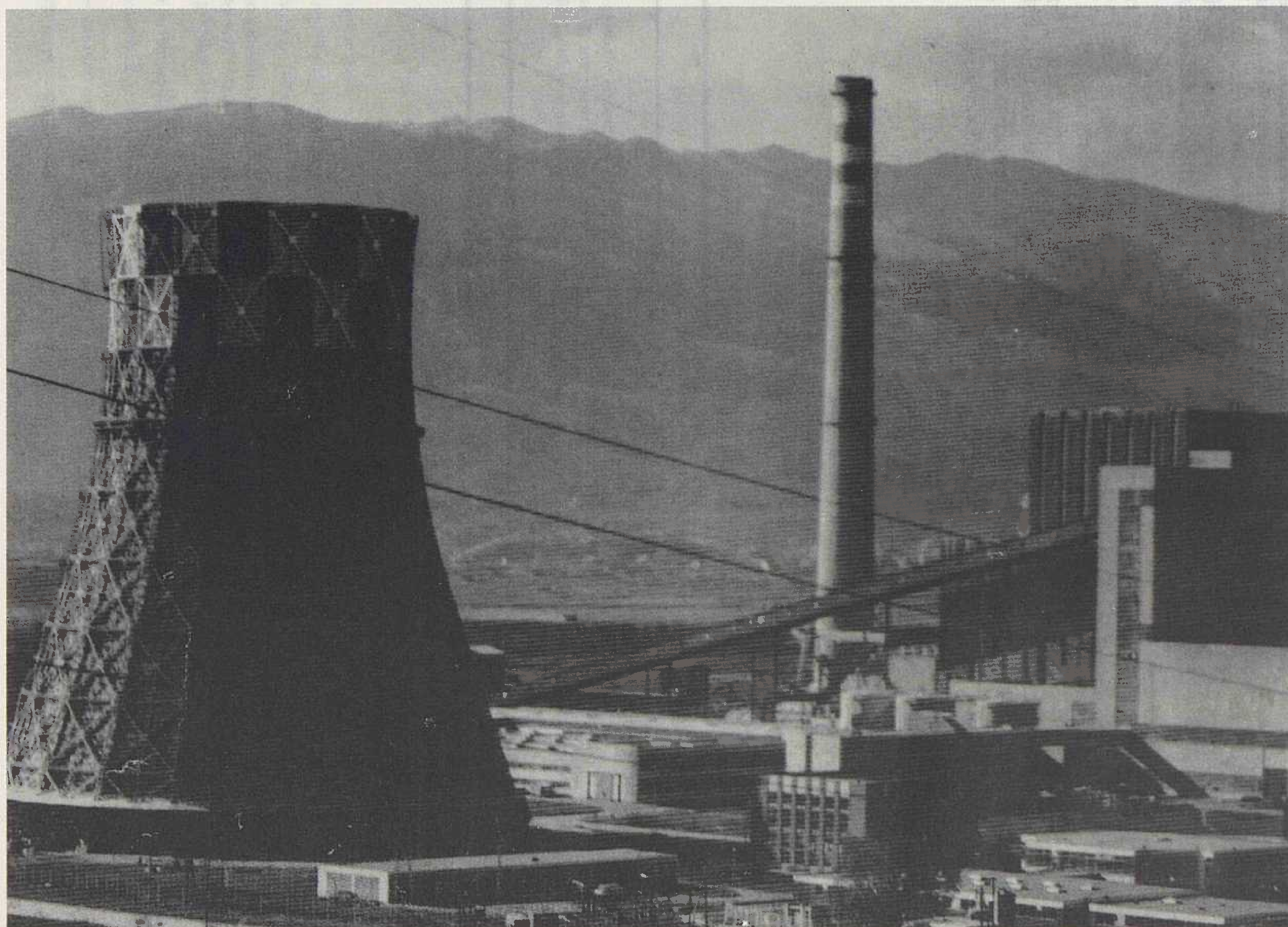
Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

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



MONTING ENERGETIKA ZAGREB



**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

TE »GACKO« – Gacko: Kompletna montaža bloka 1 instalirane snage 1 × 300 mW, 1982. godine.
Rekonstrukcija kotla kapaciteta 990 t/h pare i kapitalni remont turbogeneratorskog bloka 300 MW, 1989. godine.

EKSPERTNI SUSTAV ZA ODREĐIVANJE RASPOREDA REMONTA AGREGATA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Dr. Stipe Fuštar, Split

UDK 621.311.22:681.3

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U ovom radu opisan je ekspertni sustav za planiranje rasporeda remonta agregata, kao i za praćenje realizacije plana. Znanje u području planiranja remonta formalno je predstavljeno u bazi znanja ekspertnog sustava u koji je integrirana i jedna algoritamska metoda. Ekspertni sustav je napisan u jeziku OPS-83 i realiziran na računalu DEC MicroVAX II. Predloženi ekspertni sustav je testiran na primjerima IEEE RTS-sustava.

Cljučne riječi: ekspertni sustav, remont agregata.

1. UVOD

Primjena računala u posljednjih dvadesetak godina pri vođenju i planiranju rada elektroenergetskog sustava umnogome je poboljšala kvalitetu i sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom. Usprkos tome niz problema još uvijek predstavlja izazov za sve stručnjake koji rade na razvoju novih kompjutorskih aplikacija u području planiranja rada EES-a. Tome je pridonijela i afirmacija novih metodologija kao što su umjetna inteligencija a posebno ekspertni sustavi kao jedna od njezinih tehnika.

U posljednjih nekoliko godina publicirano je niz radova iz područja primjene tehnike ekspertnih sustava u elektroenergetici. U radu [4] dane su osnove tehnike ekspertnih sustava, a komentirane su i karakteristike dosadašnjeg razvoja ekspertnih sustava s naglaskom na primjenu u području elektroenergetike. Uočeno je da su mnogi problemi iz domene vođenja i planiranja rada elektroenergetskog sustava upravo idealni za primjenu tehnike ekspertnih sustava. Pritom se ekspertni sustav definira kao »inteligentni kompjutorski program koji koristi znanje i mehanizam zaključivanja za rješavanje problema koji su dovoljno složeni da je za njihovo rješavanje nužna značajna stručna ekspertiza«.

Osnovne komponente svakoga ekspertnog sustava jesu (1) baza znanja, (2) mehanizam zaključivanja, (3) radna memorija i (4) korisničko sučelje (interface). Baza znanja je osnova svakog ekspertnog sustava i sastoji se od činjenica i tzv. heuristika, tj. iskustvena spoznaja ili spoznaja i pravila vrhunskih stručnjaka. Najpopularniji je način organiziranja baze znanja putem tzv. proizvodnih pravila. Mehanizam zaključivanja predstavlja algoritam koji upravlja postupkom rezoniranja. On je odgovoran za pretraživanje baze znanja da bi se došlo do zaključka odnosno akcije. Radna memorija čini bazu podataka i sadrži sve potrebne informacije o fizičkom sustavu koji se obra-

đuje. Korisničko sučelje omogućava udobnu komunikaciju korisnika i ekspertnog sustava.

Jedan od problema koji ima veoma važno mjesto pri planiranju rada elektroenergetskog sustava jest određivanje rasporeda remonta agregata u elektranima. To je i razumljivo jer se remontom agregat planirano stavlja izvan pogona, a to znatno utječe na gotovo sve energetske i ekonomske pokazatelje rada elektroenergetskog sustava.

Sve dosad objavljene metode za rješavanje problema planiranja remonta agregata uglavnom su realizirane u tzv. algoritamskom pristupu [5, 6, 7]. Nedostatak svih tih metoda proizlazi iz činjenice da u području planiranja remonta agregata postoji niz situacija koje je na takav način, koristeći proceduralne jezike kao što je FORTRAN, gotovo nemoguće uključiti u razmatranje. Zbog toga se u posljednje vrijeme za rješavanje problema određivanja rasporeda remonta agregata koristi tehnika ekspertnih sustava [2, 3, 8]. Tako je u radu [8] razvijen ekspertni sustav koji se koristi u tzv. okvirima za predstavljanje znanja, uz funkciju cilja koja ujednačava rezervu odnosno sigurnost rada u razdoblju razmatranja. Metoda uzima u obzir niz praktičnih ograničenja koja se u realnosti i događaju. Nedostatak ove metode proizlazi iz činjenice da se probabilistički pokazatelji sigurnosti rada kao što su vjerojatnost neisporučene snage (LOLP), vjerojatnost neisporučene energije (EUE), a ni troškovi goriva ne uzimaju u obzir. Nadalje, metoda nije u stanju analizirati interkonekciju, hidroagregate, troškove remonta, zahtjeve za određenim nivoom sigurnosti itd.

U stvarnom životu događaju se različiti neočekivani događaji zbog kojih je često nužno korigirati godišnji plan remonta agregata. Pritom se, kao i pri godišnjem planiranju, pojavljuju nepravilno strukturirana ograničenja i situacije koje je vrlo teško, a često i nemoguće uzeti u obzir u tzv. algoritmičkom pristupu. Takve su npr. situacije pri određivanju početka remonta hidroagregata, problemi s prijenosnom mre-

žom, problemi interkonekcije, problemi održavanja određenog nivoa sigurnosti opskrbe potrošača itd. Sve takve i slične situacije i ograničenja predstavlja ju zapravo i simboličke informacije čijom se obradom mogu izvesti određeni zaključci, odnosno može se riješiti problem. Budući da se radi o određenom manipuliranju simboličkim informacijama, kao način rješavanja problema nameće se tehnika ekspertnih sustava kao jedna novovalna softverska metodologija koja je i razvijena poglavito za analizu simboličkih informacija. S obzirom na činjenicu da su pri planiranju remonta nužni i brojni numerički proračuni, ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a organiziran je tako da se iskoristi metoda opisana u [1]. Metoda je vrlo fleksibilna jer je moguće koristiti nekoliko funkcija cilja, kao što su: maksimiziranje sigurnosti opskrbe potrošača, minimiziranje troškova remonta i minimiziranje troškova goriva. Optimiranje navedenih funkcija cilja, uz metodu kumulanata i ograničenja u linearnom obliku, realizirano je u programu OPMAIN koji je napisan u fortranu. Budući da su u programu OPMAIN prisutni brojni numerički proračuni, programiranje metode u školjci ili jeziku za ekspertne sustave ne bi bilo efikasno.

Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a može se koristiti za godišnja planiranja remonta, kao i za praćenje realizacije tekućeg rasporeda remonta, odnosno za nužne korekcije plana.

Metodologija ekspertnih sustava omogućila je da se brojna ograničenja i situacije koje se javljaju pri planiranju i u relanom životu uzmu u obzir, što je kod algoritmičkog pristupa bilo praktički nemoguće. Pošto je specificirano znanje u području određivanja rasporeda remonta agregata u EES-u nizom heurističkih postupaka, slijedi opis strukture ekspertnog sustava. Na kraju je ekspertni sustav testiran na primjeru IEEE RTS sustava za različite scenarije.

2. BAZA ZNANJA

Znanje u području određivanja rasporeda remonta agregata u EES-u izraženo je nizom heuristika kao što su: heuristike mreže, heuristike interkonekcije, heuristike proizvodnje, heuristike hidroagregata, heuristike remonta. Sve navedene heuristike su u nastavku detaljno opisane i eksplicitno prezentirane.

2.1. Heuristike mreže

Ako se u mreži dogodi ispad jednog ili više dalekovoda, nužno je provjeriti utjecaj takvog događaja na sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom. Očito je da ispad svakog dalekovoda ne utječe u jednakoj mjeri na sigurnost opskrbe potrošača. Budući da se kao kriterij sigurnosti opskrbe pri planiranju remonta agregata uzima određena vrijednost LOLP-a, EUE-a ili pak rezerve, u analizu se uzimaju poglavito dalekovodi koji su neposredno spojeni ili sa EES-om u interkonekciji ili s nekim od agregata. Na-

ime, njihovim ispadom se, vrlo vjerojatno, smanjuje mogućnost prijenosa snage iz susjednih sustava, odnosno iz elektranama EES-a, što može imati kao posljedicu i smanjenje sigurnosti opskrbe potrošača. Pritom treba imati na umu da se parametri sigurnosti određuju na temelju proračuna u kojem je tjedan osnovno vremensko razdoblje. Na temelju rečenog samo ispadi relativno dužeg trajanja ili pak remont nekog od dalekovoda može utjecati na sigurnost opskrbe potrošača u EES-u sa stajališta planiranja odnosno korekcije rasporeda remonta agregata.

- a) Ako se dogodi ispad dalekovoda koji su direktno povezani s elektranama EES-a ili sa susjednim EES-om i ako je ispad takve prirode da je sigurnost opskrbe potrošača u EES-u pala ispod određene veličine, tada je nužno razmotriti korekciju tekućeg rasporeda remonta agregata.

2.2. Heuristike interkonekcije

Svaki elektroenergetski sustav je povezan redovito s nekoliko susjednih sustava. Međusobne razmjene snage i energije redovna su pojava, a regulirane su specijalnim ugovorima. Pritom su mogući različiti neočekivani scenariji. Naprimjer, ugovoreni iznos opskrbe snagom i energijom iz susjednog EES-a može izostati ili se znatno reducirati zbog niza razloga. Jedan od njih je naveden u odjeljku o heuristikama mreže, a odnosi se na mogući ispad magistralnih poveznih dalekovoda. Sljedeći mogući razlozi su npr. loša hidrološka situacija, poteškoće u opskrbi gorivom, nepredviđeno povećanje potrošnje (npr. zbog velike hladnoće), ispadi agregata, neplanirano produženo trajanje remonta agregata itd.

S druge pak strane, ako je u vlastitom EES-u došlo do toga da se sigurnost opskrbe potrošača u EES-u spustila ispod kritične vrijednosti usprkos korekciji rasporeda remonta agregata, potrebno je poduzeti daljnje korake. Ako se snaga i energija isporučuje drugim sustavima, prvi je korak reducirati ili pak smanjiti na nulu iznos snage i energije koja se isporučuje. Kao sljedeći korak uzima se mogućnost da se u skladu s ugovorima ili dogovorom od susjednih sustava osigura određeni iznos snage i energije.

Ako se usprkos svim poduzetim mjerama sigurnost opskrbe potrošača nije bitno popravila, pa je još uvijek ispod kritične vrijednosti, kao sljedeći korak je ponekad moguće zahtijevati remont tzv. specijalnih potrošača čiji je status reguliran posebnim ugovorima. Ako ni te mjere nisu dale rezultata, tada je nužno da EES radi sa smanjenom sigurnosti opskrbe potrošača. Pritom najčešće dolazi do nepopularnih redukcija. Plan redukcija se donosi na temelju prioriteta svih grupa potrošača.

- a) Izostane li ugovorena opskrba snagom i energijom iz susjednog sustava zbog bilo kojeg razloga i nivo sigurnosti rada padne ispod određene vrijednosti, tada je nužno korigirati tekući raspored remonta agregata u elektranama EES-a.
- b) Ako je usprkos korekciji rasporeda remonta agregata vrijednost sigurnosti opskrbe potrošača i da-

lje ispod određene vrijednosti, nužno je poduzeti daljnje akcije.

- i) Ako se snaga i energija isporučuje susjednim sustavima, tada se mora reducirati iznos snage i energije koji se isporučuje. (Iznos za koji se reducira snaga i energija određuje planer. U ovoj fazi razvoja ekspertnog sustava isporuka se smanjuje na nulu.)
- ii) Ako prethodne mjere nisu dale rezultata, sljedeća je mogućnost povećanje opskrbe iz susjednih sustava za određeni iznos (u ovoj fazi razvoja ekspertnog sustava dobava se fiksira na vrijednost prijenosnih mogućnosti dalekoveoda).
- c) Ako se usprkos poduzetim mjerama ne isporučuje snaga i energija potrošačima (redukcije), potrebno je ispitati mogućnost remonta specijalnih potrošača.
- d) Ako nijedna od prethodnih mjera nije postigla cilj (određena sigurnost opskrbe potrošača), EES mora raditi sa smanjenom sigurnosti opskrbe uz sve posljedice.

2.3. Heuristike proizvodnje

Heuristike proizvodnje uzimaju u obzir niz događaja koji se pojavljuju u elektroenergetskoj praksi s aspekta proizvodnje svakog agregata. Tako npr. neočekivani ispad bilo kojeg agregata može imati kao posljedicu smanjenje sigurnosti opskrbe potrošača, te je zbog toga nužno razmotriti korekciju rasporeda remonta svih agregata koji dotad nisu bili u redovnom remontu u promatranom godini. Niz situacija koje se u stvarnom životu mogu dogoditi opisan je eksplicitno:

- a) Ako je došlo do ispada jednog od agregata i pritom je agregat ozbiljno oštećen, ponekad je nužno da se s redovnim godišnjim remontom započne odmah, iako početak remonta nije bio planiran u tom razdoblju. U tom slučaju potrebno je korigirati raspored remonta svih agregata koji do tog vremena nisu započeli redovni remont.
- b) Kada zbog bilo kojeg razloga sigurnost opskrbe potrošača u tekućem periodu padne ispod dozvoljene vrijednosti, za agregate za koje je početak remonta planiran u tom periodu postavlja se zahtjev da odgode početak remonta. Pritom je također nužno korigirati raspored remonta svih agregata za koje redovni remont do tog razdoblja nije započeo. Odgađanje početka remonta agregata odvija se u skladu s listom prioriteta koja se temelji na tehničkom stanju agregata.
- c) Ako je za jedan od agregata postavljen zahtjev da se odgodi početak redovnog remonta, a agregat se nalazi u lošem tehničkom stanju, mora odmah započeti redovni remont agregata kako bi se spriječile još veće potencijalne štete.
- d) Kada je jedan od agregata u ispadi samo nekoliko tjedana prije početka redovnog remonta, tada je nužno razmotriti početak redovnog remonta u promatranom (tekućem) periodu.

2.4. Heuristike hidroagregata

Proizvodnja hidroagregata ovisi o protoku vode i volumenu akumulacije. Osnova je svih planiranja pogona hidroelektrana da se maksimalno iskoriste raspoložive vodne snage jer se time postižu najniži ukupni troškovi EES-a. Stoga se redovito remont hidroagregata izvodi u razdobljima malih voda. U godišnjim planovima rada raspored remonta agregata planira se za razdoblja kada se očekuje najmanja moguća proizvodnja hidroagregata. Drugim riječima, remont agregata planira se u razdobljima koja imaju najveće šanse da budu optimalna sa stajališta maksimalnog iskorištenja vode. U stvarnom životu protoci vode više ili manje variraju, pa često treba korigirati godišnji plan remonta hidroagregata. Ako je promatrano razdoblje u intervalu u kojem se analizira mogućnost početka remonta promatranog hidroagregata, potrebno je pratiti vrijednosti trenutnog protoka, predviđenog protoka u bližoj budućnosti i trenutni volumen akumulacije. Pritom treba imati na umu da su sve hidroelektrane međusobno različite. Prema tome, nužno je da način razmišljanja odnosno linija rezoniranja budu specifični za svaku hidroelektranu. U nastavku je kao ilustracija dan primjer moguće linije rezoniranja za jednu tipičnu hidroelektranu s akumulacijom.

- a) Ako je tekući period jedan od perioda iz intervala kada se predviđa početak remonta promatranog hidroagregata i ako su u tom razdoblju prirodni protok, predviđeni protok i volumen akumulacije relativno niski (manji od određene karakteristične vrijednosti), tada je potrebno što prije započeti s remontom agregata. Pritom je nužno korigirati plan remonta svih agregata kojih do tog perioda remont nije počeo.
- b) Ako je tekući period iz promatranog razdoblja, a prirodni protok i predviđeni protok su relativno niski, ali je volumen akumulacije iznad određene karakteristične vrijednosti, tada se početak remonta mora odgoditi.
- c) Ako je tekući period unutar promatranog razdoblja i ako je ili prirodni protok ili predviđeni protok iznad određene karakteristične vrijednosti, početak remonta promatranog hidroagregata je potrebno odgoditi.
- d) Kada je hidroagregat u dobrom tehničkom stanju, povoljno razdoblje u kojem je moguć početak redovnog remonta može se povećati.
- e) Kada je hidroagregat u lošem tehničkom stanju, odmah treba započeti s redovnim remontom. Korekcija rasporeda remonta mora se napraviti svakiput nakon donošenja takve odluke.
- f) Ako je tekući period posljednje razdoblje iz intervala u kojem je moguć početak remonta, tada je nužno započeti što prije s remontom hidroagregata.
- g) Ako je za neki hidroagregat planirano da se s redovnim remontom uskoro otpočne, a u EES-u nedostaje vršne snage, ako je agregat u dobrom tehničkom stanju i ako može proizvesti potrebnu vršnu snagu, tada je nužno odgoditi početak remonta.

Za sve karakteristične vrijednosti za hidroagregate odgovoran je planer (korisnik). Potrebno je još jednom napomenuti da su sve karakteristične vrijednosti specifične za svaku hidroelektranu.

2.5. Heuristike remonta

Pri realizaciji određenog rasporeda remonta agregata u EES-u zbivaju se različiti neočekivani događaji, posljedica je potreba za korigiranjem tekućeg plana. Pod heuristikama remonta razumijevaju se dva događaja koja se mogu pojaviti u stvarnom životu pri realizaciji remonta nekog agregata. To su produženo trajanje redovnog remonta i prijevremeni završetak redovnog remonta nekog agregata.

- a) Ponekad je nužno produžiti remont nekog agregata jer svi planirani radovi nisu završeni. Takva situacija se pojavljuje npr. u slučaju problema s nabavom rezervnih dijelova, problema s opremom ili pak neadekvatno ekipirane posade za obavljanje remonta, odnosno nedovoljnog broja radnika, itd. Produženo trajanje remonta ima kao posljedicu promjenu sigurnosti opskrbe potrošača u tom razdoblju, pa je potrebno korigirati tekući raspored remonta agregata u EES-u.
- b) Ako se redovni remont nekog agregata završi prije nego što je očekivano, također je nužno korigirati tekući plan remonta.

2.6. Heuristike pouzdanosti

Pri planiranju rasporeda remonta agregata EES-a, ponekad se dolazi do situacije da sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava postavljene kriterije usprkos obavljenoj korekciji tekućeg plana remonta. U tom slučaju obavlja se korekcija ukupnog broja agregata koji mogu biti istovremeno u remontu u svim razdobljima gdje sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava. Potrebno je napomenuti da ukupan broj agregata koji mogu biti istovremeno u remontu predstavlja ograničenje i da se na taj način modificiraju ulazni podaci za sljedeću korekciju tekućeg plana remonta agregata.

- a) U svim razdobljima u kojima sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava postavljene kriterije ukupan broj agregata koji mogu biti istovremeno u remontu korigira se na način da se ukupan broj agregata u remontu prema zadnjoj verziji plana, u svim periodima od interesa, umanji za jedan. Cilj je, dakle, smanjiti za jedan, tj. ograničiti ukupan broj agregata u remontu u periodima od interesa jer se na taj način povećava (za jedan) broj agregata u pogonu, odnosno sigurnost opskrbe potrošača.
- b) Ako u nekom razdoblju sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava i ako prema zadnjoj verziji rasporeda remonta agregata nijedan agregat nije u remontu, tada se predlažu rješenja b) iz odjeljka 2.2.
- c) Iako sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava postavljene vrijednosti u nekom razdoblju, ponekad je nemoguće smanjiti ukupan broj agregata

koji mogu biti istovremeno u remontu. To se događa kada su u remontu svi agregati koji su prema planu određeni da budu u remontu: Naime, redovni remont svakog agregata u EES-u redovito se odvija kontinuirano, te nikakav kraći ili duži prekid radova na remontu nije moguć.

2.7. Heuristike minimalnog odstupanja od tekućeg plana

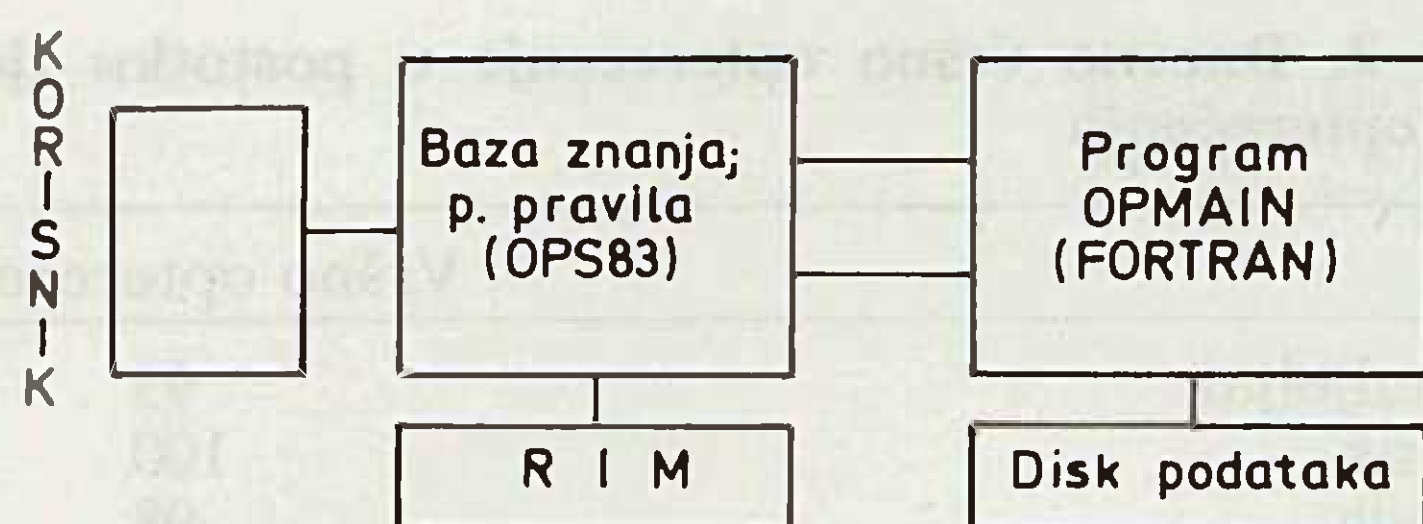
Uvijek kada je potrebno korigirati tekući raspored remonta agregata EES-a čini se oportunistički takav raspored remonta koji će najmanje odstupati od tekućeg. Potrebno je, dakle, odrediti raspored remonta s minimalnim odstupanjem od tekućeg plana, uz uvažavanje jednog od utvrđenih kriterija. To se izvodi na način da se interval u kojem je dopušten početak remonta svakog agregata modificira.

- a) Za korekciju tekućeg plana remonta agregata u EES-u određuje se novi interval u kojem je moguć početak remonta agregata. Navedeni interval određuje se za svaki agregat čiji remont još nije započeo. Širina intervala pri korigiranju plana remonta je 5 perioda (tjedana), što je znatno manje od uobičajene vrijednosti za godišnja planiranja gdje navedeni interval najčešće iznosi 12 i više perioda (tjedana). Širina intervala (5) odabrana je na temelju zahtjeva da korigirani plan remonta agregata ne odstupa suviše od tekućeg plana. Pritom navedeni interval može varirati, i biti različit za različite agregate. Najraniji mogući početak remonta nekog agregata zada se na vrijednost koja je dva perioda ranije od rednog broja perioda u kojem je planiran početak remonta (iz tekućeg plana). Ako je najraniji period u kojem je moguć početak remonta nekog agregata, raniji od tekućeg perioda, tada se vrijednost najranijeg perioda postavlja na vrijednost tekućeg perioda. Najkasniji dozvoljeni početak remonta dobije se zadavanjem na vrijednost koja je dva perioda kasnije od perioda u kojem je u planu određen remont promatranog agregata.
- b) Za agregate čiji je redovni remont već započeo, vrijednosti najranijeg i najkasnijeg dozvoljenog početka remonta fiksiraju se na vrijednost perioda u kojem je remont stvarno i počeo. Matematičkim rječnikom kazano, u korekciji tekućeg plana početak remonta takvog agregata ne uzima se kao nepoznanica.

3. STRUKTURA EKSPERTNOG SUSTAVA

Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u EES-u organiziran je tako da je znanje u području planiranja remonta programirano u školjci za ekspertne sustave OPS-83, dok su svi numerički proračuni programirani u fortranu i sadržani su u programu OPMAIN. Organizacijska struktura ekspertnog sustava može se vidjeti na slici 1.

Preciznije rečeno, ekspertni sustav je organiziran tako da je program OPMAIN potprogram OPS-83 pro-



Slika 1. Struktura ekspertnog sustava

grama. Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a instaliran je na računaru MicroVAX II.

Što se tiče baze podataka, korištena je relacionalna baza podataka RIM zbog jednostavnog pristupa podacima. Specijalno sučelje (interface) za komunikaciju između relacionalne baze podataka i ekspertnog sustava programiran je u fortranu. Običan zapis podataka (data file) upotrijebljen je za podatke koji se ne mijenjaju često i praktično su konstantni. Takvi su podaci npr. instalirane snage agregata. Poseban problem predstavljalo je riješiti transfer podataka između potprograma OPMAIN (fortran) i programa OPS-83. U tu svrhu razvijeni su specijalni potprogrami za transfer podataka pri ulazu i izlazu iz potprograma OPMAIN.

Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata napisan je jezikom za ekspertne sustave OPS-83. Jezik OPS-83 izabran je zbog činjenice da omogućava komuniciranje sa programima napisanim u FORTRANU, što je posebna pogodnost za primjenu u elektroenergetici, a također i za određivanje rasporeda remonta agregata. Osim toga, OPS-83 ima efikasan mehanizam zaključivanja, debager i omogućava vrlo brzo pretraživanje baze pravila. Tome treba dodati i dobro iskustvo s drugim aplikacijama u elektroenergetici [4].

Znanje u području određivanja rasporeda remonta detaljno je opisano u odjeljku 2. Baza znanja je organizirana putem produkcijskih ili proizvodnih pravila. Sve navedene heuristike definirane su kao niz proizvodnih pravila. Proizvodna pravila su grupirana unutar nekoliko tzv. zadataka u skladu s pripadnim heuristikama. Tako npr. zadatak mreža grupira heuristike mreže, odnosno odgovarajuća proizvodna pravila. Svi zadaci navode se eksplicitno i za svaki su od njih specificirane pripadne heuristike (znanje) odnosno kompetencije. Zadaci su:

Zadatak 1. Priprema

Unutar ovog zadatka čitaju se ulazni podaci i inicira radna memorija.

Zadatak 2. Organizator

Utvrdjuje problem i usmjerava analizu u odgovarajućem zadatku. Ako nikakav problem ne postoji, tada će tekući raspored remonta biti ispisan na ekranu i program će biti zaustavljen.

Zadatak 3. Mreža (odjeljak 2.1)

Postoji li bilo koji problem u vezi s prijenosnom mrežom, ovaj zadatak je mjerodavan da predloži određene akcije.

Zadatak 4. Proizvodnja (odjeljak 2.3)

Ako se dogodi neka situacija opisana u heuristikama proizvodnje (odjeljak), tada se aktivira ovaj zadatak.

Zadatak 5. Remont (odjeljak 2.5)

Ovaj zadatak prati s različitih aspekata realizaciju plana remonta i predlaže odgovarajuća rješenja.

Zadatak 6. Interkonekcija (odjeljak 2.2)

U sklopu ovog zadatka grupirana su pravila koja će se aktivirati postoji li bilo koji problem u vezi s interkonekcijom, na primjer, ako se dodatnom dobavom snage i energije može popraviti sigurnost opskrbe potrošača.

Zadatak 7. Hidroagregati (odjeljak 2.4)

Ovaj zadatak analizira isključivo hidroagregate u skladu s logikom koja je specifična za svaku hidroelektranu.

Zadatak 8. Pouzdanost (odjeljak 2.6)

Prati parametre pouzdanosti rada EES-a i uspoređuje ih s definiranim karakterističnim (poželjnim) veličinama. Kao rezultat uspoređivanja mogu se aktivirati neki drugi zadaci, npr. zadatak 6, gdje se analizira interkonekcija.

Zadatak 9. Transfer

Pravila koja se nalaze u ovom zadatku omogućavaju transfer podataka između dijela programa koji je napisan u školjci OPS-83 i dijela programa napisanog u fortranu. Ovaj zadatak također poziva program OPMAIN.

Primjer jednog proizvodnog pravila napisanog u jeziku za ekspertne sustave OPS-83 prikazan je na slici 3. Za isto proizvodno pravilo na slici 2. se, zbog lakšeg razumijevanja pravila, navodi verzija pravila na hrvatskom jeziku, uz napomenu da je za pravilo u jeziku OPS-83 na slici 3. korišten engleski jezik.

AKO	je u danom periodu status interkonekcije »povećaj«
i	pogonski status interkonekcije »u pogonu«,
i	vrsta interkonekcije je »import«,
i	import je dozvoljen i nije do kraja iskorišten (»pun«),
i	snaga importa je manja od prijenosnih mogućnosti poveznih dalekovoda,
TADA	modificiraj status interkonekcije u tom periodu na vrijednost »normalan«,
i	modificiraj status proizvodne interkonekcije u tom periodu na »pun«,
i	modificiraj eksport u tom periodu na »ne« (nije dozvoljen),
i	modificiraj snagu dobave na vrijednost prijenosne moći poveznih dalekovoda i aktiviraj zadatak 9.

Slika 2. Primjer proizvodnog pravila (hrvatski jezik)

```

rule inter4
{
  &task ( task id = interconnection ) ;
  &1 ( period inter_status = increase ) ;
  &2 ( inter gen_status = operation ;
      type [ &1.per_# ] = import ;
      status [ &1.per_# ] < > full ;
      import [ &1.per_# ] = yes ;
      power [ &1.per_# ] . < = ∅ . cap ) ;
  -- >
  modify &1 ( inter_status = normal ) ;
  modify &2 ( status [ &1.per_# ] = full ;
      export [ &1.per_# ] = no ;
      power [ &1.per_# ] = ∅ . cap ) ;
  modify &task ( id = convert ) ;
} ;

```

Slika 3. Primjer proizvodnog pravila napisanog u jeziku OPS-83

Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a ima ukupno 65 proizvodnih pravila napisanih u jeziku za ekspertne sustave OPS-83.

4. TESTIRANJE EKSPERTNOG SUSTAVA NA IEEE RTS-u

Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata EES-a testiran je na primjeru IEEE RTS-a [9]. Svi potrebni podaci sustava IEEE RTS za određivanje rasporeda remonta dani su u tablicama 1, 2, 3 i 4. Podaci o potrošnji dani su za jednu kalendarsku

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
utorak	100
srijeda	98
četvrtak	96
petak	94
subota	77
nedjelja	75

godinu. Tjedna vršna opterećenja dana su u tablici 1. Dnevna vršna opterećenja izražena su u postotku tjednih vršnih opterećenja i dana su u tablici 2. Tablica 3. sadrži srednja satna opterećenja za radni i neradni dan za svaku sezonu uz pretpostavku da su dnevne promjene opterećenja jednake u jesen i proljeće. Svi relevantni podaci o agregatima promatranog sustava dani su u tablici 4.

Posebno su postavljeni ovi zahtjevi:

- (1) Rezerva u svakom periodu mora da bude veća od nule.
- (2) Ukupan broj agregata istovremeno u remontu ne smije biti veći od 4 ni u jednom periodu.
- (3) Sljedeći agregati ne smiju biti istovremeno u remontu:
 - agregat 1 i agregat 4
 - agregat 2 i agregat 13.
- (4) 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.

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	Neraspoloživost	Troškovi goriva \$/MWh	Početak remonta od	Početak remonta do	Početak zadnjeg remonta	Trajanje remonta (tjedni)	Troškovi remonta \$/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

Tablica 5. Raspored remonta za 1. scenarij (kriterij rezerve)

Tjedan	V. opterećenje	U remontu	Tjedan	V. opterećenje	U remontu
1	2 457		34	2 078	350(3), 50(21)
2	2 565		35	2 069	400(2), 350(3)
3	2 502		36	2 009	400(2), 100(12)
4	2 377	50(22)	37	2 223	400(2), 100(12)
5	2 508	50(22), 50(23)	38	1 981	400(2), 100(12), 50(18), 50(19)
6	2 397	197(4), 50(23)	39	2 063	400(2), 50(18), 50(19)
7	2 371	197(4), 76(14)	40	2 063	400(2), 197(5)
8	2 297	197(4), 76(14)	41	2 118	197(5), 155(10), 100(13), 20(27)
9	2 109	197(4), 155(7), 76(14)	42	2 120	197(5), 155(10), 100(13), 20(27)
10	2 100	400(1), 155(7), 76(15)	43	2 280	197(5), 155(10), 100(13)
11	2 038	400(1), 155(7), 76(15)	44	2 522	155(10), 12(30)
12	2 072	400(1), 155(7), 76(15)	45	2 522	12(30)
13	2 006	400(1), 20(24), 12(28)	46	2 591	12(31)
14	2 138	400(1), 20(24), 12(28)	47	2 679	12(31)
15	2 055	400(1), 197(6), 20(25), 12(29)	48	2 537	12(32)
16	2 280	197(6), 100(11), 20(25), 12(29)	49	2 685	12(32)
17	2 149	197(6), 100(11)	50	2 765	
18	2 385	197(6), 100(11)	51	2 850	
19	2 480		52	2 713	
20	2 508				
21	2 440	20(26)			
22	2 311	20(26)			
23	2 565				
24	2 528	155(8)			
25	2 554	155(8)			
26	2 454	155(8)			
27	2 152	155(8), 155(9), 76(16)			
28	2 326	155(9), 76(16)			
29	2 283	155(9), 76(16), 76(17)			
30	2 508	155(9), 76(17)			
31	2 507	350(3), 76(17), 50(20)			
32	2 212	350(3), 50(20)			
33	2 280	350(3), 50(21)			

Pretpostavljeno je da je IEEE RTS sustav u interkonekciji s drugim EES-om. Početna razmjena snage i energije između sustava u interkonekciji u svim je periodima nula. Mogućnost dodatne nabave snage i energije postoji i ograničena je prijenosnim mogućnostima dalekovoda koja iznosi 150 MW. Budući da se interkonekcija uvažava preko tzv. ekvivalentnog agregata, za ovaj primjer uzeto je da raspoloživost tog ekvivalentnog agregata iznosi 0,85. Test-primjer

riješen je heurističkom metodom, pri čemu se koristio kriterij ujednačavanja rezerve i kriterij ujednačavanja LOLP-a. Kriterij ujednačavanja rezerve izabran je isključivo zato što je logiku danih heuristika lakše slijediti. Testiranje je provedeno za tri moguće situacije (scenarija).

4.1. Scenarij 1.

Po ovom scenariju zadatak je odrediti godišnji raspored remonta agregata po kriterijima ujednačavanja rezervi i minimiziranja LOLP-a. Raspored remonta za navedena dva kriterija dan je u tablicama 5. i 6. Može se primijetiti da je problem uspješno riješen i da su sva postavljena ograničenja zadovoljena. Problem ima 210 ograničenja i 384 nepoznanice. Da

bi se riješio problem, bilo je potrebno 85 (kriterij rezerve) i 105 (kriterij LOLP-a) sekunda mjereno štopericom. Navedena vremena uključuju i vrijeme potrebno za računanje pokazatelja EES-a, kao što su LOLP, EUE i troškovi goriva.

4.2. Scenarij 2.

Ovaj scenarij također se odnosi na godišnje planiranje remonta za kriterij minimiziranja LOLP-a. Postavljen je zahtjev da LOLP ni u jednom periodu ne smije prekoračiti vrijednost 1,0 sata. Uvidom u rezultate prve iteracije, koji su dani u tablici 6, može se vidjeti da je takav zahtijevani LOLP prekoračen 14, 50 i 51.

Tablica 6. Raspored remonta za 1. scenarij (kriterij LOLP-a)

Tjedan	V. opterećenje	U remontu	LOLP sat/tjed.
1	2 457		0,119 25
2	2 565		0,314 31
3	2 502		0,183 52
4	2 377	50(22)	0,090 16
5	2 508	50(22), 50(23)	0,457 17
6	2 397	197(4), 50(23)	0,554 40
7	2 371	197(4)	0,299 32
8	2 297	197(4), 76(14)	0,311 15
9	2 109	197(4), 100(11), 76(14)	0,121 90
10	2 100	400(1), 100(11), 76(14)	0,182 11
11	2 038	400(1), 197(6), 100(11), 76(15)	0,623 95
12	2 072	400(1), 197(6), 76(15), 20(24)	0,400 72
13	2 006	400(1), 197(6), 76(15), 20(24)	0,199 92
14	2 138	400(1), 197(6), 155(8), 20(15)	1,327 70
15	2 055	400(1), 155(7), 155(8), 20(15)	0,499 79
16	2 280	155(7), 155(8)	0,331 51
17	2 149	155(7), 155(8), 12(28)	0,113 03
18	2 385	155(7), 12(28)	0,326 21
19	2 480	12(29)	0,199 28
20	2 508	12(29)	0,255 62
21	2 440	20(26)	0,146 19
22	2 311	20(26)	0,036 08
23	2 565		0,368 08
24	2 528		0,272 54
25	2 554		0,336 29
26	2 454	155(9)	0,504 86
27	2 152	155(9)	0,025 54
28	2 326	155(9)	0,172 93
29	2 283	155(9), 76(17)	0,237 99
30	2 508	76(17)	0,433 20
31	2 507	350(3), 76(17), 50(19), 20(27)	0,113 47
32	2 212	350(3), 50(19), 20(27)	0,247 07
33	2 280	350(3), 50(21)	0,388 20
34	2 078	350(3), 76(16), 50(21)	0,114 84
35	2 069	400(2), 350(3), 76(16)	0,659 50
36	2 009	400(2), 100(12), 76(16)	0,058 97
37	2 223	400(2), 100(12)	0,291 83
38	1 981	400(2), 100(12), 50(18), 50(20)	0,057 32
39	2 063	400(2), 197(5), 50(18), 50(20)	0,396 52
40	2 063	400(2), 197(5), 155(10)	0,620 94
41	2 118	197(5), 155(10), 100(13)	0,264 49
42	2 120	197(5), 155(10), 100(13)	0,271 14
43	2 280	155(10), 100(13), 12(30)	0,235 93
44	2 522	12(30)	0,221 26
45	2 522	12(31)	0,244 21
46	2 591	12(31)	0,423 82
47	2 679	12(32)	0,789 47
48	2 537	12(32)	0,275 49
49	2 685		0,754 68
50	2 765		1,243 60
51	2 850		2,021 90
52	2 713		0,907 78

Tablica 7. Raspored remonta za 2. scenarij (kriterij LOLP-a)

Tjedan	V. opterećenje	U remontu	LOLP sat/tjed.
1	2 457		0,119 25
2	2 565		0,314 31
3	2 502		0,183 52
4	2 377	50(22)	0,090 16
5	2 508	50(22), 50(23)	0,457 17
6	2 397	197(4), 50(23)	0,554 40
7	2 371	197(4), 20(24)	0,350 49
8	2 297	197(4), 76(14), 20(24)	0,364 20
9	2 109	197(4), 100(11), 76(14), 20(25)	0,147 02
10	2 100	400(1), 100(11), 76(14), 20(25)	0,224 08
11	2 038	400(1), 197(6), 100(11), 76(15)	0,623 95
12	2 072	400(1), 197(6), 76(15)	0,331 15
13	2 006	400(1), 197(6), 76(15)	0,160 56
14	2 138	400(1), 197(6)	0,289 80
15	2 055	400(1), 155(7), 155(8)	0,416 86
16	2 280	155(7), 155(8)	0,331 51
17	2 149	155(7), 155(8)	0,099 54
18	2 385	155(7), 155(8)	0,913 78
19	2 480	12(28)	0,199 28
20	2 508	12(28)	0,255 62
21	2 440	20(26), 12(29)	0,164 20
22	2 311	20(26), 12(29)	0,042 83
23	2 565		0,368 08
24	2 528		0,272 54
25	2 554		0,336 29
26	2 454	155(9)	0,504 86
27	2 152	155(9)	0,025 54
28	2 326	155(9)	0,172 93
29	2 283	155(9), 76(17)	0,237 99
30	2 508	76(17)	0,433 20
31	2 507	350(3), 76(17), 50(19), 20(27)	0,113 47
32	2 212	350(3), 50(19), 20(27)	0,247 07
33	2 280	350(3), 50(21)	0,388 20
34	2 078	350(3), 76(16), 50(21)	0,114 84
35	2 069	400(2), 350(3), 76(16)	0,659 50
36	2 009	400(2), 100(12), 76(16)	0,058 97
37	2 223	400(2), 100(12)	0,291 83
38	1 981	400(2), 100(12), 50(18), 50(20)	0,057 32
39	2 063	400(2), 197(5), 50(18), 50(20)	0,396 52
40	2 063	400(2), 197(5), 155(10)	0,620 94
41	2 118	197(5), 155(10), 100(13)	0,264 49
42	2 120	197(5), 155(10), 100(13)	0,271 14
43	2 280	155(10), 100(13), 12(30)	0,235 93
44	2 522	12(30)	0,221 26
45	2 522	12(31)	0,244 21
46	2 591	12(31)	0,423 82
47	2 679	12(32)	0,789 47
48	2 537	12(32)	0,275 49
49	2 685		0,754 68
50	2 765		0,723 08
51	2 850		0,970 01
52	2 713		0,907 78

Ekspertni sustav uspješno je riješio problem. Rezultati su prikazani u tablici 7. Ekspertni sustav je za period 14 postavio ograničenje u skladu s danim heuristikama. Naime, ekspertni sustav umanjio je ukupni broj agregata u remontu za dva (2×1) u odnosu prema broju (4) agregata u remontu prema planu u prvoj iteraciji iz tablice 7. Slijedi da u periodu 14 ukupni broj agregata u remontu ne smije biti veći od 2 ($4 - 1 - 1$). Naime, uz ograničenja od ukupno tri dopuštena agregata u remontu nije zadovoljeno postavljeno ograničenje $LOLP > 1,0$, pa je postupak nastavljen tako da je broj dozvoljenih agregata za istovremeni remont u periodu 14 drugi put umanjen za jedan. Tada se konačno dobilo rješenje koje zadovoljava postavljeno ograničenje. Takvo rješenje za perio-

de 50 i 51 nije se moglo predložiti jer u navedenim periodima nijedan agregat nije u remontu. Ekspertni sustav je u tim periodima predložio dobavu iz EES-a s kojim je promatrani EES u interkonekciji. Pritom snaga dobave u periodu 50 iznosi 100 Mw, a u periodu 51 iznosi 150 Mw. Naime, dobava od 100 Mw u periodu 51 nije popravila LOLP u dovoljnoj mjeri da bi postavljeni zahtjev ($LOLP > 1,0$ sata) bio zadovoljen, pa je bilo nužno snagu dobave povećati na iznos ukupnih prijenosnih mogućnosti dalekovoda koji povezuje dva sustava u interkonekciji. Ovdje je važno napomenuti da se čitav prethodno navedeni postupak, zahvaljujući ekspertnom sustavu, odvijao automatski. Vrijeme trajanja čitavog postupka na računalu mikroVAX, mjereno štopericom, iznosi približ-

no 190 sekundi. Većina vremena utrošena je na računanje karakterističnih pokazatelja EES-a.

4.3. Scenarij 3.

Ovaj scenario odnosi se na situaciju kada je nužno da se u toku godine napravi revizija rasporeda već planiranog remonta. Simulirana je situacija gdje je tjedan 32 uzet kao tekući period. Agregatu 2 dodijeljena je situacija u kojoj je odmah nužan početak remonta. Zbog toga je također nužno bilo napraviti reviziju rasporeda remonta za sve agregate za koje remont u promatranoj godini još nije proveden. Pritom je potrebno koristiti kriterij minimalnog odstupanja od tekućeg plana remonta koji je dan u tablici 5. Drugim riječima, za svaki agregat čiji je početak remonta planiran nakon tjedna 32, ekspertni sustav će odrediti nov početak remonta koji može biti dva perioda prije ili poslije početka remonta iz godišnjeg plana (tablica 5). Za sve agregate za koje je remont počeo prije perioda 32 najraniji, odnosno najkasniji mogući počeci remonta fiksirani su na vrijednost stvarnog početka remonta. Jednostavno rečeno, za te agregate može se kazati da počeci remonta nisu tretirani kao nepoznanice.

Rezultati rasporeda remonta za ovaj scenarij, gdje je korištena funkcija cilja minimalnog odstupanja od tekućeg plana remonta po kriteriju ujednačavanja rezervi, dani su u tablici 8. Može se uočiti da su sva ograničenja zadovoljena, odnosno da su počeci remonta u skladu sa zahtjevom o minimalnom odstupanju od tekućeg plana. Da bi se riješio problem, ekspertnom sustavu bilo je potrebno otprilike 65 sekundi.

Tablica 8. Raspored remonta za 3. scenarij (kriterij rezerve uz minimalno odstupanje od plana iz tablice 1)

Tjedan	U remontu
32	400(2), 350(3), 50(20)
33	400(2), 350(3),
34	400(2), 350(3),
35	400(2), 350(3), 50(21)
36	400(2), 50(21)
37	400(2), 50(19)
38	197(5), 100(12), 50(18), 50(19)
39	197(5), 155(10), 100(12), 50(18)
40	197(5), 155(10), 100(12)
41	197(5), 155(10), 100(13)
42	155(10), 100(13), 20(27), 12(30)
43	100(13), 20(27), 12(30)
44	12(31)
45	12(31)
46	12(32)
47	12(32)
48	
49	
50	
51	
52	

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prezentiran je ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama elektroenergetskog sustava. Znanje i iskustva u području planiranja remonta prikupljeno je, formalizirano i izraženo putem heurističkih pravila. Jedna algoritamska metoda integrirana je u ekspertni sustav zbog numeričkih proračuna i djelomično zbog pretraživanja dopustivosti rješenja. Testiranja su pokazala da predloženi ekspertni sustav može biti efikasno sredstvo za planiranje, odnosno za reviziju plana remonta agregata.

LITERATURA

- [1] S. FUŠTAR: »Razvoj heurističke metode za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama«, Energija br. 1, 1990. pp. 3–18.
- [2] S. FUŠTAR, J. HSIEH: »A Knowledge -Based Method for Revision of Yearly Generator Maintenance Schedule«, Proceedings of the First Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems, Stockholm — Helsinki, Kolovoz 22–26, 1988. pp. 9.23–9.29.
- [3] S. FUŠTAR: »A Knowledge — Based Method for Generator Maintenance Scheduling of Multi-Interconnected Power Systems«, Proceedings of the Second Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems, Seattle, Srpanj 17–20, 1989. pp. 341–348.
- [4] S. FUŠTAR, M. KEZUNOVIĆ: »Primjena ekspertnih sustava u elektroenergetici«, Elektroprivreda br. 1–2, 1990. pp. 28–36.
- [5] 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.
- [6] R. BILLINTON, F. A. EL-SHEIKHI: »Preventive Maintenance Scheduling in Power Generation Systems Using a Quantitative Risk Criterion«, Can. Elec. Eng. Journal, Vol. 8, No. 1, 1983. pp. 28–39.
- [7] Z. YAMAYEE, K. SINDEBLAD: »A Computationally Efficient Optimal Maintenance Scheduling Method«, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS — 101, No. 2, February 1983. pp. 1537–1545.
- [8] C. A. PODBURY, T. S. DILLON: »An Intelligent Knowledge-based System for Maintenance Scheduling in Power System«, Ninth Power System Computation Conference, Aug. 30 — Sept. 4, 1987, Lisbon, Portugal.
- [9] 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.

EXPERT SYSTEM FOR GENERATOR MAINTENANCE SCHEDULING IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Expert system for generator maintenance scheduling as well as for monitoring schedule realization is described.

Knowledge of maintenance scheduling is represented in the knowledge base of the expert system into which an algorithmic method is also integrated. The expert system is written in the OPS-83 language and implemented on a DEC MicroVax II. The proposed expert system is tested on samples based on the IEEE Reliability Test System.

EXPERTENSYSTEM ZUR BESTIMMUNG DER REIHENFOLGE DES ABBAUS DER AGGREGATE DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

In dieser Arbeit beschreibt man das Expertensystem zum Planen der Reihenfolge des Abbaus des Aggregats sowie die Aufsicht der Verwirklichung des Planens. Das Wissen auf dem Gebiet des Abbauplanens wurde formell vertreten auf Grund des Wissensstandes des Expertensystems, in den auch algorithmische Methode integriert wurde. Das Expertensystem wurde in der Sprache OPS — 83 geschrieben. Realisiert wurde es auf dem Rechner DEC MicroVAX II. Das vorgeschlagene Expertensystem wurde auf den Beispielen des IEEE RTS — Systems getestet.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПОРЯДКА РЕМОНТА АГРЕГАТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В данной работе описана экспериментальная система планирования распорядка ремонта агрегатов, а также наблюдения выполнения плана. Умение в области планирования ремонта полностью представлено на основании знания экспертной системы, в которую включен и один алгоритмический метод. Экспертная система высказана на языке ОПС-83 и о существовании на вычислительной машине ДЕС Микро-ВАКС II. Предложенная экспертная система тестирована примерах ИЭЭЭ РТС-системы.

Naslov pisca:

Dr. Stipe Fuštar, dipl. inž.
Fakultet elektrotehnike,
strojarstva i brodogradnje Split,
58000 Split, R. Boškovića b b,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1990-11-29

XXII KONGRES UNIPEDE

UNIPEDE je međunarodna, pre svega evropska organizacija proizvođača i distributera električne energije čiji je član i jugoslovenska elektroprivreda — JUGEL.

Za razliku od CIGRE, koja se uglavnom bavi tekucim i kratkoročnom problematikom, UNIPEDE razmatra perspektivne probleme (10–15 god. unapred) i pokušava da nađe optimalna rešenja u oblasti elektroprivrede u korist i na zadovoljstvo i elektroprivrednih organizacija i društva u celini.

Preko svog Sekretarijata, Upravnog komiteta, 16 studijskih komiteta sa 52 ekspertne grupe, 3 grupe za specifičnu problematiku i 4 grupe orijentisane prema problematici Evropske zajednice, UNIPEDE pokriva praktično sva značajna stručna pitanja u oblasti proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije.

Svake treće godine održava se kongres UNIPEDE-a na kome se sumiraju rezultati rada u proteklom periodu.

Ove godine kongres će biti održan u Kopenhagenu u razdoblju od 9. do 14. juna.

Radovi koji su pripremljeni za Kongres razmatraju nove granice proizvodnje i primene električne energije u jednom svetu koji se rapidno menja, u Evropi koja je u punom razvoju i koja se sve više integriše, veoma čvrsto na zapadu, i sa realnim tendencijama čvršćeg povezivanja prema istoku.

Na Kongresu će se razmatrati teme od opšteg interesa:

- elektroprivreda u Evropi uoči početka rada jedinstvenog tržišta
- elektroprivreda i zaštita okoline
- proizvodnja električne energije posle 2000. godine
- realni ekonomski i finansijski problemi u proizvodnji električne energije kao robe.

Istovremeno biće organizovana izložba sa sledećim temama:

- proizvodnja električne energije
- prenos i distribucija
- usluge, konzalting, ekspertize.

Usko stručni rad odvijace se kroz sednice studijskih komiteta. Teško bi bilo, na malom prostoru, dati svu raznolikost problematike koja će biti razmatrana kroz velik broj referata pripremljenih za ovaj Kongres. Radi toga samo nekoliko akcenata:

- nuklearna goriva, pitanja sigurnosti rada nuklearnih elektrana, radioaktivni otpad i dr.
- termoelektrane, hemijski i tehnološki problemi, kombinovani ciklusi proizvodnje, redukcija emisije štetnih gasova, smanjenje proizvoda sagorevanja i dr.
- hidroproizvodnja, doprinos hidrocentrala i pumpnih postrojenja radu sistema i valorizacija tog doprinosa i dr.
- velike mreže i međunarodne interkonekcije, planiranje, vođenje, eksploatacija, problemi elektroenergetskih mreža na granicama velikih međunarodnih interkonekcija, problemi rada ostrvskih sistema i dr.
- distribucija, sintetički kablovi i kriterijumi za utvrđivanje njihovog životnog veka, problem padova i gubitka napona u srednje i niskonaponskoj mreži, kvalitet isporučene energije i uticaj na troškove, informatički grafički sistemi, pitanja »normalizacije«, radovi pod naponom i dr.
- problemi zaštite životne sredine, zdravstveni, ekonomski, finansijski problemi, interno i eksterno informisanje, kadrovska problematika.

Kongres se održava pod motom »Elektroprivreda — pogled u budućnost« i sa uočljivim nastojanjem da se problemi rada elektroprivrede približe javnosti kako bi se što više smanjio jaz između ograničenja koja se postavljaju elektroprivredi kod gradnje i eksploatacije proizvodnih i prenosnih objekata, s jedne strane, i zahteva za kvalitetnom i jeftinom električnom energijom u dovoljnim količinama, s druge strane.

V. Milić, dipl. el. inž.
»Elektroistok« — Beograd

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

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

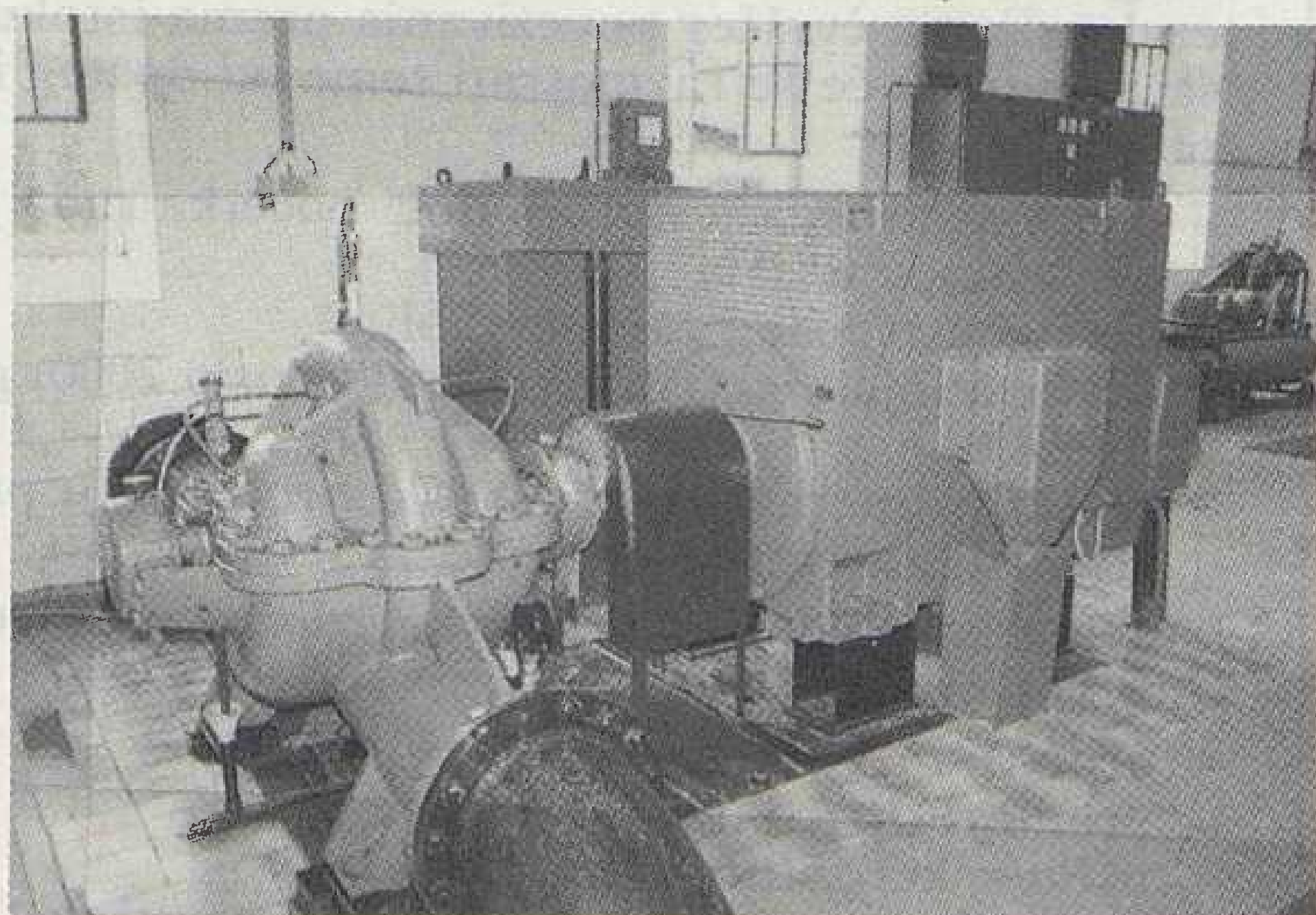
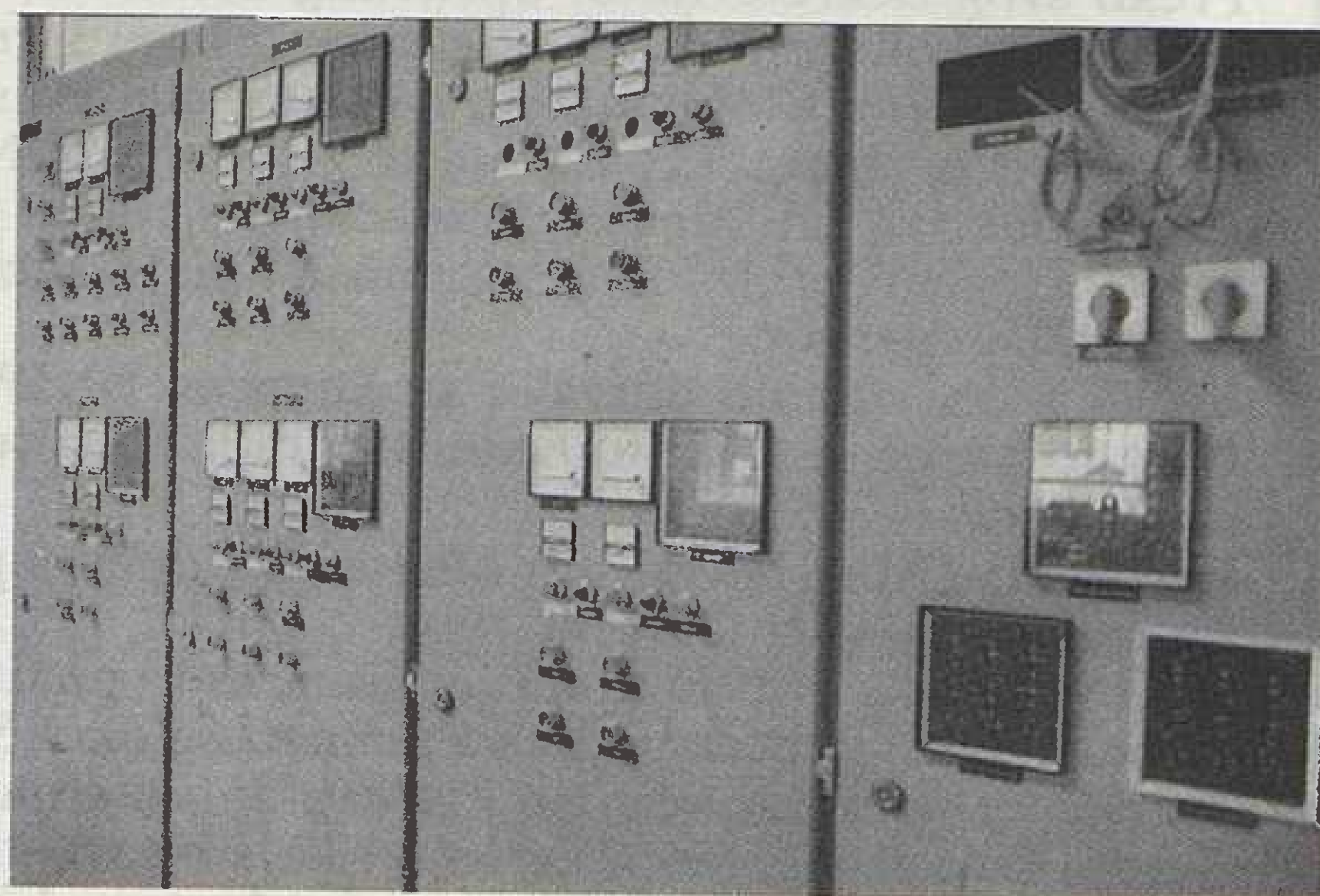
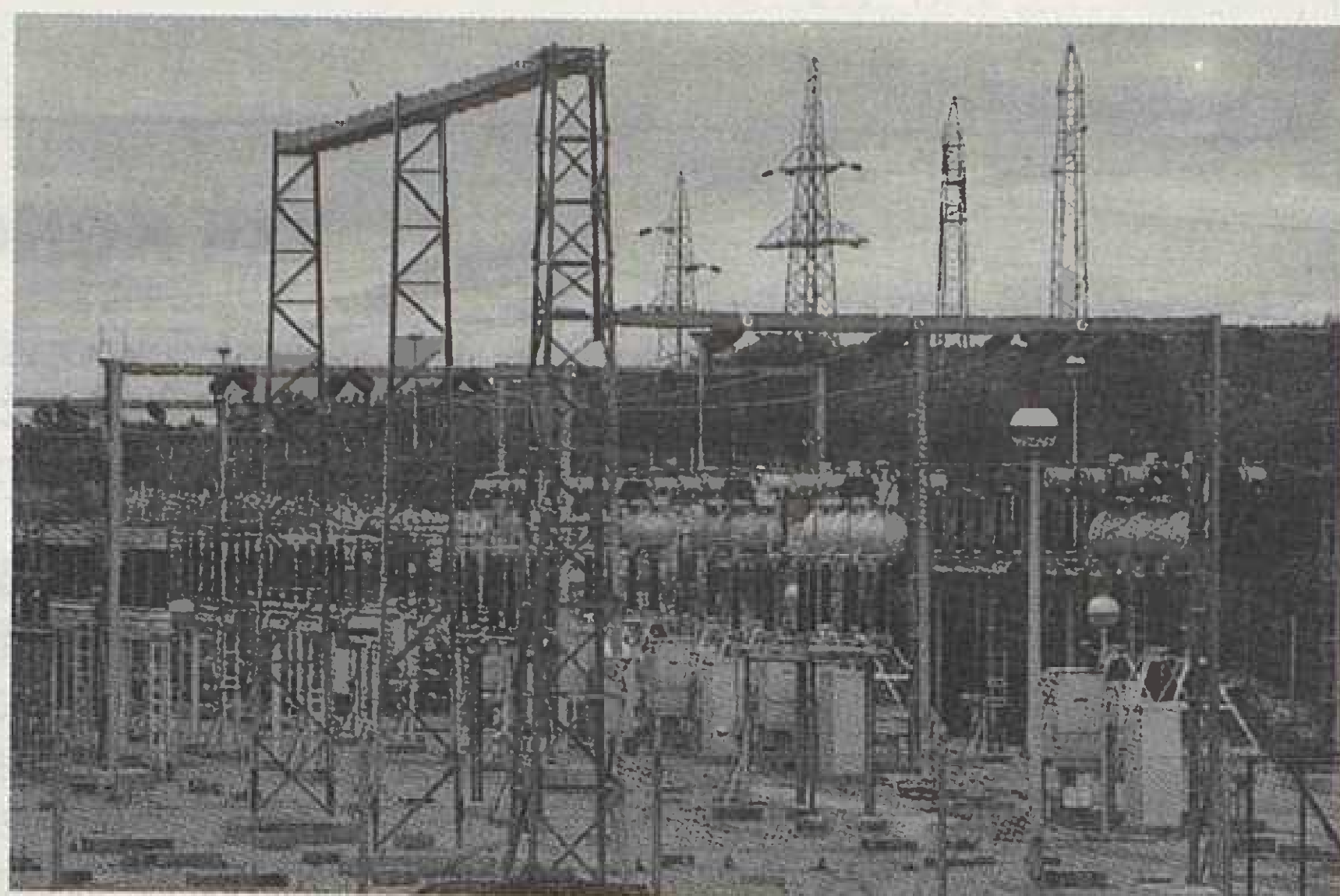
Tel: 057/24-440
057/24-844
27-236

Obavljajući djelatnost prometa roba i usluga u trgovini 117-tom granom »Elektromaterijal« opskrbljuje slijedeće najznačajnije potrošače: Elektroprivredu, brodograđevnu i ostalu industriju, građevinska, montažerska, PTT i ostala poduzeća i korisnike, kao i trgovinu na malo.

Organizirani smo u tri sektora, u okviru kojih su specijalizirane poslovnice.

Izvan sjedišta poduzeća posluju tri vanjske radne jedinice sa skladištima, komercijalnim i ostalim pratećim službama i to u: Zagrebu, Zadru i Podravskoj Slatini te razgranatom putničko-predstavničkom mrežom po cijeloj zemlji.

Imajući u vidu bogatstvo asortimana, dnevno prisutnog na našim skladištima, veliko iskustvo u obavljanju ove značajne funkcije u društvenoj reprodukciji, kao i solidnost u dosad povjerenim poslovima, želja nam je da i ubuduće uživamo Vaše povjerenje.



KRATKOROČNO OPTIMIRANJE RADA VIŠENAMJENSKOG HIDROENERGETSKOG SUSTAVA SLIVA

Mr. Irislav Drezga, Zagreb

UDK 621.22.01:621.31

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazano je kratkoročno optimiranje rada višenamjenskog hidroenergetskog sustava sliva (HESS) metodom mrežnog programiranja. U tu svrhu napravljeni su modeli pojedinih elemenata i funkcija HESS-a, te prikazano njihovo spajanje u mrežni model. Na primjeru je pokazana primjena mrežnog programiranja za kratkoročno optimiranje HESS-a.

Ključne riječi: višenamjenski hidroenergetski sustav sliva, kratkoročno optimiranje, mrežno programiranje.

1. UVOD

Hidroenergetski sustav sliva (HESS) čini jedno slivno područje ili njegov dio na kojem se nalaze hidroenergetski objekti kao što su akumulacijski bazeni, brane, dovodni kanali, tlačni cjevovodi, vodne komore, hidroelektrane (HE) te odvodni kanali, kao i objekti koji su uvjetovani višenamjenskim karakterom sliva, kao što su razne brane, kanali, akumulacijski bazeni i slično. Pretpostavljeno je da u HESS-u nema pumpno-akumulacijskih hidroelektrana.

Višenamjenski karakter ogleda se u tome što osim primarne funkcije, a to je proizvodnja električne energije, HESS ima i neke druge funkcije kao što je retenciranje velikih voda, poboljšanje režima malih voda, opskrba vodom industrijskih i naseljenih područja, natapanje, rekreacija, riječni promet i slično. Svrha je ovog rada kratkoročno optimiranje rada HESS-a koje je prilagođeno potrebama daljinskog upravljanja slivnim područjem. To je, dakle, samo dio planiranja rada HESS-a koji mora imati matematički model sistema napravljen s velikim stupnjem detaljizacije, kao i što kraći interval diskretizacije.

Usvojen je deterministički pristup problemu, a koristiti će se metode linearnog optimiranja.

Osnovni su razlozi za kratkoročno optimiranje:

1. mogućnost praćenja dnevnih fluktuacija opterećenja,
2. regulacija proizvodnje u slučaju kratkotrajnih ispada elektroenergetskih objekata,
3. prilagođavanje proizvodnje trenutnim hidrološkim uvjetima,
4. prilagođavanje proizvodnje trenutnim zahtjevima ostalih korisnika sliva.

Svrha je kratkoročnog optimiranja rada HESS-a određivanje optimalnog radnog režima kojim se maksimizira ukupna dobit od sliva. Da bi se odredio optimalni radni režim, potrebno je prije svega definirati

dobit odnosno funkciju cilja, što je u tijesnoj vezi s namjenama sliva, kao i ograničenjima koja iz njih proizlaze.

U slučaju kratkoročnog optimiranja rada HESS-a smatra se da je nadređeni centar zadao dnevni dijagram opterećenja, odnosno prioriteta proizvodnje električne energije, te da su zadana ograničenja svih ostalih relevantnih veličina u slivu.

2. METODA MREŽNOG PROGRAMIRANJA

Mrežno programiranje relativno je novo područje linearnog programiranja (LP), koje sve više istiskuje klasične metode LP-a, naravno kod problema koji to omogućavaju. Kako je optimiranje HESS-a problem koji ima mrežnu strukturu, to se u zadnje vrijeme, točnije od kraja sedamdesetih i početka osamdesetih godina, za rješavanje tog problema gotovo isključivo koristi mrežno programiranje, često u kombinaciji s drugim metodama.

Osnovna prednost algoritama za mrežno programiranje nad algoritmima za LP jest, osim smanjene potrebe za memorijskim prostorom računala njihova neusporedivo veća brzina. Postoje razne usporedbe tih grupa algoritama na osnovi kojih se može zaključiti da su algoritmi za mrežno programiranje i do stotinu puta brži od algoritama za LP. Uzrok tome je u činjenici da se kod mrežnog programiranja neke računске operacije koje zauzimaju dosta memorije i vremena mogu zamijeniti logičkim operacijama koje su mnogo brže i trebaju manje memorije računala. Problem kratkoročnog optimiranja HESS-a možemo prikazati kao problem mrežnih tokova s minimalnim troškovima u mreži s konveksnim funkcijama troškova. Kao metoda za rješavanje tog problema je odabrana primalna simpleks metoda na grafu koja predstavlja specijalizaciju primalne simpleks metode.

Svaka mreža se sastoji od čvorova i grana.

Za svaki čvor i se definira veličina koja se naziva intenzitet čvora i , a označava se s r_i . Intenziteti za sve čvorove mreže se mogu prikazati I -komponentnim vektorom r .

Čvor za koji je $r_i < 0$ naziva se ponor ili čvor potražnje s potražnjom jednakom $|r_i|$. Čvor za koji je $r_i > 0$ naziva se izvor ili čvor ponude s ponudom jednakom r_i . Čvor za koji je $r_i = 0$ naziva se tranzitni čvor.

Grane povezuju čvorove, a simboliziraju aktivnosti odnosno stanja sistema. U aktivnosti se ubraja proizvodnja električne energije, zadovoljenje različitih namjena sliva te prelijevanje vode. Stanja sistema karakteriziraju se stanjima akumulacijskih bazena u slivu.

Tokovi u granama mogu biti, ovisno o karakteru pojedine grane, kontrolne varijable, kojima pripadaju protoci HE, oduzimanja vode i preljevi, odnosno varijable stanja u koje spadaju volumeni vode u akumulacijskim bazenima.

Bez gubitka općenitosti može se pretpostaviti da se radi o jednostrano ograničenom protoku. To znači da je za svaku granu j određena gornja granica protoka u_j , dok će se gornje granice protoka za sve grane u mreži označiti sa J -komponentnim vektorom u . U slučaju jednostrano ograničenog protoka podrazumijeva se da je donja granica protoka za svaku granu jednaka 0, što će se za sve grane označiti sa J -komponentnim nul-vektorom 0 . Tokovi kroz grane mreže označeni su J -komponentnim vektorom x .

Trošak protoka kroz granu j po jedinici protoka označava se sa c_j , a jedinični troškovi za sve grane mreže prikazat će se J -komponentnim vektorom c .

Problem mrežnih tokova s minimalnim troškovima sada se može matematički opisati na sljedeći način:

$$\text{minimiziraj} \quad cx \quad (1)$$

$$\text{uz ograničenja} \quad Ax = r \quad (2)$$

$$0 \leq x \leq u. \quad (3)$$

Uz pretpostavku da se radi o orijentiranoj mreži, dakle onoj u kojoj se za svaku granu definiraju početni i krajnji čvor, matrica ograničenja A ima u svakom stupcu dva elementa različita od nule, od kojih je jedan $+1$, a drugi -1 . Upravo ovo svojstvo čini mrežne probleme specifičnom podvrstom problema linearnog programiranja te omogućuje primjenu posebnih algoritama kojima se ti problemi rješavaju mnogo brže i uz manji utrošak memorije računala nego što bi to bio slučaj s algoritmima za standardne probleme linearnog programiranja.

Nužan i dovoljan uvjet koji problem mreženog programiranja mora zadovoljiti da bi postojalo rješenje je:

$$\sum_{i=1}^I r_i = 0. \quad (4)$$

3. ELEMENTI I OGRANIČENJA HESS-a

Da bi se metoda mrežnog programiranja mogla primijeniti, potrebno je elemente i ograničenja sustava modelirati na odgovarajući način, te iz njih formirati

model cijelog sustava za promatrani period optimiranja.

U tu svrhu period optimiranja diskretiziran je intervalom diskretizacije u K intervala. Trajanje intervala diskretizacije u sekundama je označeno s T . Interval diskretizacije je osnovna vremenska jedinica i svaka vremenska veličina se izražava kao višekratnik intervala diskretizacije.

3.1. Karakteristike elemenata HESS-a

3.1.1. Hidroelektrana

Hidroelektrana je u modelu prikazana na osnovi sljedeće karakteristike:

$$P_i^k = f_i(u_i^k, h_i^k, a_i^k), \quad (5)$$

gdje je:

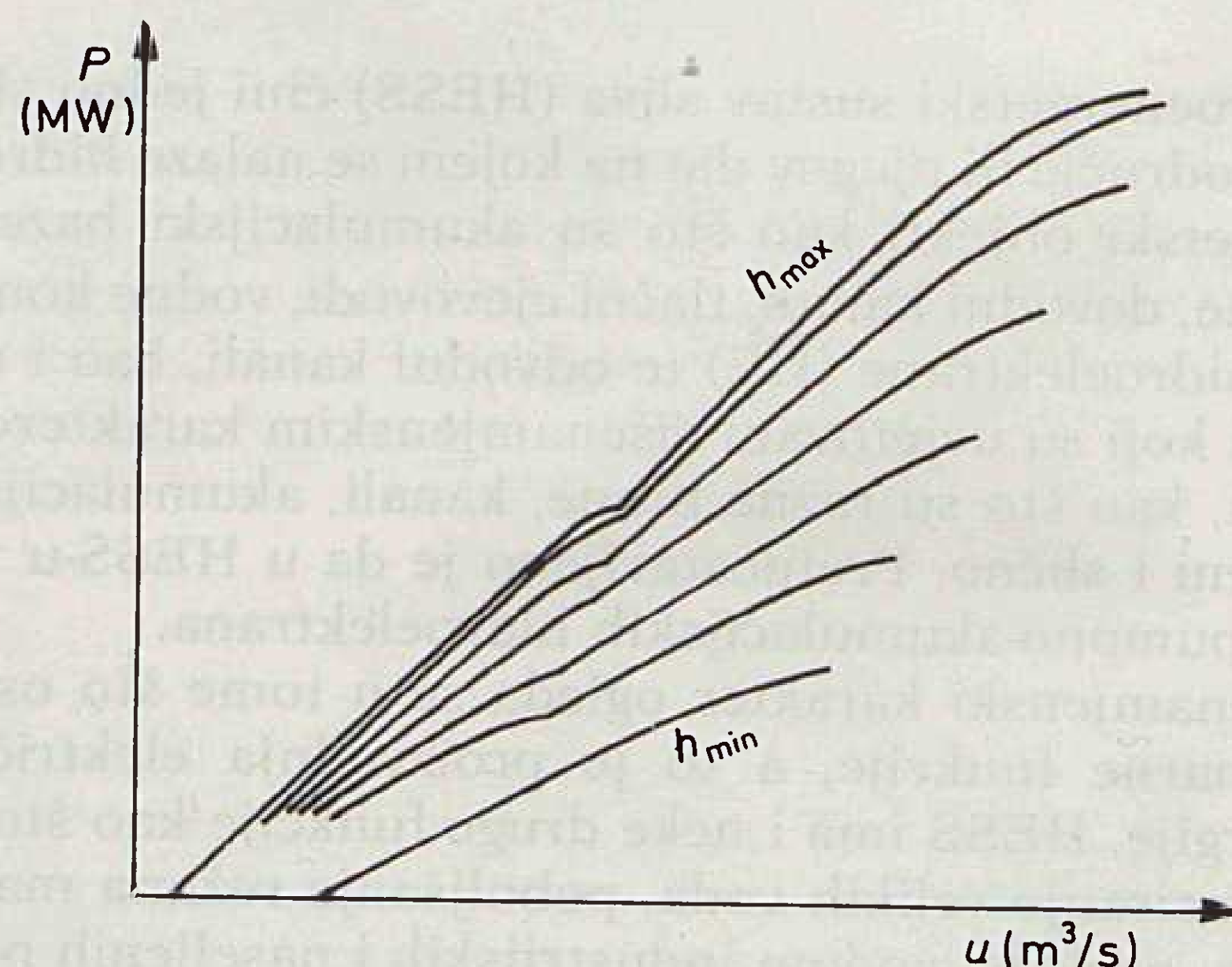
P_i^k — proizvedena snaga HE i u intervalu k

u_i^k — ukupni protok

h_i^k — bruto-pad

a_i^k — raspoloživi broj agregata.

Primjer takve karakteristike za različite vrijednosti bruto-pada i dva agregata dan je na slici 1.



Slika 1. Karakteristika HE

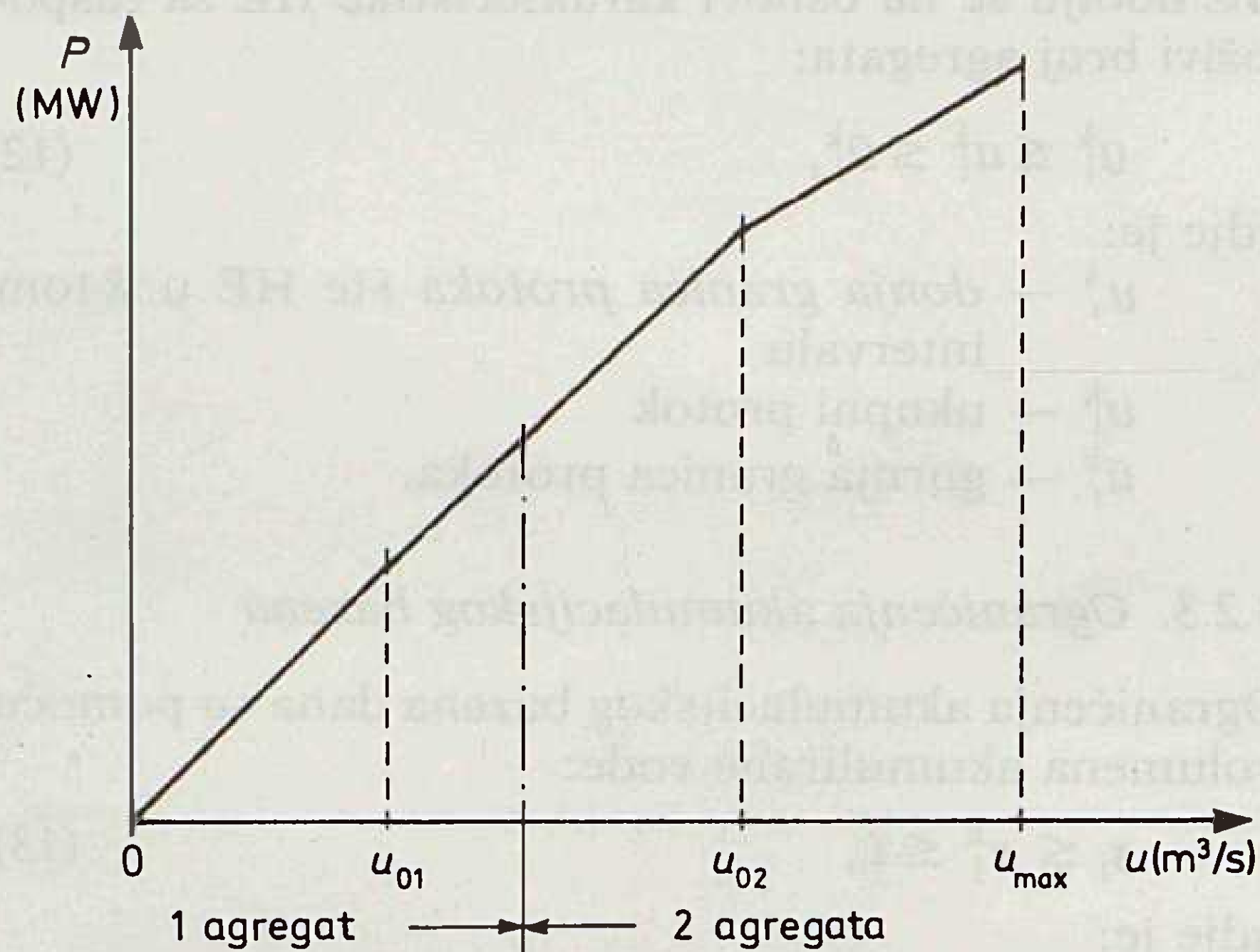
U ovom radu usvojena je pretpostavka da su radne karakteristike svih agregata u određenoj HE jednake, što vrijedi za najviše primjera iz prakse.

Ovisnost proizvedene snage o bruto-padu je za svaku HE zadana sa karakteristikom pri minimalnom, srednjem i maksimalnom bruto-padu. Kao proračunska izabire se karakteristika za određeni bruto-pad. Ako je ovaj različit od navedenih, proračunska karakteristika HE dobit će se iz zadanih linearnom interpolacijom.

Sljedeći korak je linearizacija karakteristike po segmentima. Pritom se kao početna točka linearizirane karakteristike uzima točka minimalnog, a kao krajnja točka maksimalnog protoka, dok se optimalne radne točke uzimaju za točke loma linearizirane karakteristike. Na taj način najtočnije su aproksimirani dijelovi karakteristike u okolini optimalnih radnih točaka, dok su najslabije aproksimirani dijelovi oko točaka promjene broja agregata u pogonu. To je učinjeno zato što se u praksi nastoji da HE radi u optimalnim radnim točkama ili u njihovoj neposrednoj

okolini kako bi se što efikasnije iskoristio vodni potencijal, dok se iz istih razloga izbjegava rad oko točaka promjene broja agregata.

Primjer po segmentima linearizirane karakteristike HE za određeni bruto pad i sa unešenim optimalnim radnim točkama dan je na slici 2. Time je karakteristika HE u potpunosti prilagođena za postupak optimiranja.



Slika 2. Linearizirana karakteristika HE

Ako je karakteristika HE i linearizirana sa L_i segmenta, tada se proizvodnja i -te HE u k -tom intervalu za pad h može dobiti iz:

$$P_i^k = \sum_{j=1}^{L_i} \eta_{ij}^h \cdot u_{ij}^k, \quad (6)$$

gdje je:

η_{ij}^h — koeficijent smjera j -tog segmenta HE i

u_{ij}^k — dio ukupnog protoka HE i koji odgovara segmentu η_{ij}^h .

3.1.2. Karakteristike akumulacije i pada

Akumulacijski bazen može se prikazati pomoću ovisnosti nivoa gornje vode o volumenu akumulirane vode i dotoku. Općenito se može reći da ta ovisnost ima oblik:

$$h_{g,j}^k = f_j^g(V_j^k, d_j^k), \quad (7)$$

gdje je:

$h_{g,j}^k$ — nivo gornje vode j -tog bazena u intervalu k

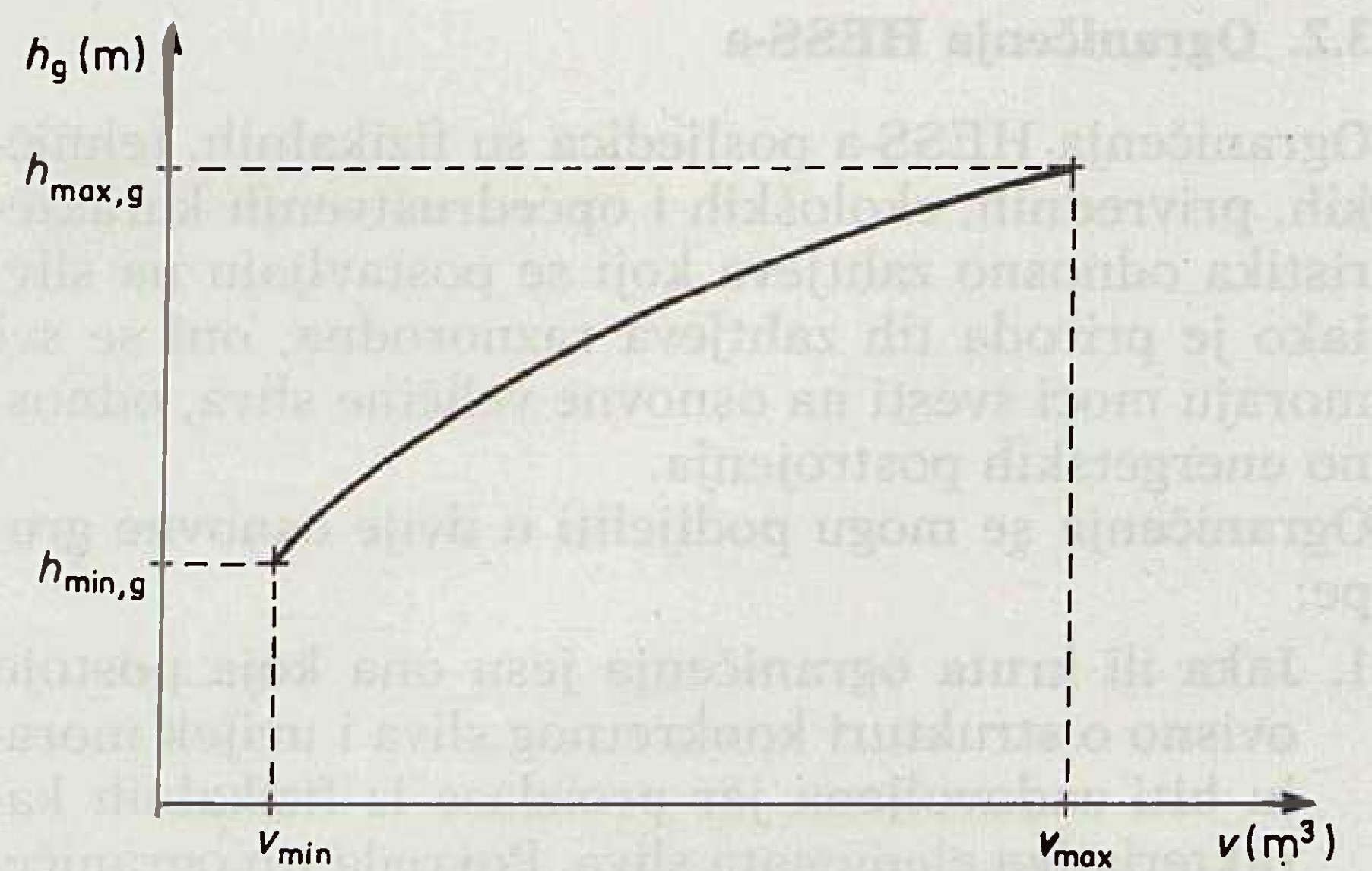
V_j^k — volumen akumulirane vode

d_j^k — dotok.

Međutim, ako se ovisnost nivoa gornje vode o dotoku u akumulacijski bazen ne uzme u obzir, dakle ako se pretpostavi statičko ponašanje akumulacije, dobiva se situacija ilustrirana na slici 3.

Razlikom maksimalnog i minimalnog volumena akumulirane vode određen je korisni volumen akumulacijskog bazena.

Kako je za proizvodnju električne energije bitan upravo korisni volumen bazena, to se karakteristika akumulacijskog bazena zadaje u prikazanom obliku.



Slika 3. Ovisnost nivoa gornje vode o volumenu akumulirane vode za statičko ponašanje akumulacije

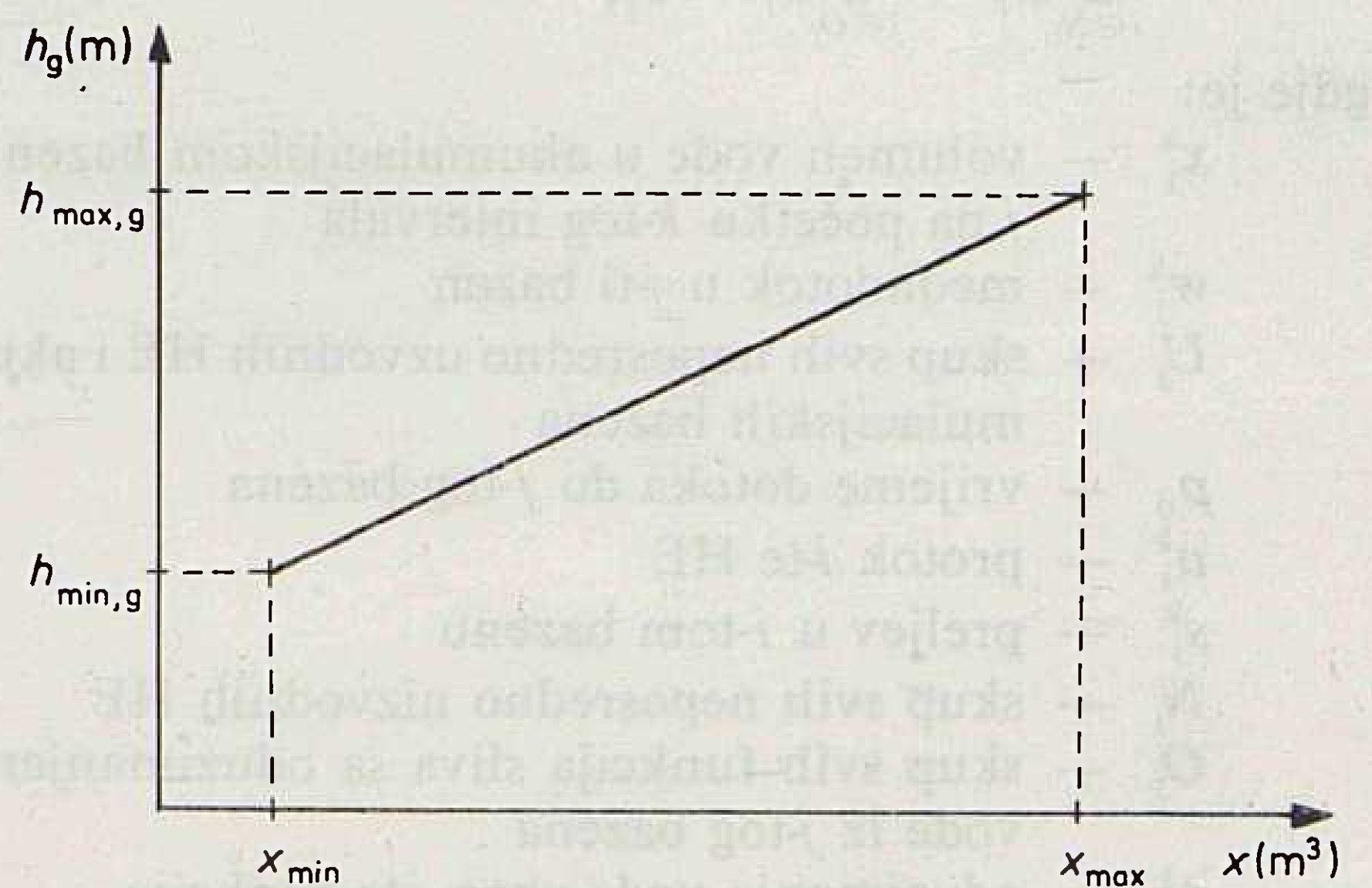
Bruto pad i -te HE dobiva se kao razlika nivoa gornje i donje vode:

$$h_i^k = h_{g,j}^k - h_{d,i}^k. \quad (8)$$

Određivanje neto-pada nije potrebno, jer se koristi ovisnost proizvedene električne snage o bruto-padu. U tu se svrhu karakteristika ovisnosti nivoa gornje vode o volumenu akumulirane vode linearizira. Da bi se dobila veličina dimenzijski odgovarajuća protoku, potrebno je još tu karakteristiku prikazati kao ovisnost o protoku u intervalu T , dakle o ekvivalentnom protoku koji se dobije prema:

$$x = \frac{V}{T} \quad (9)$$

U daljnjem tekstu će se, ako drukčije ne bude izričito rečeno, pod volumenom akumulirane vode smatrati ekvivalentni protok. Linearizirana karakteristika sa slike 3. prikazana je na slici 4. u ovisnosti o veličini x .



Slika 4. Linearizirana karakteristika ovisnosti nivoa gornje vode o ekvivalentnom protoku

Za kratkoročno optimiranje rada HESS-a može se usvojiti pretpostavka o konstantnoj vrijednosti bruto-pada u toku intervala diskretizacije. Naime, uz odgovarajuće brz proračunski ciklus može se odabrati dovoljno kratak interval diskretizacije u toku kojega se vrijednost bruto-pada neće bitno promijeniti.

3.2. Ograničenja HESS-a

Ograničenja HESS-a posljedica su fizikalnih, tehničkih, privrednih, ekoloških i općedruštvenih karakteristika odnosno zahtjeva koji se postavljaju na sliv. Iako je priroda tih zahtjeva raznorodna, oni se svi moraju moći svesti na osnovne veličine sliva, odnosno energetske postrojenja.

Ograničenja se mogu podijeliti u dvije osnovne grupe:

1. Jaka ili kruta ograničenja jesu ona koja postoje ovisno o strukturi konkretnog sliva i uvijek moraju biti zadovoljena jer proizlaze iz fizikalnih karakteristika elemenata sliva. Povreda tih ograničenja dovodi do fizikalno nemogućih situacija ili do katastrofalnih posljedica.
2. Slaba ili elastična su sva ostala ograničenja sliva. Zajedničko je obilježje tih ograničenja da nisu nužno uvjetovana fizikalnim karakteristikama elemenata sliva, te mogu biti, ako se to dozvoli, narušena do neke mjere u toku optimiranja rada sliva. Iz toga proizlazi da se na određeni sliv ta ograničenja mogu odnosno ne moraju postaviti.

Od krutih ograničenja, zbog strukture HESS-a, moraju biti zadovoljena ograničenja zbog vodne bilance, ograničenja protoka kroz turbine HE i ograničenja akumulacijskog bazena.

Od slabih ograničenja odabrana su ograničenja zbog oduzimanja vode i ograničenja zbog zahtijevanog protoka.

3.2.1. Ograničenja zbog vodne bilance

Vodna bilanca prikazuje nam kronološki stanje akumulacijskog bazena, a može se prikazati sljedećom jednadžbom:

$$x_j^{k+1} = x_j^k + w_j^k + \sum_{i \in U_j} (u_i^{k-p_{ij}} + s_i^{k-p_{ij}}) - \sum_{i \in N_j} u_i^k - \sum_{i \in O_j} o_i^k - s_j^k, \quad (10)$$

gdje je:

- x_j^k — volumen vode u akumulacijskom bazenu j na početku k -tog intervala
- w_j^k — međudotok u j -ti bazen
- U_j — skup svih neposredno uzvodnih HE i akumulacijskih bazena
- p_{ij} — vrijeme dotoka do j -tog bazena
- u_i^k — protok i -te HE
- s_i^k — preljev u i -tom bazenu
- N_j — skup svih neposredno nizvodnih HE
- O_j — skup svih funkcija sliva sa oduzimanjem vode iz j -tog bazena
- o_i^k — oduzimanje vode zbog i -te funkcije.

Ako se promatra protočna HE, koristi se također gornja jednadžba u kojoj je volumen akumulirane vode u svakom trenutku jednak nuli.

Specijalno bi se za j -tu protočnu HE dobilo:

$$0 = 0 + w_j^k + \sum_{i \in U_j} (u_i^{k-p_{ij}} + s_i^{k-p_{ij}}) - u_j^k - \sum_{i \in O_j} o_i^k - s_j^k. \quad (11)$$

Uobičajeno je da se protočnom smatra ona HE čiji se akumulacijski bazen može isprazniti za manje od

dva sata, uz pretpostavku da nema dotoka. Međutim, za kratkoročno optimiranje bitno je postojati li ili ne mogućnost akumuliranja vode među intervalima. Ako ta mogućnost postoji, tada će takva HE predstavljati za kratkoročno optimiranje akumulacijsku HE.

3.2.2. Ograničenje protoka kroz turbine

Vrijednosti za gornju i donju granicu protoka i -te HE dobiju se na osnovi karakteristike HE za raspoloživi broj agregata:

$$\underline{u}_i^k \leq u_i^k \leq \bar{u}_i^k, \quad (12)$$

gdje je:

- \underline{u}_i^k — donja granica protoka i -te HE u k -tom intervalu
- u_i^k — ukupni protok
- \bar{u}_i^k — gornja granica protoka.

3.2.3. Ograničenja akumulacijskog bazena

Ograničenja akumulacijskog bazena dana su pomoću volumena akumulirane vode:

$$\underline{x}_j \leq x_j^k \leq \bar{x}_j, \quad (13)$$

gdje je:

- \underline{x}_j — minimalni volumen akumulirane vode u j -tom bazenu
- x_j^k — akumulirana voda na početku k -tog intervala
- \bar{x}_j — maksimalni volumen akumulirane vode.

Donja i gornja granica volumena akumulirane vode ne ovise o vremenu i predstavljaju karakteristiku akumulacijskog bazena. Volumen akumulirane vode u akumulacijskom bazenu na početku dnevnog ciklusa optimiranja (početni volumen), kao i volumen na završetku dnevnog ciklusa optimiranja (krajnji volumen) smatraju se poznatim. Krajnjim volumenima akumulirane vode osiguravaju se željeni početni uvjeti za sljedeći dnevni ciklus proizvodnje.

3.2.4. Ograničenja zbog oduzimanja vode

Voda se može oduzimati iz akumulacijskog bazena ili zahvatom u riječni tok:

$$o_i^k \leq o_i^k \leq \bar{o}_i^k, \quad (14)$$

gdje je:

- o_i^k — donja granica oduzete vode objektu i u intervalu k
- o_i^k — oduzeta voda
- \bar{o}_i^k — gornja granica oduzete vode.

Ovisnost granica oduzete vode o vremenu omogućava bolje prilagođavanje potrebama korisnika sliva, a ujedno i potpunije iskorištavanje sliva.

3.2.5. Ograničenja zbog zahtijevanog protoka

Zbog različitih razloga potrebno je kontrolirati protok u pojedinim dijelovima sliva, što se za općenit slučaj može napisati:

$$q_j^k \leq \sum_{i \in D_{sj}} s_i^{k-p_{ij}} + \sum_{i \in D_{uj}} u_i^{k-p_{ij}} + \sum_{i \in D_{wj}} w_i^k \leq \bar{q}_j^k, \quad (15)$$

gdje je:

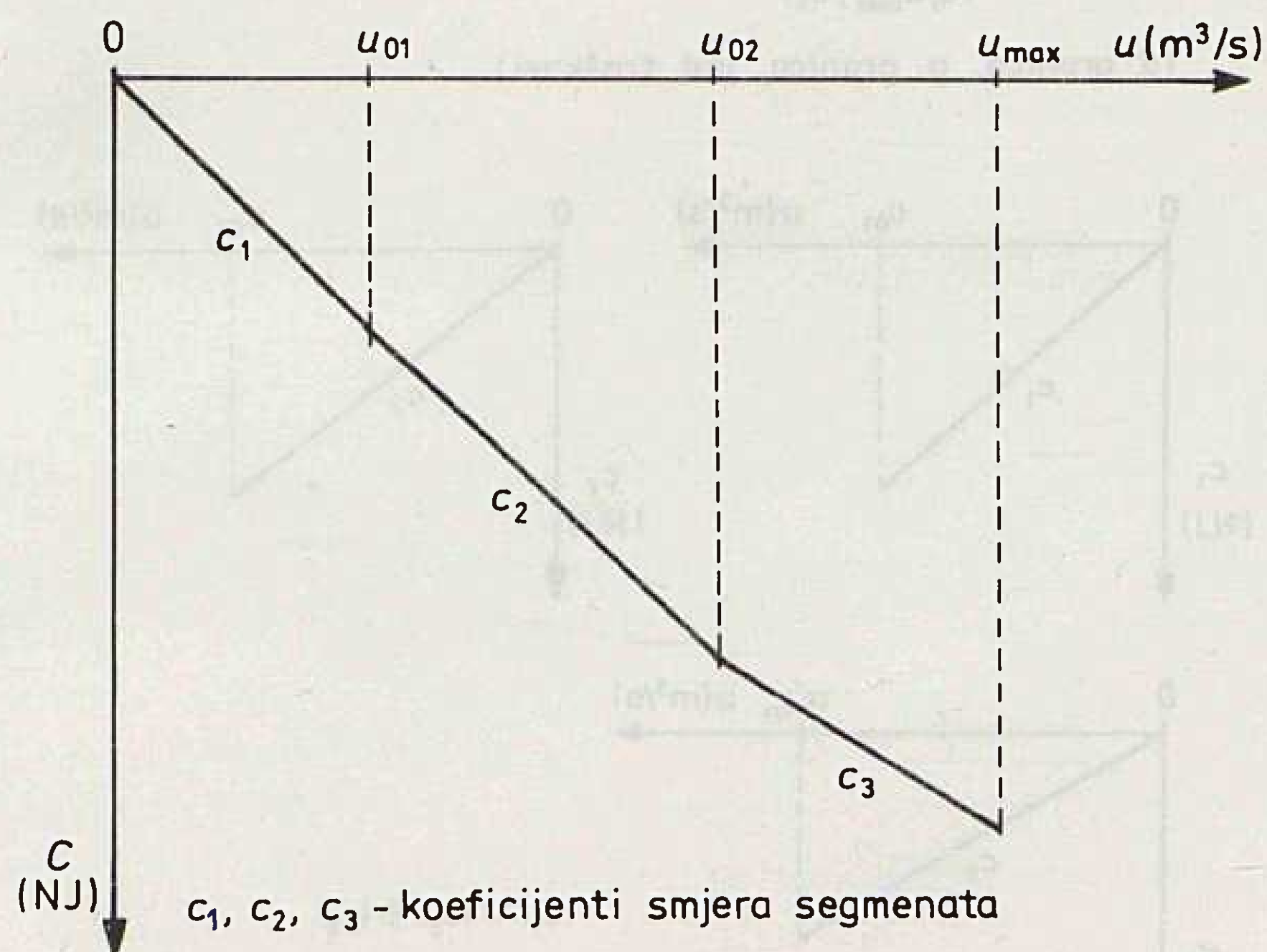
- q_j^k — minimalni zahtijevani protok u j -tom dijelu sliva za k -ti interval
- $D_{s,j}$ — skup svih objekata sliva koji prelijevaju vodu u j -ti dio sliva
- $D_{u,j}$ — skup svih HE koje ispuštaju protoke u promatrani dio sliva
- $D_{w,j}$ — skup svih međudotoka u promatrani dio sliva
- \bar{q}_j^k — maksimalni dopušteni protok za j -ti dio sliva.

4. KRITERIJ OPTIMALNOSTI

Cilj optimiranja proizvodnje HESS-a, koji se matematički prikazuje funkcijom cilja, vrlo je ovisan o konkretnoj situaciji. Naime, jedan tako veliki i složen sustav može imati, ovisno o njegovu pravnom, privrednom, ekološkom i općedruštvenom statusu, različite kriterije za ocjenu uspješnosti rada.

Primarni zadatak kratkoročnog optimiranja HESS-a, kako je usvojeno u ovom radu, jest zadovoljenje svih funkcija sliva uz maksimalnu proizvodnju električne energije. Prema tome je kriterij na osnovi kojega će se ocjenjivati uspješnost rada višenamjenskog HESS-a proizvodnja električne energije.

Pri definiranju funkcije cilja treba imati na umu da se problem želi prikazati kao problem određivanja mrežnih tokova s minimalnim troškovima. Zbog toga se iz karakteristike proizvodnje električne energije svake HE formira odgovarajuća karakteristika troškova. Karakteristika troškova HE, čija je karakteristika proizvodnje dana na slici 1, prikazana je na slici 5. Na toj slici troškovi proizvodnje označeni su sa C , a koeficijent smjera j -tog segmenata označen je sa c_j .

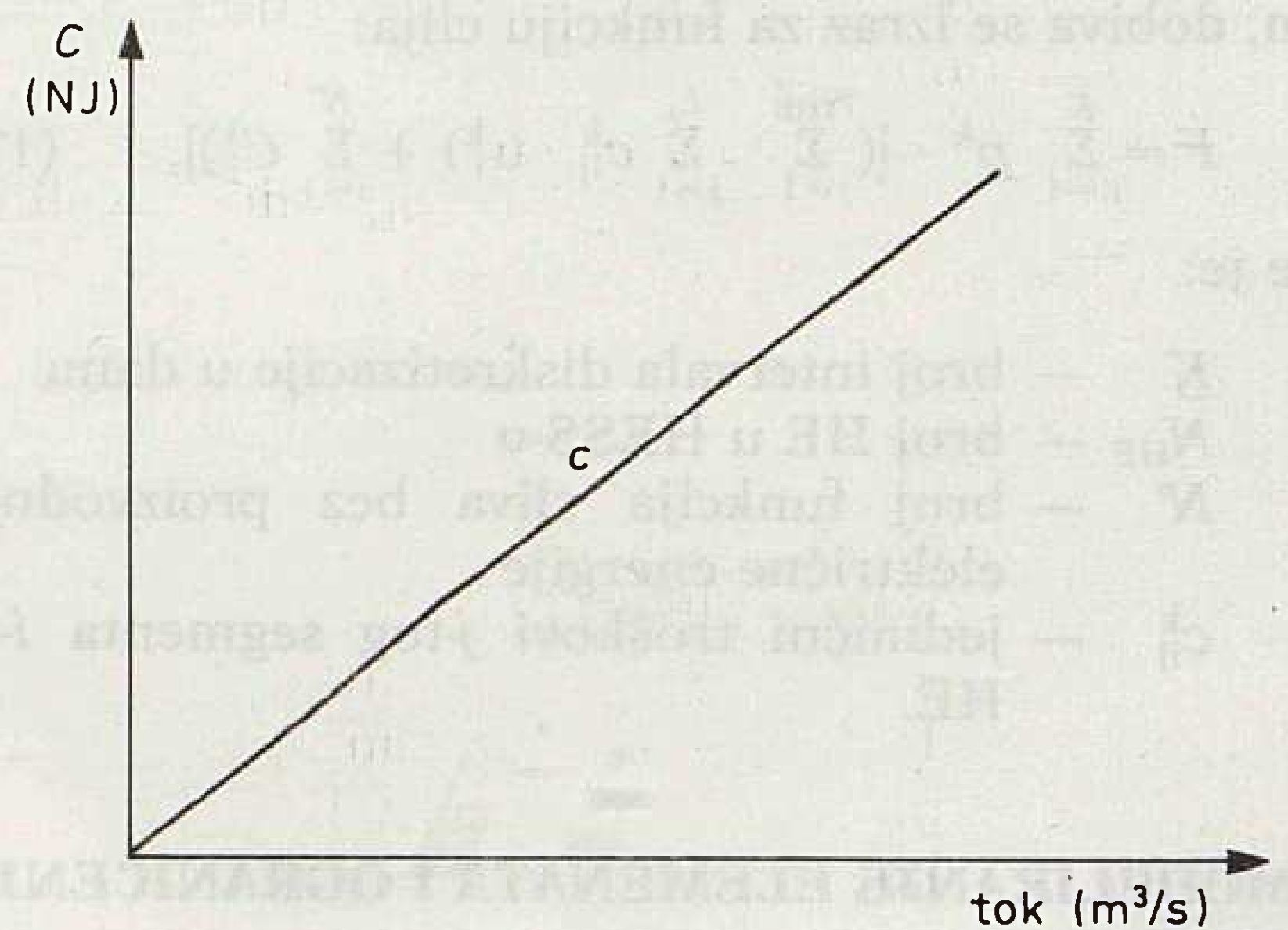


Slika 5. Karakteristika troškova HE

Kao što se sa slike 5. vidi, karakteristika troškova dobiva se zrcaljenjem karakteristike HE preko apscisne osi. Na taj način dobivaju se negativni troškovi iznosom jednaki snazi HE za određen protok u toku intervala diskretizacije. Koeficijent smjera svakog segmenta karakteristike troškova HE ima značenje

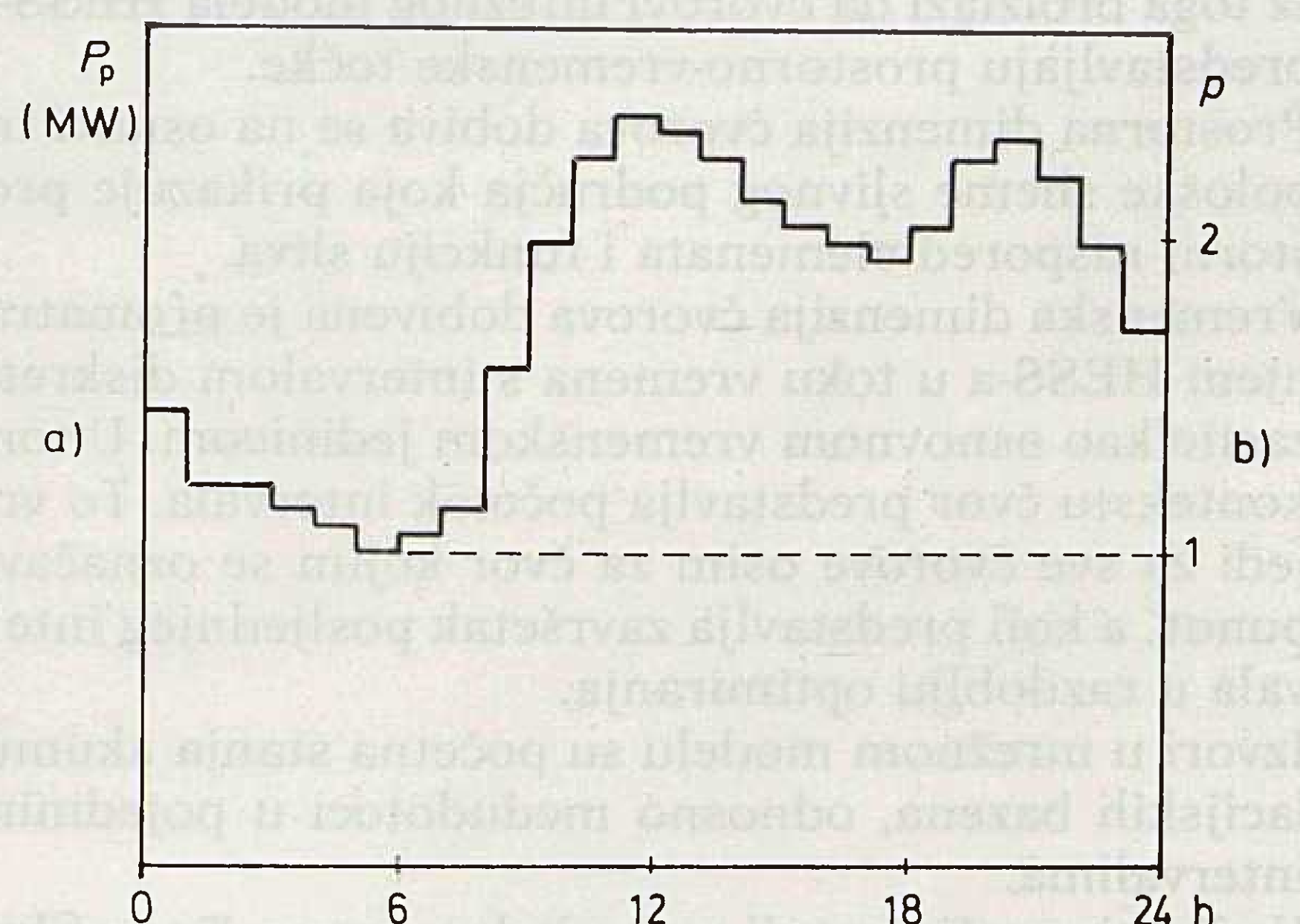
jediničnih troškova za taj segment. Kako koeficijent smjera ovisi o bruto-padu HE, a bruto-pad se određuje na početku tekućeg intervala, to će jedinični troškovi biti vremenski ovisni.

Za ostale funkcije sliva, u koje se ubraja akumuliranje vode u bazenima, regulacija protoka, oduzimanje vode i preljev, funkcije troškova formiraju se za konkretan slučaj. Oblik tih funkcija prikazan je na slici 6, uz napomenu da, prema potrebi, koeficijent smjera zrake može biti i negativan. Iznosi jediničnih troškova treba međusobno tako uskladiti da se postigne željeni cilj.



Slika 6. Karakteristika troškova ostalih funkcija sliva

Osim funkcija troškova, potrebno je uvesti i težinske faktore. Težinski faktori uvode se radi osiguravanja prioriteta proizvodnje električne energije u periodima veće potražnje. Iznosi težinskih faktora određuju se na osnovi zadanog dnevnog dijagrama opterećenja EES-a, primjer kojeg je dan na slici 7a. Dnevni dijagram opterećenja pretvara se u dnevni dijagram težinskih faktora tako, što se najmanjem dnevnom opterećenju pridruži faktor 1, a ostalim opterećenjima faktori koji pokazuju njihovu relativnu veličinu u odnosu na najmanje dnevno opterećenje, kao što je pokazano na slici 7 b.



Slika 7. a) dnevni dijagram opterećenja HESS-a; b) dijagram težinskih faktora

Težinski troškovi dobivaju se prema formuli:

$$C_{i,i}^k = p^k \cdot C_i^k \quad (16)$$

gdje je:

$C_{i,i}^k$ — težinski troškovi i -te funkcije HESS-a u k -tom intervalu

p^k — težinski faktor

C_i^k — troškovi i -te funkcije.

Budući da su definirani težinski troškovi, može se navedeni kriterij optimalnosti zamijeniti kriterijem minimalnih težinskih troškova rada HESS-a.

Ako se izdvoje troškovi proizvodnje HE od ostalih funkcija sliva i izraze jediničnim troškovima i protokom, dobiva se izraz za funkciju cilja:

$$F = \sum_{k=1}^K p^k \cdot \left[\left(\sum_{i=1}^{N_{HE}} \sum_{j=1}^{L_i} c_{ij}^k \cdot u_i^k \right) + \sum_{i=1}^N C_i^k \right], \quad (17)$$

gdje je:

K — broj intervala diskretizacije u danu

N_{HE} — broj HE u HESS-u

N — broj funkcija sliva bez proizvodnje električne energije

c_{ij}^k — jedinični troškovi j -tog segmenta i -te HE.

5. MODELIRANJE ELEMENATA I OGRANIČENJA HESS-a

Mrežni model potreban za kratkoročno optimiranje rada HESS-a može se postaviti jer problem ima mrežnu strukturu koja se može uočiti u izrazu 10. Za potrebe modeliranja bolje je taj izraz napisati u sljedećem obliku:

$$x_j^{k+1} + \sum_{i \in N_j} u_i^k + \sum_{i \in O_j} o_i^k + s_j^k - x_j^k - \sum_{i \in U_j} (u_i^{k-p_{ij}} + s_i^{k-p_{ij}}) = w_j^k. \quad (18)$$

Ako se međudotok, kao zadana veličina, poistovjeti s intenzitetom j -tog čvora u k -tom intervalu, a varijable na lijevoj strani gornje jednadžbe s tokovima u granama koje spajaju te čvorove, onda prethodna jednadžba predstavlja jednadžbu ograničenja mrežnog problema.

Iz toga proizlazi da čvorovi mrežnog modela HESS-a predstavljaju prostorno-vremenske točke.

Prostorna dimenzija čvorova dobiva se na osnovi topološke sheme slivnog područja koja prikazuje prostorni raspored elemenata i funkciju sliva.

Vremenska dimenzija čvorova dobivena je promatranjem HESS-a u toku vremena s intervalom diskretizacije kao osnovnom vremenskom jedinicom. U tom kontekstu čvor predstavlja početak intervala. To vrijedi za sve čvorove osim za čvor kojim se označava ponor, a koji predstavlja završetak posljednjeg intervala u razdoblju optimiranja.

Izvori u mrežnom modelu su početna stanja akumulacijskih bazena, odnosno međudotoci u pojedinim intervalima.

U cijeloj mreži postoji samo jedan ponor. To je fiktivan čvor čiji se intenzitet određuje u skladu s uvjetom 4. Fizikalno se to može interpretirati kao poslje-

dica činjenice da promatramo zatvoren sistem u kojemu količina vode mora ostati nepromijenjena.

5.1. Model HE

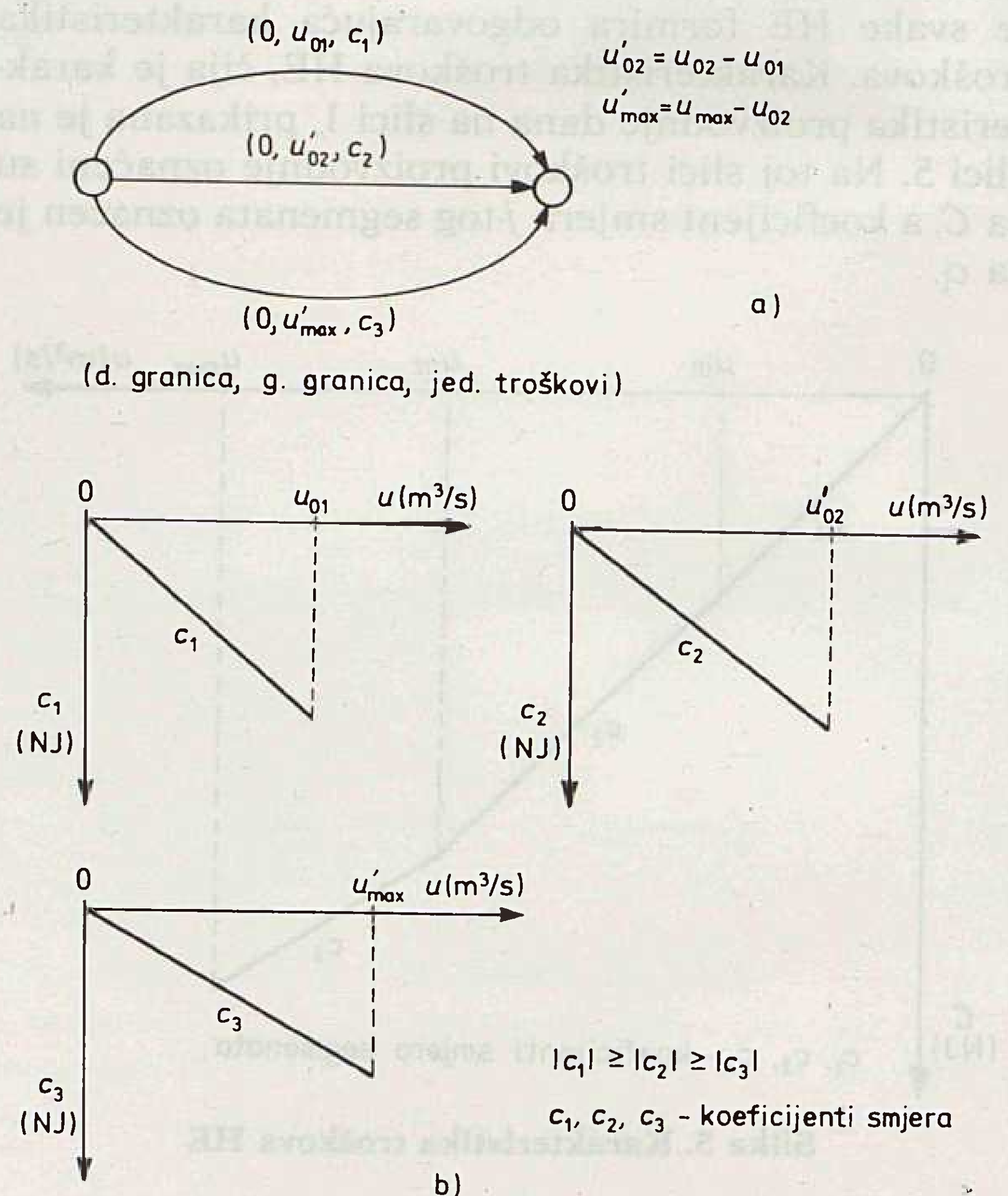
Bez obzira o kojoj se od promatranih HE radi, mrežni model HE sastoji se od dvaju čvorova između kojih se nalazi nekoliko paralelnih grana.

Čvorovi simboliziraju prostorno ograničenje HE, i to tako da se jednim čvorom označava mjesto ulaska vode u turbine, a drugim mjesto izlaska vode iz turbine. Budući da se smatra da u HE nema gubitaka ni izvora vode, to su intenziteti obaju čvorova jednaki nuli. Oba čvora nalaze se u istom intervalu jer je vrijeme protoka među njima zanemarivo.

Granama je modelirana proizvodnja HE, i to tako da je svakoj grani pridružena funkcija troškova koja odgovara pojedinim segmentima karakteristike troškova HE. To je moguće jer je karakteristika troškova HE konveksna, pa se mrežnim programiranjem dobivaju ispravna rješenja.

Za svaku granu se na početku pojedinog stupnja optimiranja definiraju ograničenja protoka za sve odgovarajuće intervale. Ograničenja protoka određuju se na temelju podataka o raspoloživom broju agregata i padu.

Na slici 8a prikazan je model HE sa dva agregata u normalnom pogonu. Odgovarajuće karakteristike troškova svake grane za karakteristiku troškova HE danih na slici 8a prikazane su na slici 8b.



Slika 8. a) mrežni model HE sa dva agregata u normalnom pogonu; b) pripadne karakteristike troškova grana

Vrijeme dotoka do ulaznog čvora HE se za razne tipove HE razlikuje. Za pribranske i protočne HE to se vrijeme zanemaruje isto kao i za derivacione HE s

tlačnim dovodom. Naime, za HE s tlačnim dovodom vrijeme dotoka zanemarivat će se bez obzira na dužinu dovoda jer se protok u tlačnom cjevovodu može promijeniti unutar vremena mnogo kraćeg od realnog trajanja jednog vremenskog stupnja.

Jedino za derivacione HE s gravitacionom dovodom treba voditi brigu o vremenu protoka od zahvata do turbine HE.

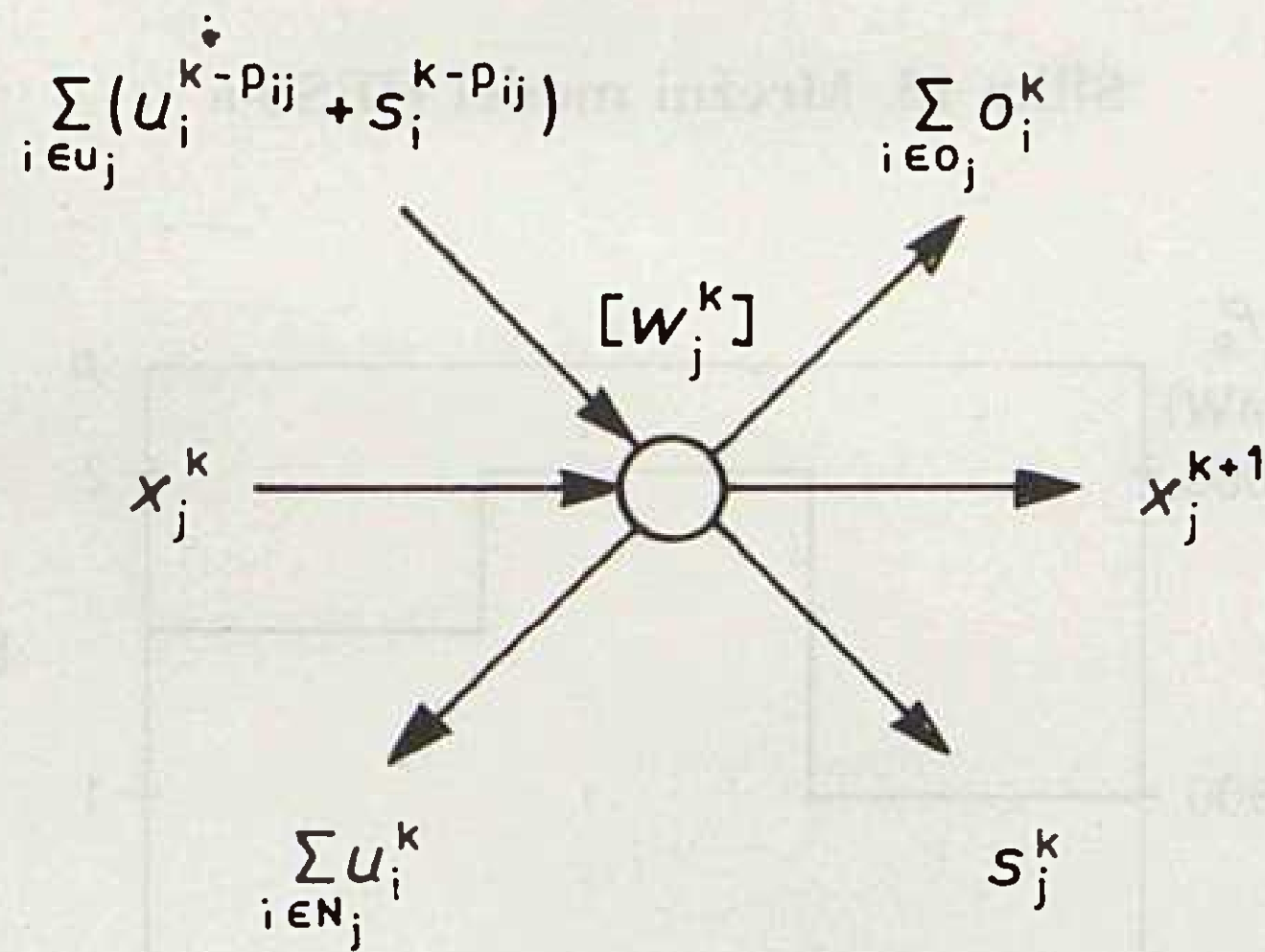
5.2. Model akumulacijskog bazena

Akumulacijski bazen modelira se jednim čvorom koji je sa po jednom granom spojen s istovrsnim čvorovima u susjednim vremenskim intervalima.

Čvor je, osim sa spomenute dvije, incidentan i s drugim granama, a intenzitet čvora jednak je međudotoku. Za protoke incidentnih grana i za intenzitet čvora mora vrijediti jednačba 18.

Grane koje ulaze odnosno izlaze iz čvora predstavljaju pojedine veličine u spomenutoj jednačbi. Mogućnost akumuliranja vode i ograničenja akumulacijskog bazena modelirana su granama koje spajaju taj čvor s istovrsnim čvorovima u susjednim intervalima, protoci kojih su označeni s x , a predstavljaju početne volumene akumulirane vode u bazenu za odgovarajuće intervale.

Model j -tog akumulacijskog bazena za k -ti interval prikazan je na slici 9. Veličine na slici imaju značenje suglasno jednačbi 18.



Slika 9. Mrežni model akumulacijskog bazena

5.3. Modeli ostalih funkcija sliva

Mrežni modeli ostalih funkcija sliva kao, što su odzimanja vode, preljeva i regulacija protoka, sastoje se od dva čvora i grane koja ih povezuje.

Čvorovima se modelira prostorna odnosno formalna točka početka i završetka promatrane funkcije.

Ograničenjima toka kroz granu modeliraju se različiti zahtjevi koji proizlaze iz navedenih funkcija.

Primjer mrežnog modela za spomenute funkcije sliva dan je slikom 10, na kojoj je prikazan model ograničenja zbog zahtijevanog protoka u određenom dijelu HESS-a.

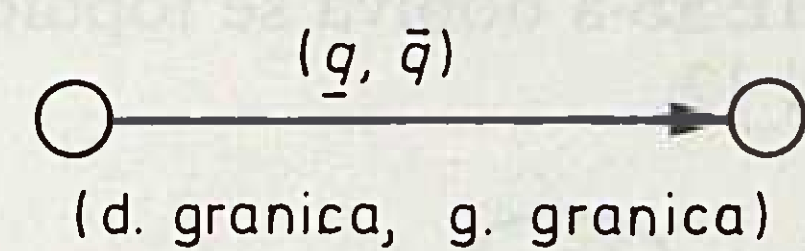
Međudotok se modelira intenzitetom čvora u kojem voda ulazi u promatranu cjelinu HESS-a, kao za primjer akumulacijskog bazena prikazan na slici 9.

Na osnovi prikazanih modela elemenata i ograničenja može se formirati mrežni model sustava.

Mrežni model HESS-a ovisi o sljedećim kategorijama:

1. vrsti elemenata u slivu,
2. prostornom rasporedu elemenata sliva,
3. funkcijama HESS-a,
4. trajanju intervala diskretizacije i kašnjenju dotoka.

Modeli elemenata odnosno ograničenja HESS-a kombiniraju se u mrežni model u skladu s njihovim prostornim i funkcionalnim odnosima.



Slika 10. Mrežni model ograničenja zbog zahtijevanog protoka

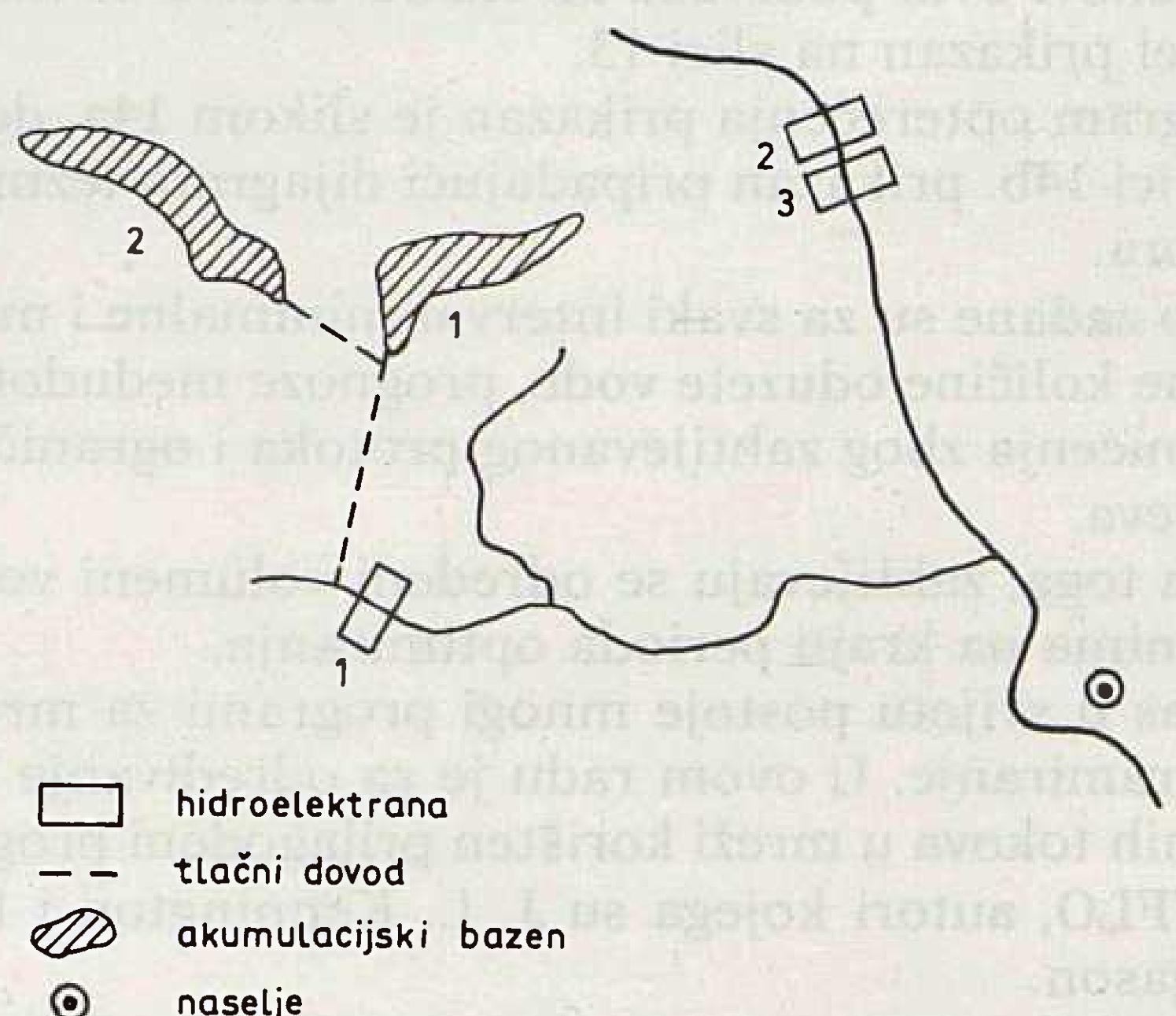
Na osnovi iznesenog može se zaključiti da svaka specifičnost sliva dovodi do usloznavanja odnosno pojednostavnjenja modela. Zbog toga se ne teži općenitim modelima, jer se u tom slučaju gube osnovne prednosti mrežnih modela — brzina proračuna i jednostavnost prikazivanja situacije.

Prema tome, za svaki promatrani sliv treba se, u skladu s postavljenim zahtjevima i karakteristikama sliva formirati odgovarajući mrežni model koji se zatim koristi u procesu optimiranja.

6. PRIMJER KRATKOROČNOG OPTIMIRANJA RADA HESS-a

Za primjer je uzet dio realnog slivnog područja koji je, međutim, s obzirom na funkcije i prostorne odnose modificiran kako bi se demonstriralo modeliranje karakterističnih situacija koje se mogu susresti u praksi.

Topografska shema promatrane situacije prikazana je na slici 11. Kako se sa slike vidi, radi se o HESS-u u kojem se nalaze tri HE, od kojih je ona pod brojem 1 derivacijska, dok su brojevima 2 i 3 označene protočne HE u kaskadi. U slivu se nalaze i dva akumulacijska bazena, označena brojevima 1 i 2.

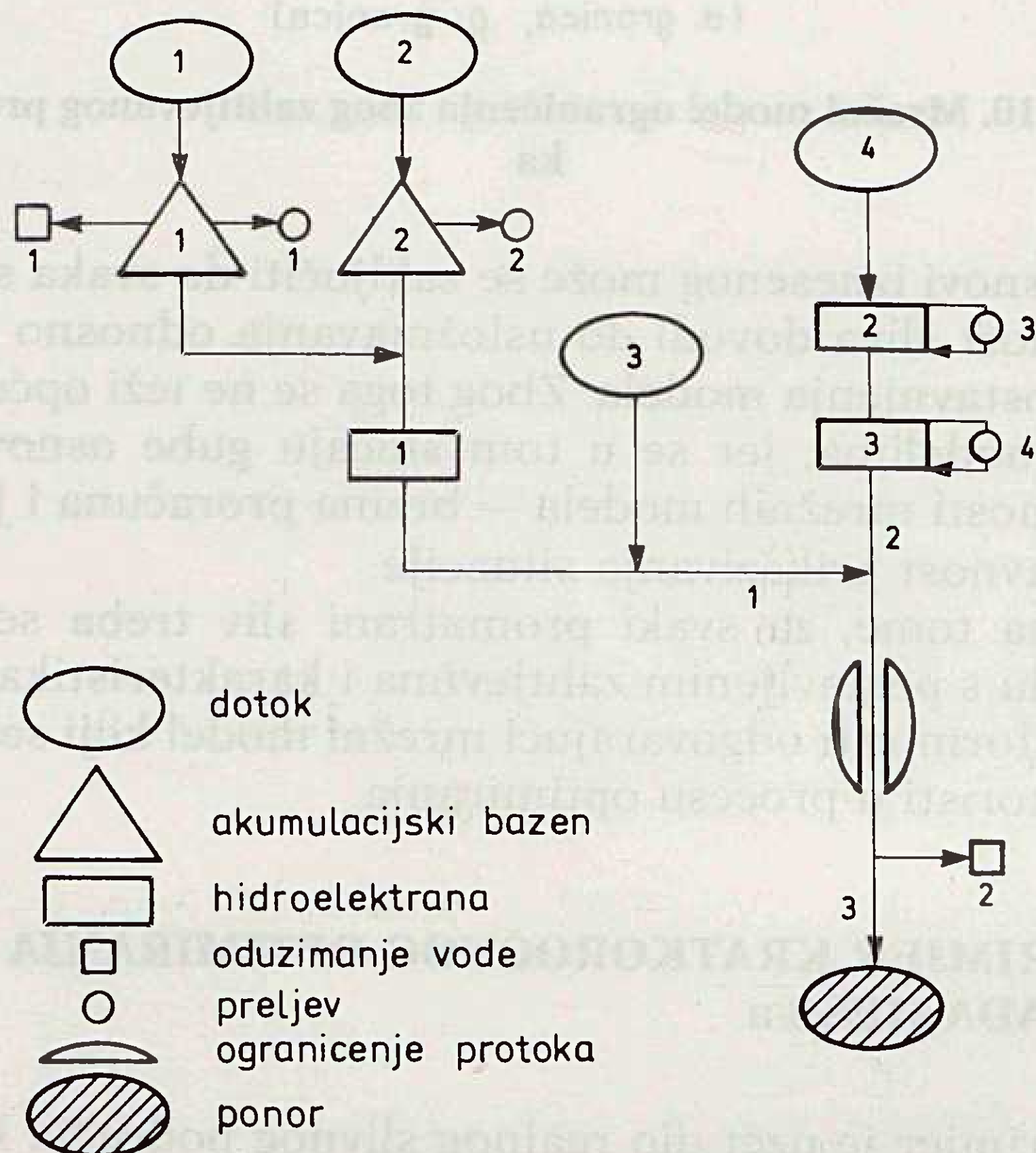


Slika 11. Topografski prikaz slivnog područja

Derivacijska HE se u normalnom pogonu vodom opskrbljuje iz drugog, a u slučaju izvanredne situacije iz prvog bazena. S oba bazena prva HE spojena je tlačnim dovodom.

Funkcije HESS-a obuhvaćaju, osim proizvodnje električne energije, opskrbu vodom industrijskih i naseljenih područja, te regulaciju protoka u pojedinim dijelovima sliva. Da se dobije cjelovita slika funkcija HESS-a, treba još poznavati prostorni raspored i povezanost preljevnih polja u slivu.

Na osnovi topografske sheme i prostornog razmještaja funkcija HESS-a dobiva se topološka shema prikazana na slici 12.



Slika 12. Topološka shema HESS-a

Pretpostavljeno je da se radi o periodu optimiranja u trajanju od jednog dana, iako se period optimiranja može proizvoljno odrediti. Interval diskretizacije za odabrani period optimiranja iznosi trećinu perioda optimiranja.

Kašnjenje protoka među određenim točkama sliva jednako je trajanju intervala diskretizacije.

Na osnovi ovih podataka za HESS dobiva se mrežni model prikazan na slici 13.

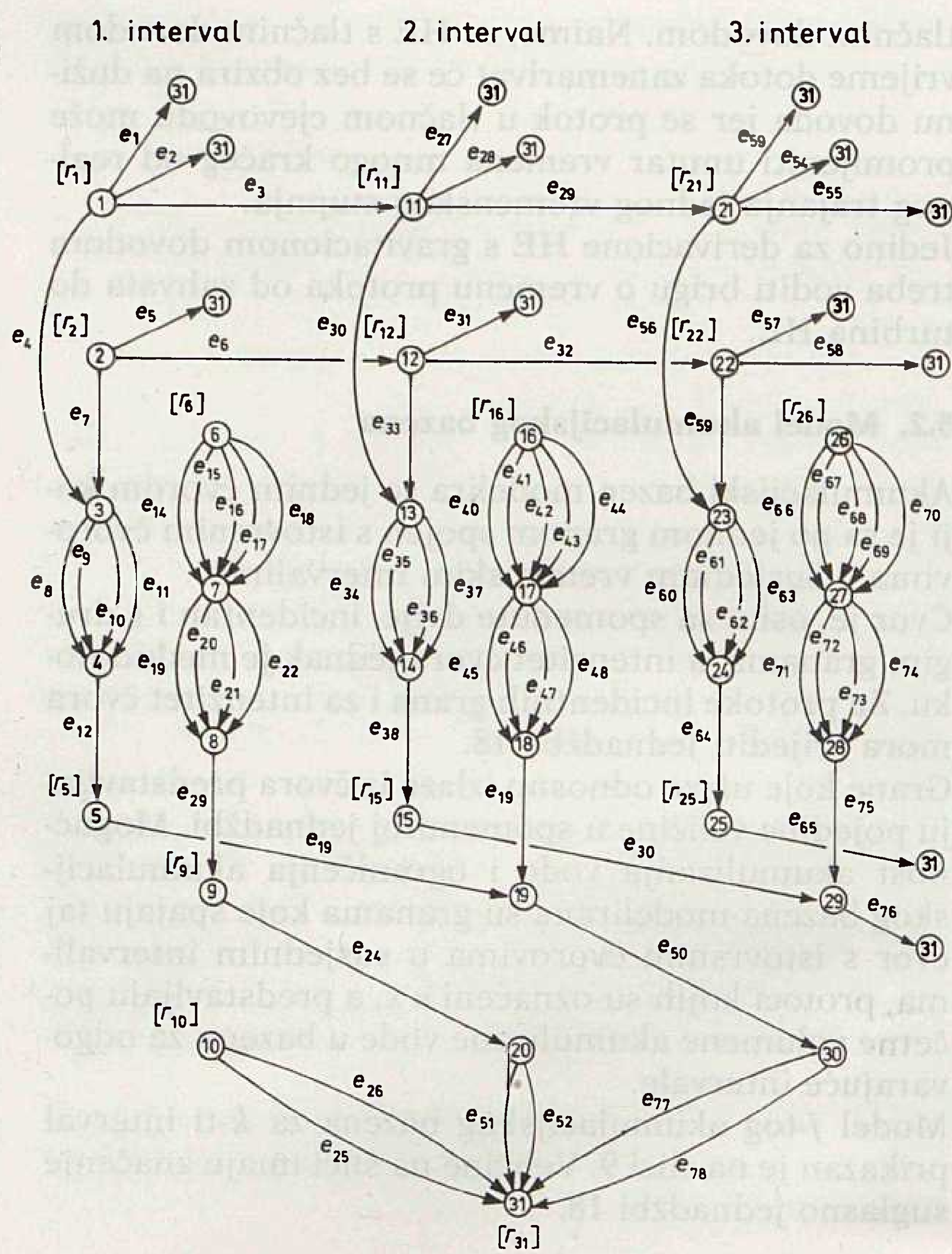
Dijagram opterećenja prikazan je slikom 14a, dok je na slici 14b. prikazan pripadajući dijagram težinskih faktora.

Uz to zadane su za svaki interval minimalne i maksimalne količine oduzete vode, prognoze međudotoka, ograničenja zbog zahtijevanog protoka i ograničenja preljeva.

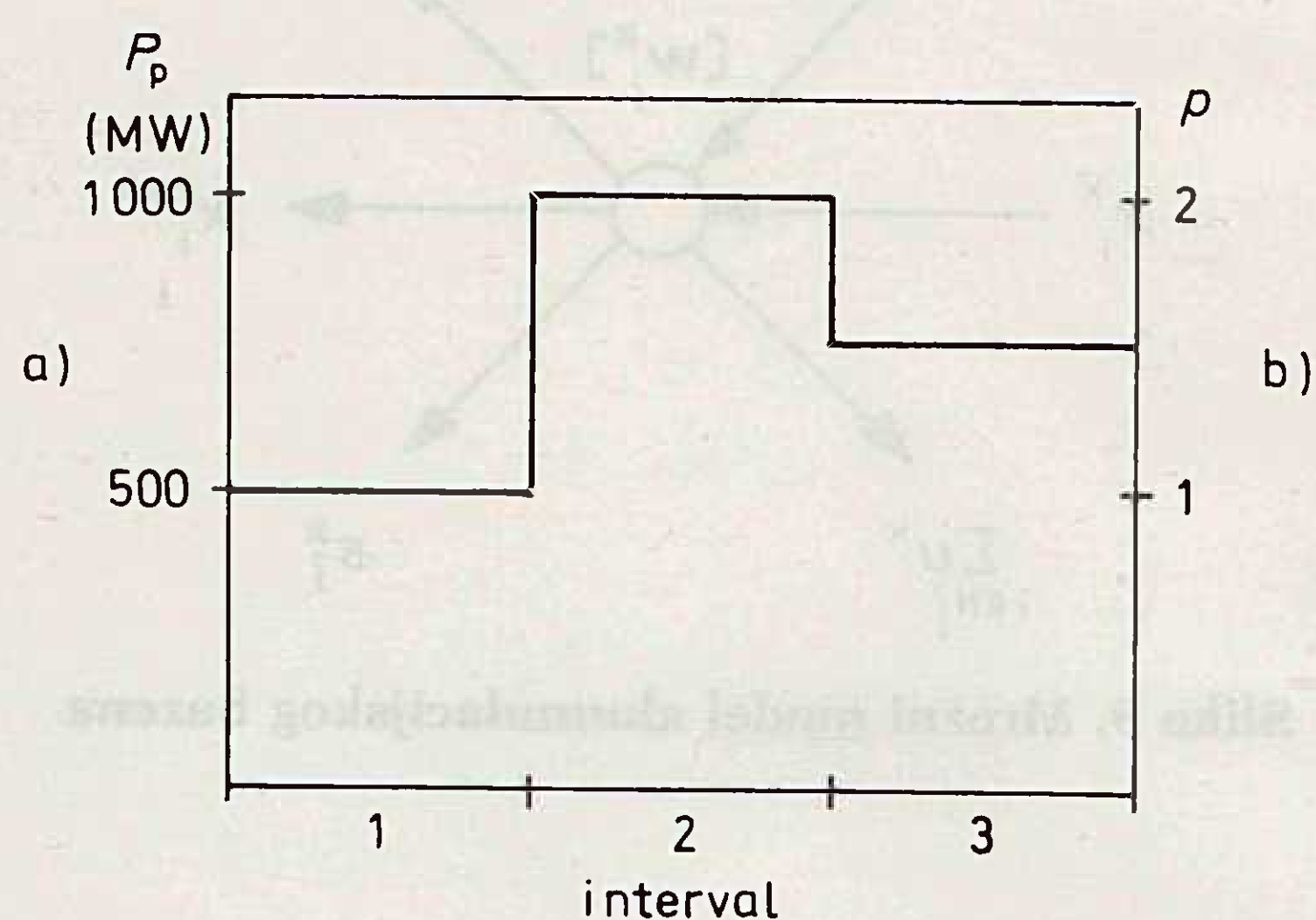
Osim toga, zahtijevaju se određeni volumeni vode u bazenima na kraju perioda optimiranja.

Danas u svijetu postoje mnogi programi za mrežno programiranje. U ovom radu je za određivanje optimalnih tokova u mreži korišten prilagođeni program NETFLO, autori kojega su J. L. Kennington i R. V. Helgason.

Na početku svakog intervala provedeno je optimiranje s ažuriranim vrijednostima mreže. Podaci za in-



Slika 13. Mrežni model HESS-a



Slika 14. a) dnevni dijagram opterećenja HESS-a; b) dijagram težinskih faktora

tenzitetu čvorova i podaci za grane prikazani su, međutim, samo za prvo optimiranje u tablicama. U tim tablicama ujedno su navedena objašnjenja svakog elementa mrežnog modela HESS-a.

Ograničenja tokova u granama izraženi u (m^3/s), te jedinični troškovi dani u ($NJ/m^3/s$), uz napomenu da 1 MW vrijedi 1 000 NJ, prikazani su u tablici 2. (d. granica / g. granica / jedinični troškovi).

Kako se vidi iz prikazane tablice, jedinični troškovi su pridruženi nekim preljevima i granama završnog stanja akumulacijskih bazena. Ti su troškovi odabrani tako da je njihov iznos redovito za red veličina manji od jediničnih troškova za HE.

Tablica 1. Intenziteti čvorova za prvo optimiranje u (m³/s)

Oznaka	Intenzitet	Napomena
r ₁	134	1. međudotok + 1. bazen, 1. interval
r ₂	152	1. međudotok + 1. bazen, 1. interval
r ₅	5	3. međudotok, 1. interval
r ₆	35	4. međudotok, 1. interval
r ₉	35	početni dotok iz čvora 5, 1. interval
r ₁₀	75	početni dotok iz čvora 9, 1. interval
r ₁₁	31	1. međudotok, 2. interval
r ₁₂	30	2. međudotok, 2. interval
r ₁₅	5	3. međudotok, 2. interval
r ₁₆	35	4. međudotok, 2. interval
r ₂₁	32	1. međudotok, 3. interval
r ₂₂	30	2. međudotok, 3. interval
r ₂₅	7	3. međudotok, 3. interval
r ₂₆	38	4. međudotok, 3. interval
r ₃₁	-644	ponor

Tablica 2. Parametri grana za prvo optimiranje

Grana	Parametri			Napomena
e ₁	0/	65/	10	1. preljev, 1. interval
e ₂	10/	15/	0	1. oduzimanje, 1. interval
e ₃	14/	122/	-100	1. bazen, početno stanje za 2. interval
e ₄	0/	0/	0	tlačni dovod od 1. bazena, 1. interval
e ₅	0/	65/	0	2. preljev, 1. interval
e ₆	15/	154/	0	2. bazen, početno stanje za 2. interval
e ₇	0/	70/	0	tlačni dovod od 2. bazena, 1. interval
e ₈	0/	13/	-1115	1. grana 1. HE, 1. interval
e ₉	0/	12/	-1042	2. grana 1. HE, 1. interval
e ₁₀	0/	11/	-909	3. grana 1. HE, 1. interval
e ₁₁	0/	14/	-714	4. grana 1. HE, 1. interval
e ₁₂	0/	70/	0	odvod 1. HE, 1. interval
e ₁₃	0/	70/	0	1. korito, 1. interval
e ₁₄	0/	11/	-309	1. grana 2. HE, 1. interval
e ₁₅	0/	16/	-225	2. grana 2. HE, 1. interval
e ₁₆	0/	16/	-200	3. grana 2. HE, 1. interval
e ₁₇	0/	7/	-114	4. grana 2. HE, 1. interval
e ₁₈	0/	60/	0	3. preljev, 1. interval
e ₁₉	0/	18/	-267	1. grana, 3. HE, 1. interval
e ₂₀	0/	22/	-218	2. grana, 3. HE, 1. interval
e ₂₁	0/	10/	-160	3. grana, 3. HE, 1. interval
e ₂₂	0/	60/	0	4. preljev, 1. interval
e ₂₃	0/	80/	0	2. korito, 1. interval
e ₂₄	30/	90/	0	zahtijevani protok, 1. interval
e ₂₅	0/	150/	0	3. korito, 1. interval
e ₂₆	4/	4/	0	2. oduzimanje, 1. interval
e ₂₇	0/	50/	20	1. preljev, 2. interval
e ₂₈	24/	28/	0	1. oduzimanje, 2. interval
e ₂₉	14/	122/	-200	1. bazen, početno stanje za 3. interval
e ₃₀	0/	0/	0	tlačni dovod od 1. bazena, 2. interval
e ₃₁	0/	50/	0	2. preljev, 2. interval
e ₃₂	15/	154/	0	2. bazen, početno stanje za 3. interval
e ₃₃	0/	70/	0	tlačni dovod od 2. bazena, 2. interval
e ₃₄	0/	13/	-2230	1. grana 1. HE, 2. interval
e ₃₅	0/	12/	-2084	2. grana 1. HE, 2. interval
e ₃₆	0/	11/	-1818	3. grana 1. HE, 2. interval
e ₃₇	0/	14/	-1428	4. grana 1. HE, 2. interval
e ₃₈	0/	70/	0	odvod 1. HE, 2. interval
e ₃₉	0/	70/	0	1. korito, 2. interval
e ₄₀	0/	11/	-618	1. grana 2. HE, 2. interval
e ₄₁	0/	16/	-450	2. grana 2. HE, 2. interval

Grana	Parametri			Napomena
e ₄₂	0/	16/	-400	3. grana 2. HE, 2. interval
e ₄₃	0/	7/	-228	4. grana 2. HE, 2. interval
e ₄₄	0/	60/	0	3. preljev, 2. interval
e ₄₅	0/	18/	-534	1. grana 3. HE, 2. interval
e ₄₆	0/	22/	-436	2. grana 3. HE, 2. interval
e ₄₇	0/	10/	-320	3. grana 3. HE, 2. interval
e ₄₈	0/	60/	0	4. preljev, 2. interval
e ₄₉	0/	80/	0	2. korito, 2. interval
e ₅₀	30/	90/	0	zahtijevani protok, 2. interval
e ₅₁	0/	150/	0	3. korito, 2. interval
e ₅₂	10/	10/	0	2. oduzimanje, 2. interval
e ₅₃	0/	65/	10	1. preljev, 3. interval
e ₅₄	17/	24/	0	1. oduzimanje, 3. interval
e ₅₅	115/	122/	-150	1. bazen, završno stanje
e ₅₆	0/	0/	0	tlačni dovod od 1. bazena, 1. interval
e ₅₇	0/	65/	0	2. preljev, 3. interval
e ₅₈	139/	154/	-150	2. bazen, završno stanje
e ₅₉	0/	70/	0	tlačni dovod od 2. bazena, 3. interval
e ₆₀	0/	13/	-1637	1. grana 1. HE, 3. interval
e ₆₁	0/	12/	-1563	2. grana 1. HE, 3. interval
e ₆₂	0/	11/	-1364	3. grana 1. HE, 3. interval
e ₆₃	0/	14/	-1071	4. grana 1. HE, 3. interval
e ₆₄	0/	70/	0	odvod 1. HE, 3. interval
e ₆₅	0/	70/	0	1. korito, 3. interval
e ₆₆	0/	11/	-464	1. grana 2. HE, 3. interval
e ₆₇	0/	16/	-338	2. grana 2. HE, 3. interval
e ₆₈	0/	16/	-300	3. grana 2. HE, 3. interval
e ₆₉	0/	7/	-171	4. grana 2. HE, 3. interval
e ₇₀	0/	60/	0	3. preljev, 3. interval
e ₇₁	0/	18/	-401	1. grana 3. HE, 3. interval
e ₇₂	0/	22/	-327	2. grana 3. HE, 3. interval
e ₇₃	0/	10/	-320	3. grana 3. HE, 3. interval
e ₇₄	0/	60/	0	4. preljev, 3. interval
e ₇₅	0/	80/	0	2. korito, 3. interval
e ₇₆	30/	90/	0	zahtijevani protok, 3. interval
e ₇₇	0/	150/	0	3. korito, 3. interval
e ₇₈	8/	8/	0	2. oduzimanje, 3. interval

Cilj toga je da se u svakom čvoru kod kojeg za vodu konkurira nekoliko grana odredi prioritet raspodjele, a da se pritom ne dovede u pitanje prioritet proizvodnje električne energije.

Na taj način se mogu vrlo jednostavno forsirati određene funkcije HEES-a i time, u sklopu danih granica, prilagođavati trenutnim potrebama.

Kao rezultat optimiranja dobije se iznos minimalnih težinskih troškova u mreži, te iznosi optimalnih tokova kroz pojedine grane mreže, kao i pripadajući težinski troškovi. Snage kojima su opterećene pojedine HE u svakom intervalu dobiju se iz težinskih troškova odgovarajućih grana i težinskog faktora. Tako se za prvu HE dobiva tablica 3.

7. ZAKLJUČAK

Metoda mrežnog programiranja pokazala se vrlo uspješnom u optimiranju proizvodnje višenamjenskog hidroenergetskog sustava sliva.

Osnovne prednosti metode mrežnog programiranja jesu kratko vrijeme proračuna, uvažavanje energetske i neenergetske zahtjeva na sustav i relativno mali zahtjev na memoriju računala. Sve te karakteristike čine je vrlo pogodnom za kratkoročno optimi-

Tablica 3. Snaga prve HE za prvo optimiranje

	Grana	Tok (m ³ /s)	Troškovi (NJ)	Snaga (MW)
1. interval $p = 1,0$	e ₀₈	0	0	0
	e ₀₉	0	0	0
	e ₁₀	0	0	0
	e ₁₁	0	0	0
ukupno		0	0	0
2. interval $p = 2,0$	e ₃₄	13	-28990	14,5
	e ₃₅	12	-25008	12,5
	e ₃₆	11	-19998	10,0
	e ₃₇	11	-15708	7,9
ukupno		47	-89704	44,9
3. interval $p = 1,5$	e ₆₀	13	-21749	14,5
	e ₆₁	12	-18756	12,5
	e ₆₂	1	-1364	0,9
	e ₆₃	0	0	10
ukupno		26	-41869	27,9
u k u p n o		73	-131573	

ranje rada HESS-a zbog zahtijevanog kratkog vremena proračuna i mogućnosti obrade kompleksnog modela sustava koji je rezultat velikog stupnja detaljizacije prisutnog kod kratkoročnih optimiranja.

Da bi se postavljeni problem mogao obraditi ovom metodom, potrebno ga je prikazati kao deterministički i linearan, čime se u slučaju kratkoročnog optimiranja ne čine velike greške.

LITERATURA

- [1] DREZGA, I.: »Kratkoročno optimiranje rada hidroenergetskog sustava sliva«, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1989.
- [2] HABIBOLLAHZADEH, H.: »Optimal Short-term Operation Planning of Hydroelectric Power Systems«, The Royal Institute of Technology, Stockholm, 1983.
- [3] KENNINGTON, J. L.; HELGASON R. V.: »Algorithms for Network Programming«, John Wiley and Sons, New York, 1981.
- [4] WAKAMORI, F.; MASUI, S.; MORITA, K.; SUGIYAMA, T.: »Layered Network Model Approach to Optimal Daily Hydro Scheduling«, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 9, 1982.

SHORT-TERM OPERATIONS OPTIMIZATION OF A MULTIPURPOSE RIVER SYSTEM

Short-term operations optimization of a multipurpose river system using network programming is described. Models of single elements and functions are designed and their integration into a network model is shown. An application of the network model for shortterm optimization is also presented.

KURZFRISTIGE ARBEITSOPTIMIERUNG DES MEHRZWECKIGEN HYDROENERGETISCHEN GEWÄSSERSYSTEMS

Hier schildert man die kurzfristige Arbeitsoptimierung des mehrzweckigen hydroenergetischen Gewässersystems (HESS) durch die Methode des Netzprogrammierens. Dazu schuff man Modelle einzelner Elemente und Funktionen des HESS und schilderte ihre Integrierung ins Netzmodell. An einem Beispiel wurde die Anwendung des Netzprogrammierens für die kurzfristige Programmierung des HESS gezeigt.

КРАТКОСРОЧНОЕ УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ БОЛЬШОГО НАЗНАЧЕНИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БАСЕЙНА РЕКИ

Представлено краткосрочное улучшение работы большого назначения гидроэнергетической системы бассейна реки по методу сетевого программирования. С этой целью выполнены модели отдельно взятых элементов и функция гидроэнергетической системы бассейна реки, а также представлено их соединение в сетевая модель. На примере показано применение сетевого программирования для краткосрочного улучшения гидроэнергетической системы бассейна реки.

Naslov pisca:

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

Uredništvo primilo rukopis
 1990-10-03

PRILOG RAZVOJU NOVIH POSTUPAKA OPTIMIZACIJE U PROJEKTIRANJU DALEKOVODA

Dr. Dževad Muftić, Zagreb

UDK 621.315.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Članak je uvod u seriju članaka koji daju koncepciju integralnog informacijskog sistema za projektiranje i građenje dalekovoda.

Ključne riječi: projektiranje dalekovoda, integralni informacijski sistem, razmještaj stupova.

Dio I.

**PROJEKTIRANJE DALEKOVODA;
KONVENCIONALNI POSTUPAK,
SVJETSKA PRAKSA I NOVIJE
TENDENCIJE**

KRATAK PRIKAZ KONVENCIONALNOG POSTUPKA PROJEKTIRANJA

Ako projektiranje dalekovoda shvatimo u užem smislu, kao aktivnost izbora te uklapanja i prilagođenja različitim uvjetima okoline (klimatskim, terenskim, ekološkim i sl.), pogonske pouzdanosti, odnosa prema drugim objektima infrastrukture itd., onda je osnovni zadatak projektanta da na najracionalniji način obavi taj izbor i verificira ga odgovarajućim tehničkim proračunima i ekonomskim analizama.

Nadalje, pretpostavimo li da su u prethodnim aktivnostima ili ranijim projektima vodova definirane sve komponente (odabran vodič i zaštitno uže, izabran asortiman stupova i temelja, te izolacije i ostale opreme), zadatak projektanta je da, uzimajući kao predložak situaciju trase voda, odabere optimalnu trasu i obavi razmještaj stupova.

Izbor optimalne trase u konvencionalnom postupku jest aktivnost u kojoj projektant na najprihvatljiviji način mora pomiriti različite zahtjeve u širokom rasponu od nastojanja da novoizgrađeni vod ni u čemu ne mijenja postojeću kvalitetu korištenja šireg prostora do tendencije da se vod učini što jeftinijim i što pristupačnijim za održavanje.

Zato se izbor optimalne trase redovno svodi na više ili manje intenzivne konzultacije, uviđaje na terenu, razjašnjenja svih detalja odnosa prema drugim infrastrukturnim objektima, i na kraju, izbor koji je kompromis između svih, često oprečnih zahtjeva.

Pritom i iskustvo projektanta dolazi do izražaja upravo po sposobnosti lakšeg nalaženja takve kompromisne solucije u kojoj će novi vod biti:

- eksploatacijski pouzdan,
- dostupan za održavanje racionalnim postupcima i tehničkim sredstvima
- u propisanim granicama mogućega električnog utjecaja na ljude i objekte na širem području trase
- uklopljen u okolinu tako da ne narušava okolni prostor s obzirom na njegov prirodni i/ili urbani sadržaj.

Izabrana trasa voda, odnosno snimljeni uzdužni profil terena i situacija u koridoru osnovni su predložak na kojemu će projektant dalje razrađivati projektno rješenje.

Upotrebom podataka o prije spomenutim tipskim ili za tu priliku samo selekcioniranim komponentama i elementima, projektant prilazi razmještaju stupova kao ključnoj fazi u cjelokupnom procesu projektiranja dalekovoda.

Konvencionalni postupak razmještaja stupova sastoji se od iscrtavanja niza krivulja provjesa vodiča pomoću odgovarajuće celuloidne šablone tako da se u svim točkama trase voda zadovolji prvi uvjet — minimalna visina iznad tla i objekata na tlu.

Ako pretpostavimo da je visina prvog ovještenju ili prvog stupa na izlazu iz postrojenja, onda se crtanjem lančanice za sljedeće, »desno« ovještenja dobiva niz mogućih pozicija u rasponu raspoloživih visina stupa, od najnižega do najvišega.

Projektant odabere jednu od mogućih varijanti sljedećeg ovještenja imajući kao okvirni kriterij odabrani prosječni raspon, a kao prvo ograničenje maksimalni dopušteni raspon. Tada je to ovještenje početak od kojega se crta lančanica i traži moguća lokacija sljedećeg stupa. Izbor je uvjetovan ne samo sigurnom visinom u cijelom rasponu, ograničenjem maksimalnog raspona, nego i kontrolom mehaničkog opterećenja i otklona izolatorskih lanaca na prethodnom stupu. Ako su sve kontrole električnog i mehaničkog opterećenja vodiča u ovjesištu, kao i statičkog opterećenja stupa (ovdje radi jednostavnosti ne spominjemo kontrole razmaka vodiča u rasponu ni kon-

trole sigurnosnih visina pri otpadanju leda) zadovoljene, dobit ćemo samo jednu od mogućih lokacija stupa. Konačni izbor ovisi o analizi potencijalnih rješenja razmještaja stupova na cijeloj trasi ili promatranom njezinu dijelu, pri čemu je osnovni uvjet optimizacije minimum troškova građenja, što se u prvoj aproksimaciji svodi na najmanju ukupnu težinu stupova.

Projektant to u praksi realizira crtanjem familija krivulja pomoću celuloidne šablone i fiksiranjem postupkom »korak po korak«. Pritom, kao jednu od prvih aktivnosti mora utvrditi pozicije stupnih mjesta koja su unaprijed određena.

To su, osim prvoga i posljednjeg stupa, i svi zatezni stupovi u kutu loma trase. Rasteretni stupovi, kao i stupovi na prijelazima određenih objekata, nisu strogo mikrolokacijski određeni, ali se u procesu razmještaja stupova njihova lokacija također nameće kao unaprijed zadano rješenje.

Postoje različiti modeli organizacije djelatnosti projektiranja. Ovdje imamo na umu onu u kojoj djelatnost projektiranja počinje definiranjem početne i krajnje točke voda i osnovnih parametara prijenosa električne energije. To je potrebno istaknuti da bi se shvatilo zašto nisu obrađeni postupci optimizacije što se realiziraju različitim prethodnim studijama, planovima razvoja mreže, izborom osnovnih tehničkih uvjeta i parametara itd.

Suštinskih razlika u svakodnevnoj svjetskoj praksi projektiranja dalekovoda nema, osim onih koje su rezultat konceptijskog pristupa optimizaciji tehničkog rješenja i razini primjene CAD-sistema, a time i odgovarajućih optimizacijskih metoda.

Kada je riječ o konceptijskom pristupu, ponajprije se misli na različite modele organizacije podjele funkcija projektanta, proizvođača opreme, izvođača radova, nadzornog organa i na kraju korisnika. Postoje različita organizaciona rješenja, što između ostaloga bitno utječe i na opseg i sadržaj djelatnosti projektiranja, a posebno na kriterije optimizacije u procesu projektiranja.

U ovom radu polazište je model organizacije u kojoj su integrirane funkcije projektiranja, proizvodnje opreme i gradnje dalekovoda.

OSNOVE MEHANIČKOG PRORAČUNA VODIČA I NJIHOVA PRIMJENA U OPTIMIZACIJSKIM PROCESIMA

Oznake i definicije osnovnih pojmova

Na slici 1. vidi se primjer vodiča ovješnog u dvije točke, A i B. Na slici su i oznake osnovnih veličina čije ćemo značenje preciznije definirati.

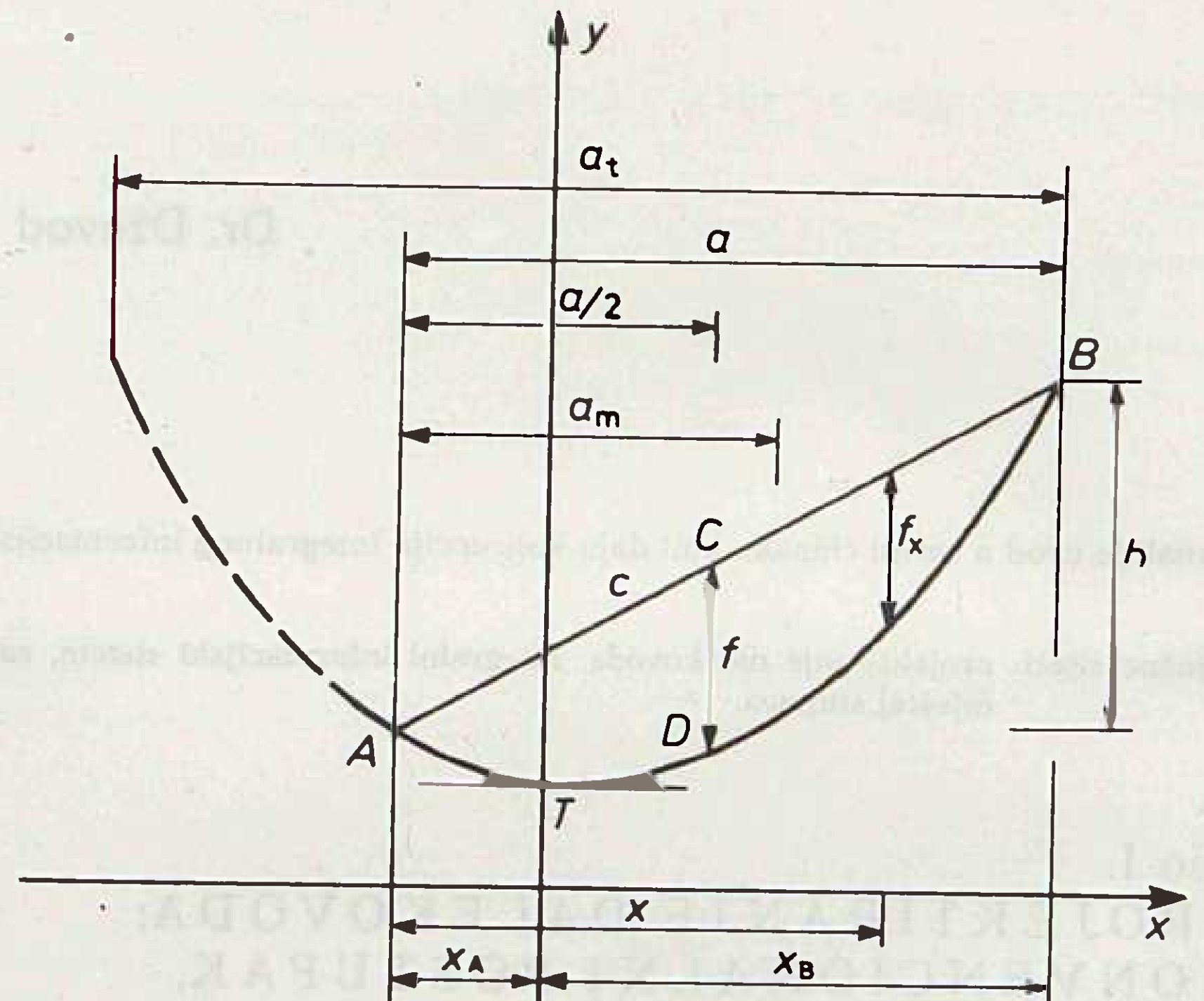
Krivulja provjesa

Ako pretpostavimo homogeni elastični vodič specifičnog vertikalnog opterećenja g i ukupnog napreznja u proizvoljnoj točki duž krivulje provjesa σ (sl. 2), onda je ravnotežno stanje u svakoj točki krivulje dano uvjetima:

$$\Sigma \sigma_x = 0 \rightarrow \sigma_o = \sigma \cdot \sin \alpha$$

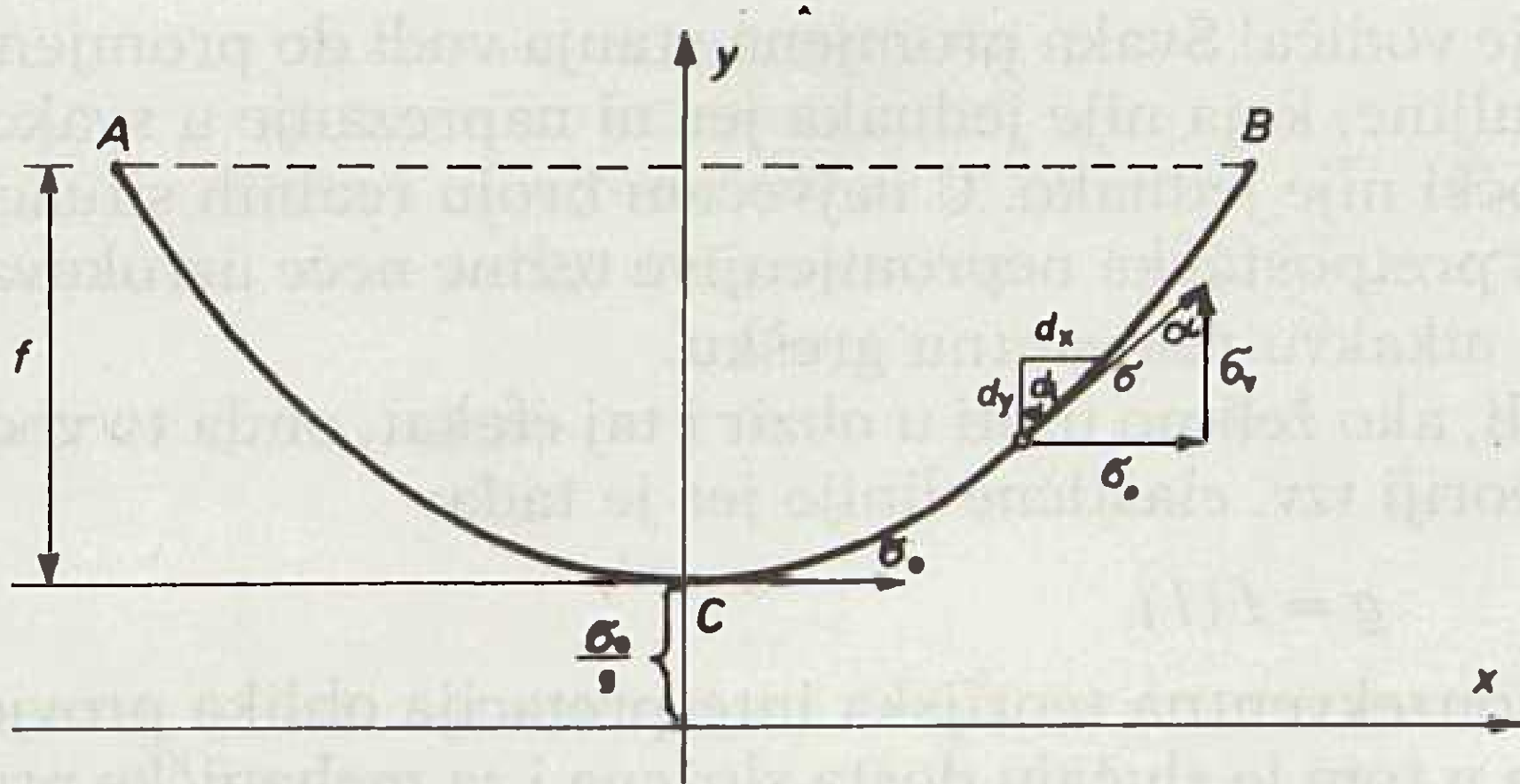
$$\Sigma \sigma_y = 0 \rightarrow \sigma_v = \sigma \cdot \cos \alpha = g \cdot dl$$

Prvi izraz kazuje da nema nikakva prirasta horizontalnog napreznja duž krivulje provjesa, a drugi govori da je suma vertikalnih opterećenja i vertikalnih napreznja jednaka nuli.



Slika 1. Krivulja vodiča u rasponu između točaka A i B

a (m)	— raspon; horizontalni razmak između dva susjedna ovjesišta
c (m)	— kosi raspon; najkraći razmak između ovješnja
a_t (m)	— totalni raspon; ekvivalent horizontalnog raspona za više ovjesišta
a_m (m)	— reducirani raspon; horizontalni raspon za niže ovjesišta
h (m)	— visinska razlika (denivelacija) točaka ovješnja
f (m)	— provjes u sredini raspona; vertikalni razmak od spojnice ovjesišta do vodiča
f_x (m)	— provjes na udaljenosti x od ovjesišta
d (mm)	— promjer vodiča
σ (N/mm ²)	— napreznje vodiča
σ_o (N/mm ²)	— horizontalna komponenta ukupnog napreznja vodiča
σ_v (N/mm ²)	— vertikalna komponenta ukupnog napreznja vodiča
σ_{sr} (N/mm ²)	— srednje napreznje na ukupnoj duljini vodiča
L (m)	— ukupna duljina ovješnog vodiča
γ (kg/m)	— specifična (linijska) masa vodiča po dužnom metru
g (N/m)	— specifično vertikalno opterećenje vodiča po metru duljine ($g = 9.81 \cdot \gamma = 10 \cdot \gamma$ (N/m))
g_l (N/m)	— specifično vertikalno dodatno opterećenje ledom
g_v (N/m)	— ekvivalentno specifično horizontalno opterećenja zbog vjetra
g_u (N/m)	— ukupno specifično opterećenje vodiča s dodatnim opterećenjem
E (N/mm ²)	— modul elastičnosti
α (1/°C)	— temperaturni koeficijent izduženja
t (°C)	— temperatura vodiča
1,2	— indeksi početnoga, odnosno konačnog stanja vodiča pri promjeni temperature i/ili napreznja



Slika 2. Uvjeti ravnoteže homogenog i elastičnog vodiča

Iz navedenog slijedi da je:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma_v}{\sigma_0} = \frac{\sigma_0}{g \cdot dl} = \frac{dx}{dy} \quad (1)$$

Budući da je:

$$dl = \sqrt{1 + y'^2} dx = \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} \cdot dx, \quad (2)$$

supstitucijom i integriranjem, dobit ćemo:

$$x = \frac{\sigma_0}{g} \cdot \operatorname{Arsh} \frac{g \cdot l}{\sigma_0} \quad (3)$$

ili:

$$l = \frac{\sigma_0}{g} \cdot \operatorname{sh} \frac{x \cdot g}{\sigma_0} \quad (4)$$

pa je vertikalno opterećenje u tački x :

$$\sigma_v = l \cdot g = \sigma_0 \cdot \operatorname{sh} \frac{x \cdot g}{\sigma_0} \quad (5)$$

Integriranjem po x dobijemo:

$$y = \int_0^x \operatorname{sh} \left(\frac{x \cdot g}{\sigma_0} \right) dx = \frac{\sigma_0}{g} \operatorname{ch} \frac{x \cdot g}{\sigma_0}. \quad (6)$$

Za horizontalni raspon, raspon s jednakim visinama ovjesišta, takav provjes u sredini raspona bit će:

$$f = y(a/2) = \frac{\sigma_0}{g} \left(\operatorname{ch} \frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} - 1 \right) \quad (7)$$

ukupna duljina vodiča:

$$L = \frac{2 \cdot \sigma_0}{g} \cdot \operatorname{sh} \frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0}, \quad (8)$$

a ukupno naprezanje u ovjesištu:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_v^2} = \sigma_0 \sqrt{1 + \operatorname{sh}^2 \frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0}} = \sigma_0 \cdot \operatorname{ch} \frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0}. \quad (9)$$

Za tzv. kosi raspon, kao u primjeru na slici 1, važno je da odredimo i totalni raspon:

$$a_t = 2 \cdot x_B = a + \frac{2 \cdot \sigma_0}{g} \cdot \operatorname{Arsh} \frac{h \cdot g}{2 \cdot \sigma_0 \cdot \operatorname{sh} \frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0}} \quad (10)$$

iz čega možemo dobiti izraz za duljinu vodiča u općem položaju:

$$L = \sqrt{\left(\frac{2 \sigma_0}{g}\right)^2 \cdot \operatorname{sh}^2 \frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} + h^2} \quad (11)$$

i provjes u sredini raspona:

$$f = \frac{\sigma_0}{g} \cdot \left[\operatorname{ch} \frac{a_t \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} - \operatorname{ch} \frac{(a_t - a) \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} \right] - \frac{h}{2} \quad (12)$$

ili na udaljenosti x od jednog ovjesišta:

$$f_x = \frac{\sigma_0}{g} \cdot \left[\operatorname{ch} \frac{a_t \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} - \operatorname{ch} \frac{(a_t - 2 \cdot x) \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} \right] - \frac{h}{2} \quad (13)$$

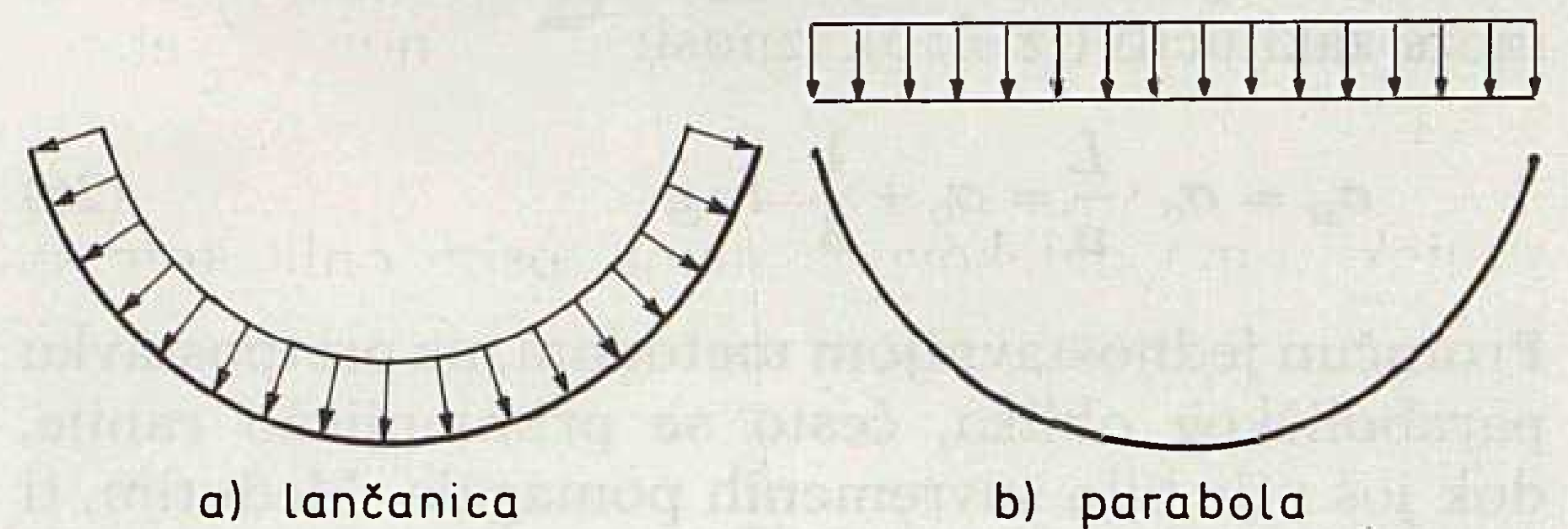
Srednje naprezanje je:

$$\sigma_{sr} = g \cdot y_{sr} = g \int_{x_A}^{x_B} \frac{y \cdot \sqrt{1 + y'^2}}{l} \cdot dx \quad (14)$$

Nakon integracije i svih supstitucija dobijemo:

$$\sigma_{sr} = \frac{\sigma_0}{2 \cdot L} \left(a + \frac{L^2 + h^2}{2 \cdot \frac{\sigma_0}{g} \cdot \operatorname{th} \frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0}} \right). \quad (15)$$

U teorijskom smislu, provjes krivulje u obliku lančanice pretpostavka je ravnomjernog tereta, odnosno jednolike mase po duljini vodiča (sl. 3), a pretpostavka o jednolikom teretu duž horizontalnog raspona vodila bi provjesu vodiča u obliku parabole.



Slika 3. Karakteristični oblici provjesa vodiča

Naime, iz početnih uvjeta:

$$\begin{aligned} \Sigma \sigma_x = 0 &\rightarrow \sigma_0 = \sigma \cdot \cos \alpha \\ \Sigma \sigma_y = 0 &\rightarrow \sigma_v = \sigma \cdot \sin \alpha = g \cdot dx \end{aligned}$$

slijedi da je:

$$l = x + \frac{x^3 \cdot g^2}{6 \cdot \sigma_0^2}, \quad (16)$$

a vertikalno opterećenje $\sigma_v = x \cdot g$.

Iz opće jednadžbe, pretpostavljajući ishodište u tjemenu parabole, slijedi da je:

$$y = \int_0^x l \cdot dx = \frac{x^2 \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} \quad (17)$$

a provjes u sredini raspona za parabolni oblik:

$$f = \frac{a^2 \cdot g}{8 \cdot \sigma_0}. \quad (18)$$

Pritom je ukupna duljina vodiča:

$$L = a + \frac{a^3 \cdot g^2}{24 \sigma_0^2}, \quad (19)$$

a ukupno naprezanje u ovjesištu:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_v^2} = \sqrt{\sigma_0^2 + \left(\frac{a \cdot g}{2}\right)^2}, \quad (20)$$

Izvod tih jednadžbi može se dobiti i na drugi način, razvojem u red osnovnih izraza za lančanicu (hiperbolne funkcije) i zanemarivanjem svih članova reda čija je potencija veća od 3.

Veličine koje se u mehaničkom proračunu najčešće upotrebljavaju za kosi raspon u ovom će slučaju biti:

$$a_t = a + \frac{2h \cdot \sigma_0}{a \cdot g} = a + \frac{a \cdot h}{4 \cdot f} = a \cdot \left(1 + \frac{h}{4 \cdot f}\right) \quad (21)$$

$$a_m = a - \frac{2h \cdot \sigma_0}{a \cdot g} = a - \frac{a \cdot h}{4 \cdot f} = a \cdot \left(1 - \frac{h}{4 \cdot f}\right). \quad (22)$$

pa je ukupna duljina vodiča:

$$L = a + \frac{a^3 \cdot g^2}{24 \cdot \sigma_0^2} + \frac{h^2}{2 \cdot a} = a + \frac{8 \cdot f^2}{3a} + \frac{h^2}{2a} \quad (23)$$

Provjes u sredini raspona je:

$$f = \frac{a^2 \cdot g}{8 \cdot \sigma_0} \quad (24)$$

a na udaljenosti x od jednog ovjesišta:

$$f_x = \frac{x \cdot (a - x) \cdot g}{2 \cdot \sigma_0}. \quad (25)$$

Srednje naprezanje za parabolički oblik, kao što se može zaključiti (iz sl. 3), iznosi:

$$\sigma_{sr} = \sigma_0 \cdot \frac{L}{a} = \sigma_0 + \frac{1}{3} \cdot f \cdot g. \quad (26)$$

Proračun jednostavnijom metodom, uz pretpostavku paraboličkog oblika, često se primjenjivao ranije, dok još nije bilo suvremenih pomagala. Međutim, ti se proračuni koriste i danas, i to upravo u procesu razmještaja stupova pa ih zato ovdje i spominjemo. Optimizacijske metode, ma kako racionalno organizirane, neminovno vode obradi i vrednovanju vrlo velikog broja varijantnih rješenja. Da bi se postupak obrade ubrzao jedana od mogućnosti je i korištenje što jednostavnijih matematičkih izraza, osobito ako to praktično ne može utjecati na kvalitetu odabranog rješenja.

Uostalom, izabrana se varijanta razmještaja, ionako mora detaljnije kontrolirati odgovarajućim električnim i mehaničkim proračunima, pri čemu se mogu primijeniti točnije metode. Pridjev »točan«, koji se obično veže za krivulju provjesa u obliku lančanice, valja shvatiti strogo uvjetno.

Ako se pretpostavi jednak provjes lančanice i parabole, pokazalo se [6] da se maksimalna razlika provjesa javlja na približnoj udaljenosti $0,15 \cdot a$ od jednog od ovjesišta. U tom je slučaju provjes vodiča za parabolu do 2% (ovisno o materijalu i napreznju) manji od provjesa lančanice. Međutim, posebno pri manjim napreznjima i za male raspone na realnom vodiču očituje se efekt radijalne krutosti, zbog čega je sam oblik provjesa zapravo nešto između dva već naznačena teorijska oblika.

Također treba spomenuti i razlike koje se javljaju u odnosu prema teorijskom modelu zato što teorijska pretpostavka konstantne mase vodiča po duljini, pa i po rasponu (sl. 3), može vrijediti samo za jedno sta-

nje vodiča! Svaka promjena stanja vodi do promjene duljine, koja nije jednaka jer ni naprezanje u svakoj točki nije jednako. U najvećem broju realnih situacija pretpostavka nepromjenjive težine neće uzrokovati nikakvu relevantnu grešku.

Ali, ako želimo uzeti u obzir i taj efekat, onda to vodi teoriji tzv. elastične linije jer je tada:

$$g = f(l).$$

Konzekventna teorijska interpretacija oblika provjesa u tom je slučaju dosta složena i za mehaničke proračune vodiča dalekovoda praktično potpuno nevažna.

Ipak, da bi se izbjegle moguće greške u ekstremnim slučajevima, u mehaničkom proračunu kakav je razrađen u [4] koristi se metoda proračuna stvarne specifične mase definiranjem γ_0 , kao specifične mase nezategnutog vodiča. Daljnji proračun obavlja se proračunom jednadžbe stanja, o čemu ćemo pisati kasnije.

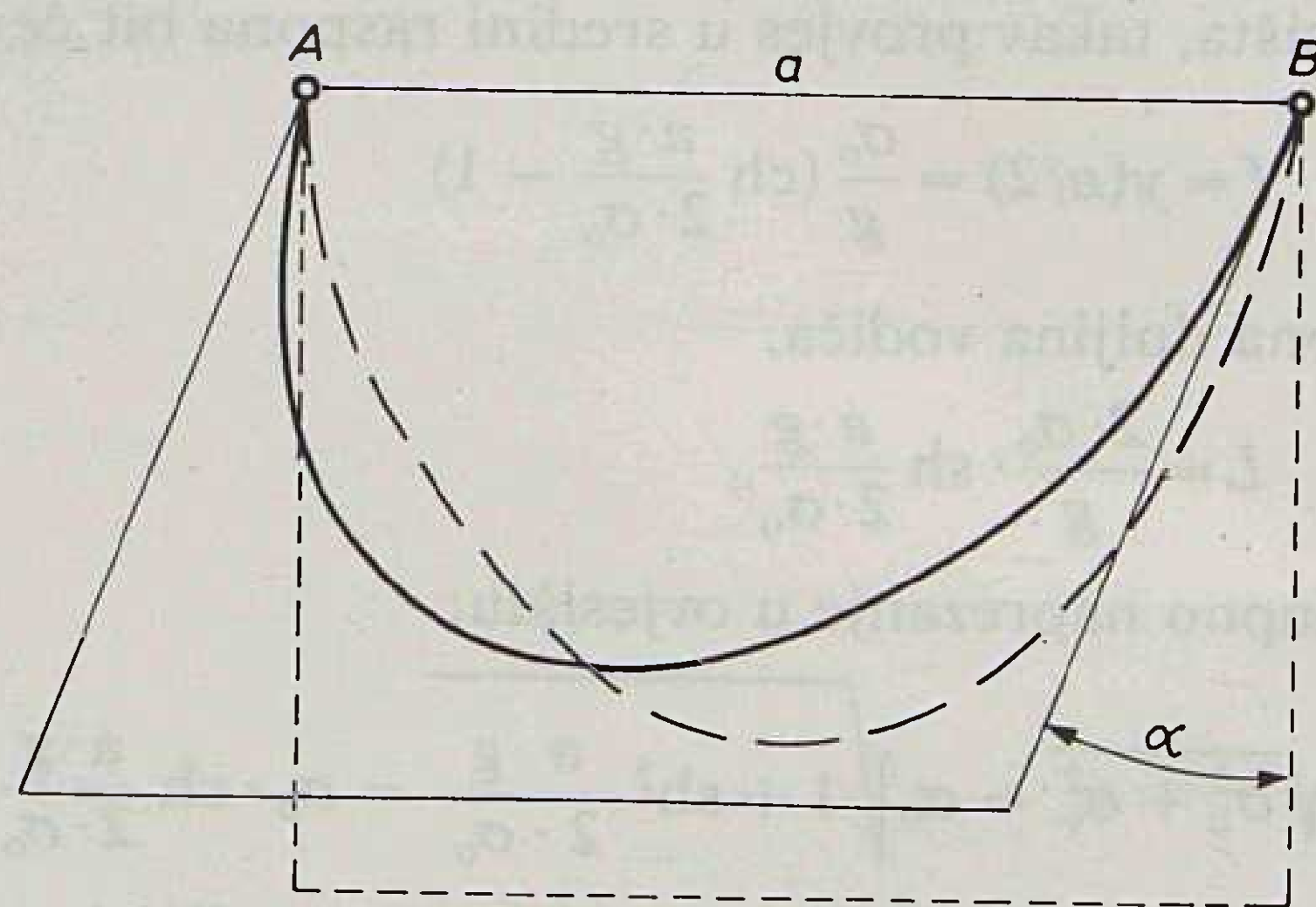
Djelovanje vjetra

Djelovanje vjetra na vodiče dalekovoda računa se uz pretpostavku jednolikoga laminarnog strujanja okomito na pravac trase voda. Ako pretpostavimo da je vertikalno opterećenje jednoliko po duljini, pa je težina inkrementalnog dijela $dl \cdot g \cdot S$, možemo pretpostaviti i to da je tlak vjetra $dl \cdot d \cdot p$, pri čemu je d (m) promjer vodiča, p (N/m²) tlak vjetra na jedinicu površine, a S (mm²) presjek vodiča.

Ravnotežno stanje je definirano kutom otklona koji će, uz navedene pretpostavke, biti:

$$\alpha = \text{Atan} \left(\frac{d \cdot p}{g \cdot S} \right). \quad (27)$$

Krivulja provjesa tada će ležati u ravnini koja je za kut α otklonjena od vertikale (sl. 4).



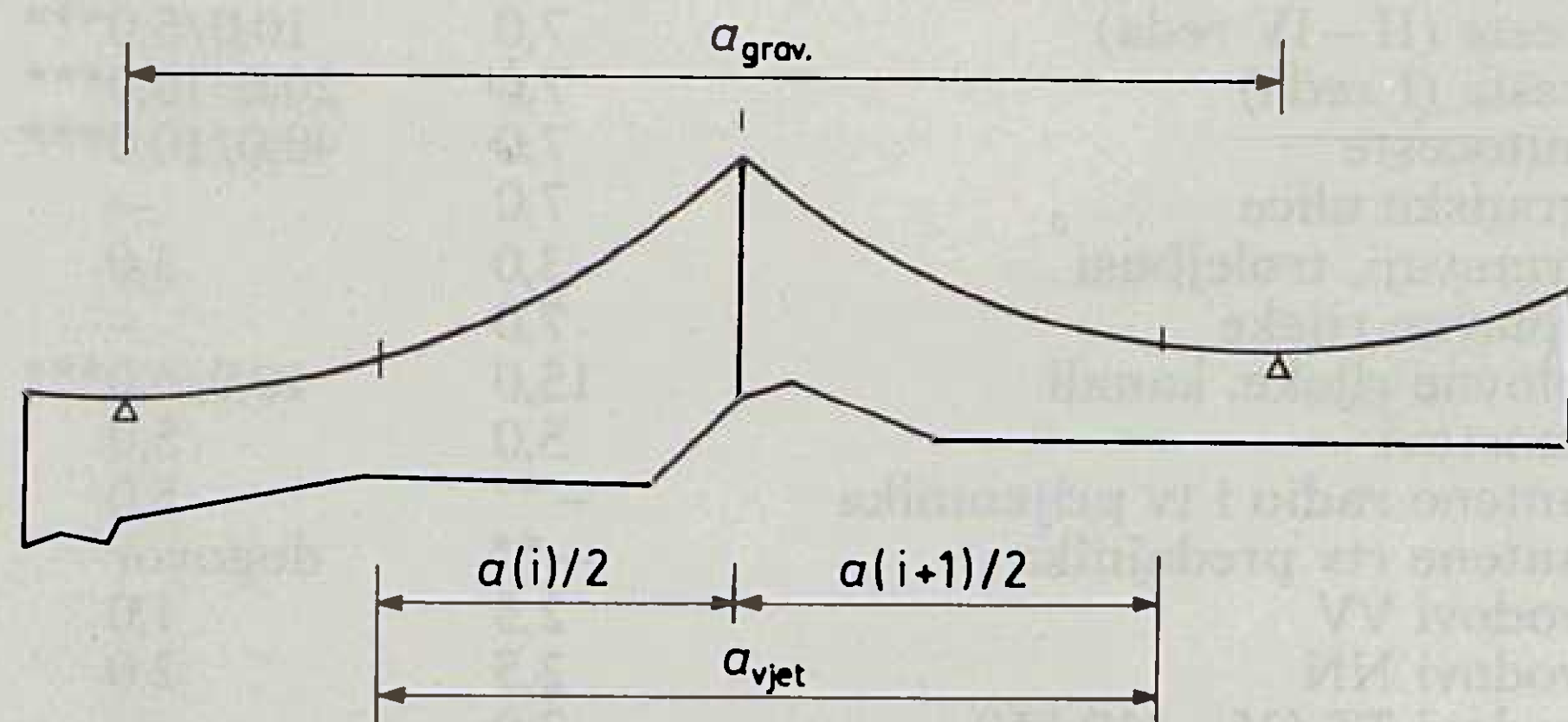
Slika 4. Krivulja provjesa zbog djelovanja vjetra na vodiče

Izračunamo li zatim ekvivalentno opterećenje vodiča kao geometrijsku sumu horizontalnih i vertikalnih opterećenja, dobit ćemo mogućnost da sve odnose na danoj krivulji utvrdimo na jednak način i istim izrazima kao i za vodič u vertikalnom položaju:

$$g_{ekv} = \sqrt{g^2 + \left(\frac{d \cdot p}{S} \right)^2}. \quad (28)$$

I tada vrijedi primjedba da bi inzistiranje na teorijskoj dosljednosti vodilo u daljnje komplikacije jer, uz pretpostavku jednolikoga laminarnog strujanja, djelovanje vjetra ne može se računati na ukupnu inkrementalnu duljinu d nego na njezinu projekciju u vertikalnoj ravnini. Takva pretpostavka vodi mnogo složenijoj prostornoj slici otklona vodiča u rasponu. Međutim, u praksi se djelovanje vjetra na vodiče, osobito kada je posrijedi kontrola opterećenja stupova za dane uvjete, najčešće računa na duljinu horizontalnog raspona.

Tako dolazimo do osnovnih odnosa potrebnih za kontrolu horizontalnog opterećenja stupova (sl. 5).



Slika 5. Definicija vjetrovnoga i gravitacijskog raspona

Vjetrovni raspon definiran je kao poluzbroj susjednih raspona na određenom stupnom mjestu, pa je ukupno horizontalno opterećenje u točki ovješnja vodiča:

$$P_h = \left(\frac{a(i-1)}{2} + \frac{a(i)}{2} \right) \cdot p \cdot d, \quad (29)$$

dok je vertikalno opterećenje (N):

$$P_v = \left(\frac{a_t(i-1)}{2} + \frac{a_m(i)}{2} \right) \cdot g \cdot S. \quad (30)$$

Svaki se stup projektira za određene maksimalne veličine mehaničkog (vjetrovnog) raspona i vertikalnog opterećenja, što se može izraziti iznosom maksimalnog gravitacijskog raspona.

Usporedba sa stvarnim veličinama prva je i osnovna kontrola opterećenja stupa.

Budući da bi definiranje mehaničkog raspona za svaku nazivnu visinu stupa značilo i određenu komplikaciju, obično se za sve visine uzima isti iznos ili raspon (min., maks.) unutar kojega će biti odgovarajuća nazivna vrijednost.

Karakteristično je da za gravitacijski raspon imamo dvije veličine: za uvjete s dodatnim opterećenjem (ledom) i bez njega.

Zatezna polja

Pretpostavka istog horizontalnog napreznja σ_0 vrijedi samo za raspone u istom zateznom polju i uz uvjet vertikalnosti svih nosivih izolatorskih lanaca. Zatezno polje, dionica voda između dva zatezna stupa, može imati različit broj raspona, različite duljine i denivelacije. Da bi se olakšali kasniji proračuni i kontrole, uvjeti mehaničkog opterećenja vodiča za

takvu dionicu voda mogu se računati preko tzv. prosječnog ili idealnog raspona (detaljnije u [5]):

$$a_{id} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^3}{a_i^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^2}{a_i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N a_i^3}{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^2}{a_i}}}. \quad (31)$$

koji također ima prosječnu ili idealnu visinsku razliku:

$$h_{id} = a_{id} \cdot \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^3}{a_i^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^2}{a_i}} \right)^2 - 1}. \quad (32)$$

Srednje naprezanje u idealnom rasponu pritom će biti:

$$\sigma_{sr id} = \sigma_0 \cdot \frac{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^3}{a_i^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^2}{a_i}}, \quad (33)$$

gdje je N broj raspona u zateznom polju, a indeks i označava redni broj raspona u tom zateznom polju.

Promjena stanja

Neovisno o tome računamo li promjenu stanja u određenom rasponu ili, pomoću idealnog raspona, u cijelom zateznom polju, osnovni oblik jednadžbe stanja dan je relacijom:

$$L_2 = L_1 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_{sr1} - \sigma_{sr2}}{E} \right] \cdot [1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1)]. \quad (34)$$

gdje su:

1,2 — indeksi početnog, odnosno konačnog stanja.

Početno stanje definirano je propisima. U skladu s jugoslavenskim propisima to je stanje vodiča s dodatnim opterećenjem zbog leda pri -5°C ili pri -20°C , ali bez leda, ovisno o tome koje stanje stvara veće naprezanje u ovjesištu.

Za rješavanje problematike razmještaja stupova važno je utvrditi sljedeća stanja:

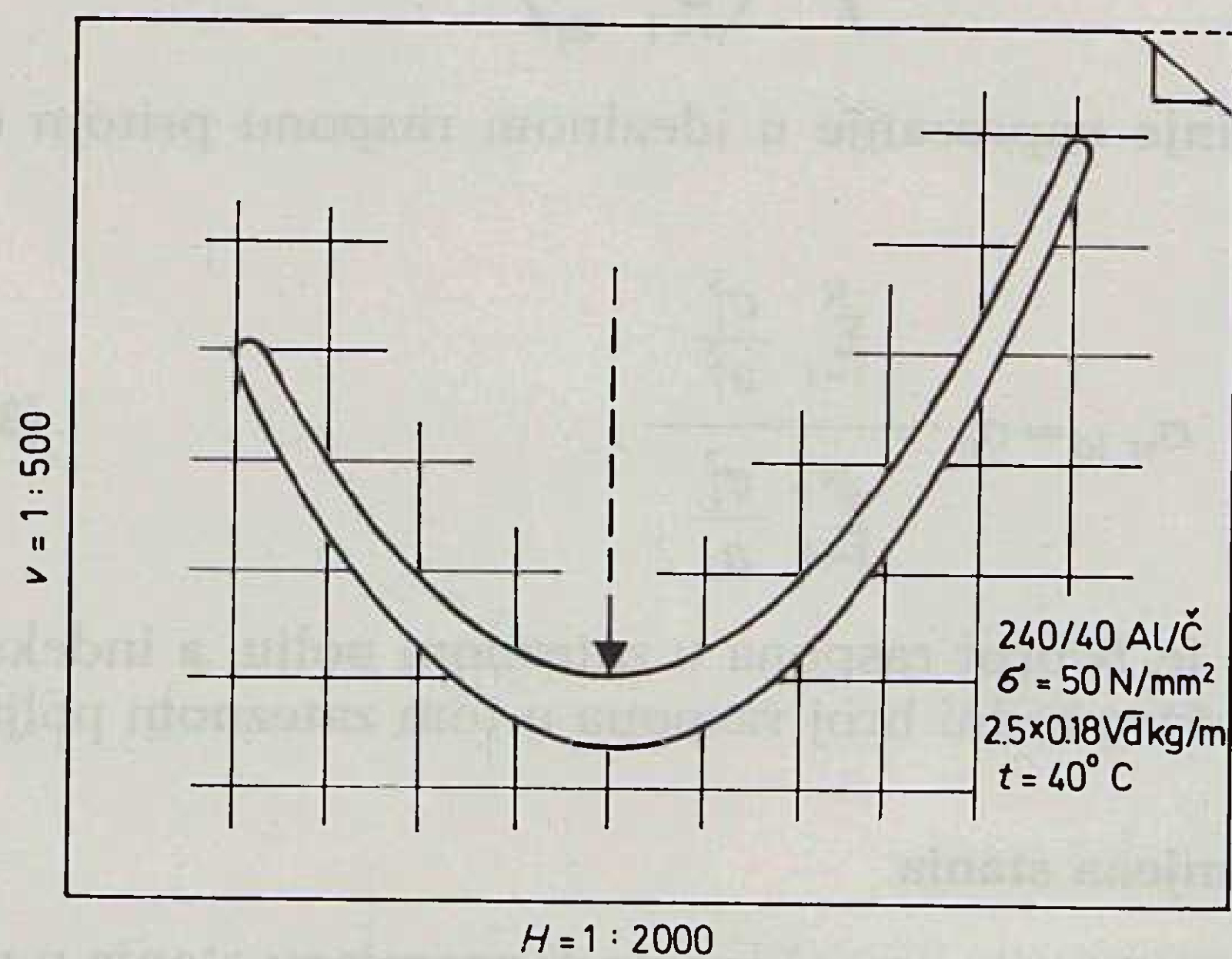
- maksimalno dodatno opterećenje i odgovarajuća temperatura
- minimalna temperatura, bez dodatnog opterećenja
- vjetrovno opterećenje i koincidentna temperatura (obično se uzima srednja godišnja temperatura)
- maksimalna temperatura, bez dodatnih opterećenja.

U posljednjem slučaju riječ je upravo o stanju pri kojemu se kontroliraju sigurnosne visine vodiča. U tablici 1. dan je pregled svih važnijih kategorija sigurnosnih visina i udaljenosti prema važećim jugoslavenskim propisima.

Postoje i drugi uvjeti — karakteristična stanja vodiča ovisno o odredbama nacionalnih propisa pojedinih zemalja, ali to su redovno varijacije naznačenih.

Celuloidna šablona

Celuloidna šablona izrađuje se na različite načine, ali najčešće tako da se ucrtta krivulja provjesa za maksimalnu temperaturu, i to dva puta, tako da su obje krivulje na međusobnome vertikalnom razmaku koji odgovara sigurnosnoj visini. Taj dio između krivulja ujedno se izrezuje, čime se omogućuje lagano precrtavanje na uzdužni profil (slika 6.). Donja krivulja ni u jednoj točki ne smije sjeći uzdužni profil ili objekt na tlu. Gornja nam krivulja omogućuje utvrđivanje pozicije ovješena vodiča, odnosno određivanje visine stupa.

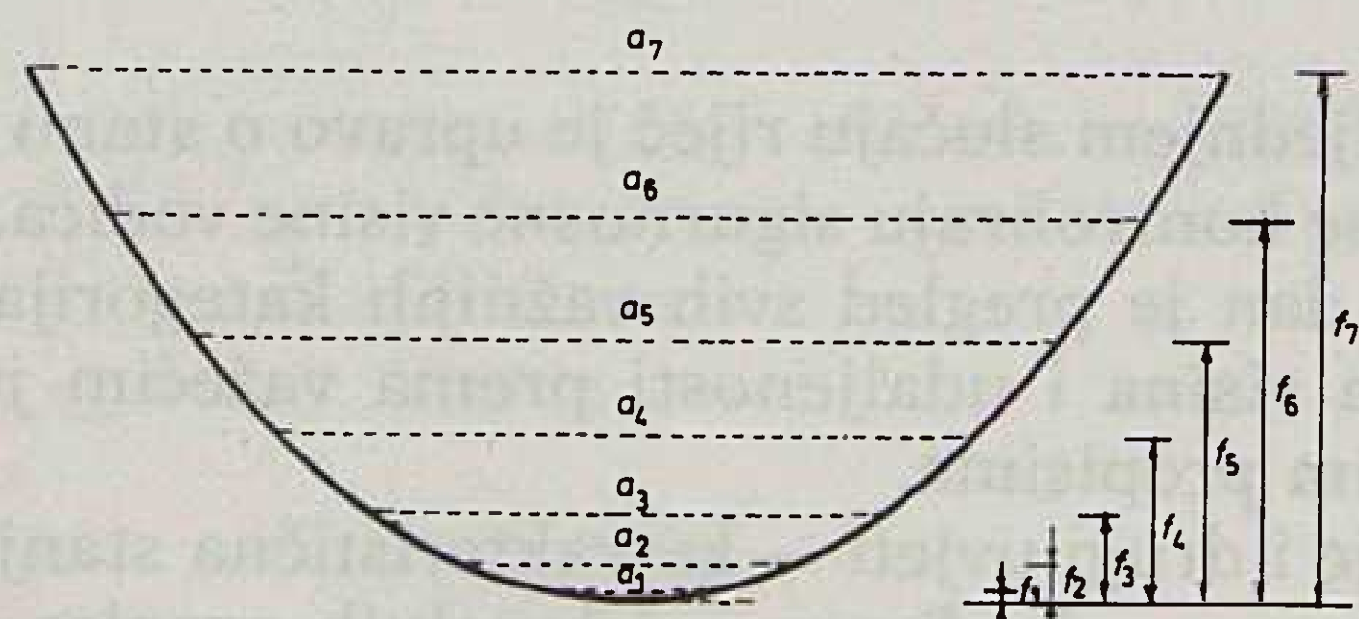


Slika 6. Primjer celuloidne šablone za razmjesta stupova

Ponekad se na toj šabloni ucrtaju krivulje na kojima su, razmjerno duljini vodiča, proračunate težine u točki ovješena. To se čini radi lakše kontrole dozvoljenih opterećenja stupa. Kontrola se može lako provesti i računski, primjenom aproksimativnih relacija.

Krivulja provjesa bi za maksimalnu temperaturu u principu, trebala dati lančanicu koja odgovara horizontalnom naprezanju u svakom zateznom polju. Međutim, ona se obično radi tako da se iscrta krivulja koja je interpolacija vrijednosti provjesa za različite raspone.

Crta se tako da se za svaki raspon uzme upravo veličina provjesa izračunata pomoću jednadžbe provjesa iz početnih uvjeta, i to za stanje maksimalne temperature (+40°C ili više, ovisno o zadanoj maksimalnoj temperaturi vodiča). Na slici 7. dan je primjer jedne takve krivulje za niz od sedam raspona.



Slika 7. Krivulja provjesa za celuloidnu šablonu

Tablica 1. Pregled osnovnih kategorija sigurnosnih visina i udaljenosti

Naziv objekta	Sigurnosna visina (m)	Sigurnosna udaljenost (m)
nepristupačna mjesta	4,0	3,0
nepristupačna mjesta za vozila	5,0	4,0
pristupačna mjesta za vozila	6,0	5,0
zgrade (nepristupačni dio)	3,0	3,0*
zgrade (pristupačni dio)	5,0	4,0*
zgrade zapaljiva krova	12,0	5,0
skladišta zapaljivog materijala	—**	H + 3,0
naseljena mjesta	7,0	—
športska igrališta	12,0	12,0
skijaške skakaonice	—**	12,0/6,0
stabla	2,5	2,5
ceste (II – IV reda)	7,0	10,0/5,0***
ceste (I reda)	7,0	20,0/10,0***
autoceste	7,0	40,0/10,0***
gradske ulice	7,0	—
tramvaji, trolejbusi	3,0	3,0
splavne rijeke	7,0	—
plovne rijeke, kanali	15,0	10,0/6,0***
mostovi	5,0	5,0
antene radio i tv prijemnika	—**	5,0
antene rtv predajnika	—**	dogovor
vodovi VV	2,5	1,0
vodovi NN	2,5	2,0
vodovi TT (35 – 110 kV)	3,0	—
vodovi TT (220 kV)	4,0	—
vodovi TT (380 kV)	5,5	—
žičare	5,0	5,0
žičani plotovi	3,0	3,0
žičane mreže	3,0	2,5
cjevovodi	4,0	4,0
stogovi, sušionice	10,0	10,0
želj. pruge (neelektrificirane)	7,0	10,0/5,0
želj. pruge (elektrificirane)	12,0	15,0
industrijske pruge	7,0	10,0/5,0

* dodatni uvjet vertikalne udaljenosti i u slučaju dodatnog tereta u prelaznom rasponu, a bez dodatnog tereta u susjednom rasponu

** zabranjeno prelaženje

*** horizontalna udaljenost

Odmah se može uočiti da tako nacrtana krivulja fizikalno ne egzistira, već je samo skup vrijednosti provjesa u sredini, za različite raspone.

Zato će se njezinom primjenom u razmjesta stupova javiti određena greška. Ta se greška i u konvencionalnom postupku projektiranja eliminira naknadnim kontrolama odabranog razmjesta.

Projektiranjem pomoću računala grafička interpretacija ionako potpuno gubi ulogu predloška na kojemu se obavlja izbor optimalne varijante, pa se i sve kontrole mogu provoditi direktno računski, za stvarno stanje.

PRIKAZ SUVREMENIH CAD-SISTEMA I MJESTO OPTIMIZACIJSKIH METODA U TAKVIM SISTEMIMA

Integralni informacijski sistemi

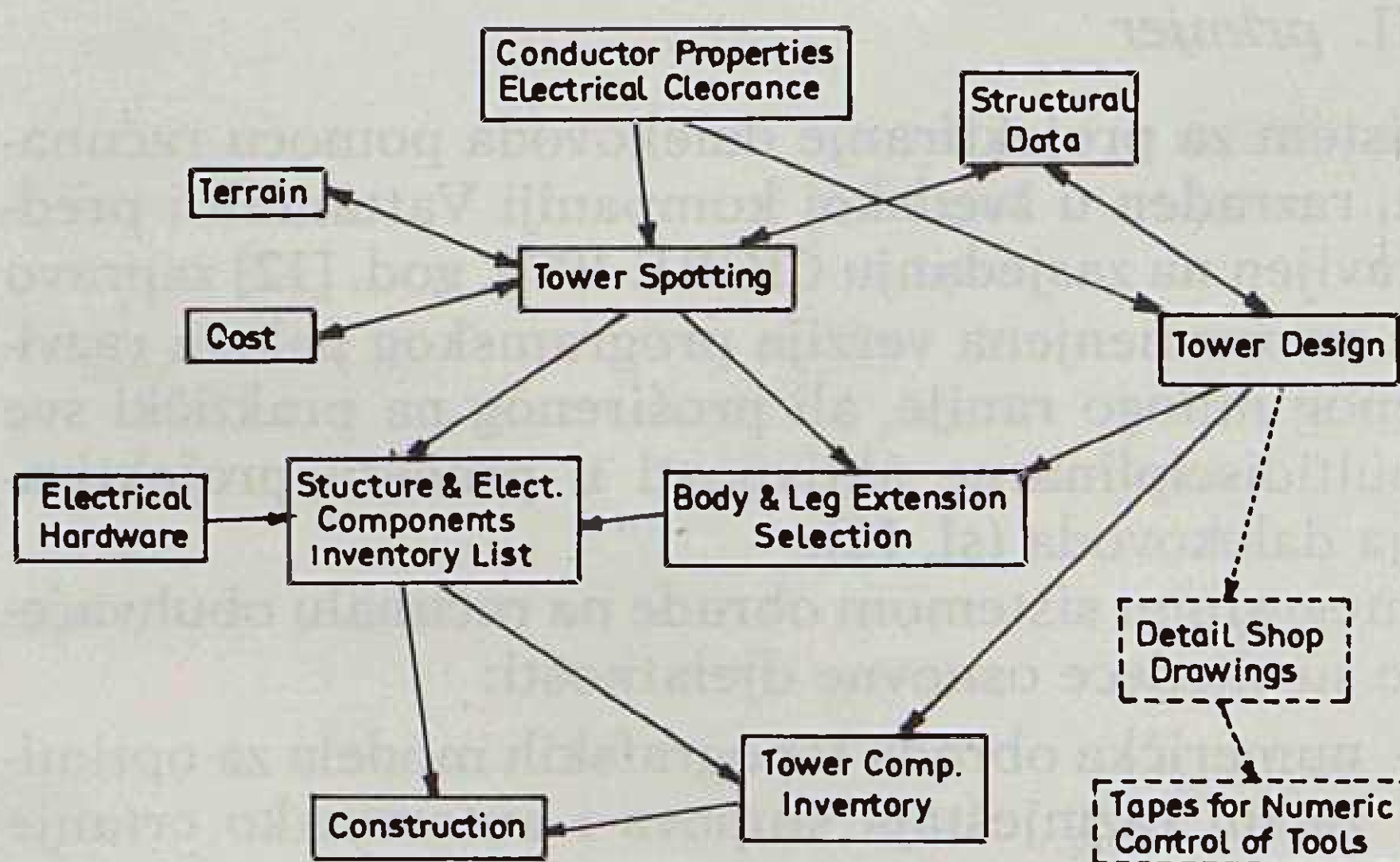
Pregledom literature u proteklih 20 – 25 godina, koliko traje intenzivniji razvoj primjene računala u projektiranju visokonaponskih nadzemnih vodova, mo-

že se lako uočiti da ima relativno malo radova koji se detaljnije bave i konceptijskim pitanjem integralnih sistema za tu namjenu.

Ovdje je opisano nekoliko primjera čijom su analizom dobiveni i odgovori na to što su još uvijek otvorena pitanja takvih integralnih sistema i zašto su se autori, barem dosada, nerado upuštali u njihovu, makar i teorijsku razradu.

I. primjer

U [10] detaljnije je analizirana uloga računala u projektiranju dalekovoda općenito. Riječ je o referatu sa stručnog savjetovanja ASCE (American Society of Civil Engineering) iz 1970. god. Na slici 8. dan je shematski prikaz osnovnih aktivnosti zamišljenog integralnog sistema za projektiranje dalekovoda.



Slika 8. Integralni sistem za projektiranje dalekovoda, [10]

Autor (C. F. Beck) u prvi plan stavlja dva ključna zadatka:

- razmještaj stupova
- projektiranje stupova,

što je inače praksa većine ostalih radova. Njihovim se rješavanjem, naravno, uz prateće zadatke koji su integralni dio tih aktivnosti, iscrpljuje uloga računala u projektiranju dalekovoda.

Iako se u radu detaljno opisuje model projektiranja stupa uz, vjerojatno prvi put, primjenu velikih programskih paketa za numeričku analizu konstrukcija

(STRESS, STRUDL i dr.), valja istaknuti da je riječ o projektiranju stupova u užem smislu. Naime, pretpostavlja se da su parametri opterećenja determinirani prethodnim projektantskim aktivnostima i da je pitanje optimalnog izbora tipova i podtipova stupova prije toga riješeno nekim analizama.

Gledano s aspekta današnjih iskustava, taj koncept ima ova osnovna ograničenja:

- u integralni model nije uključena aktivnost izbora optimalne trase voda
- nije konceptijski riješeno pitanje optimizacije asortimana stupova za određenu mrežu, odnosno određeni naponski nivo
- nisu obrađene mogućnosti u optimizaciji izbora ostalih komponenti (vodiča, izolacije, uzemljenja itd.), osim optimizacije V-lanca (što je inače samo jedno od brojnih mogućih tehničkih rješenja)
- nije razmotrena uloga računala u rješavanju mnoštva pitanja odnosa dalekovoda i okoline.

Na slici 9. prikazan je detalj razmještaja stupova pomoću kompjutera. U njemu se, između ostaloga, mogu uočiti neka praktična rješenja tog problema, koja će brojni autori kasnije često ponavljati.

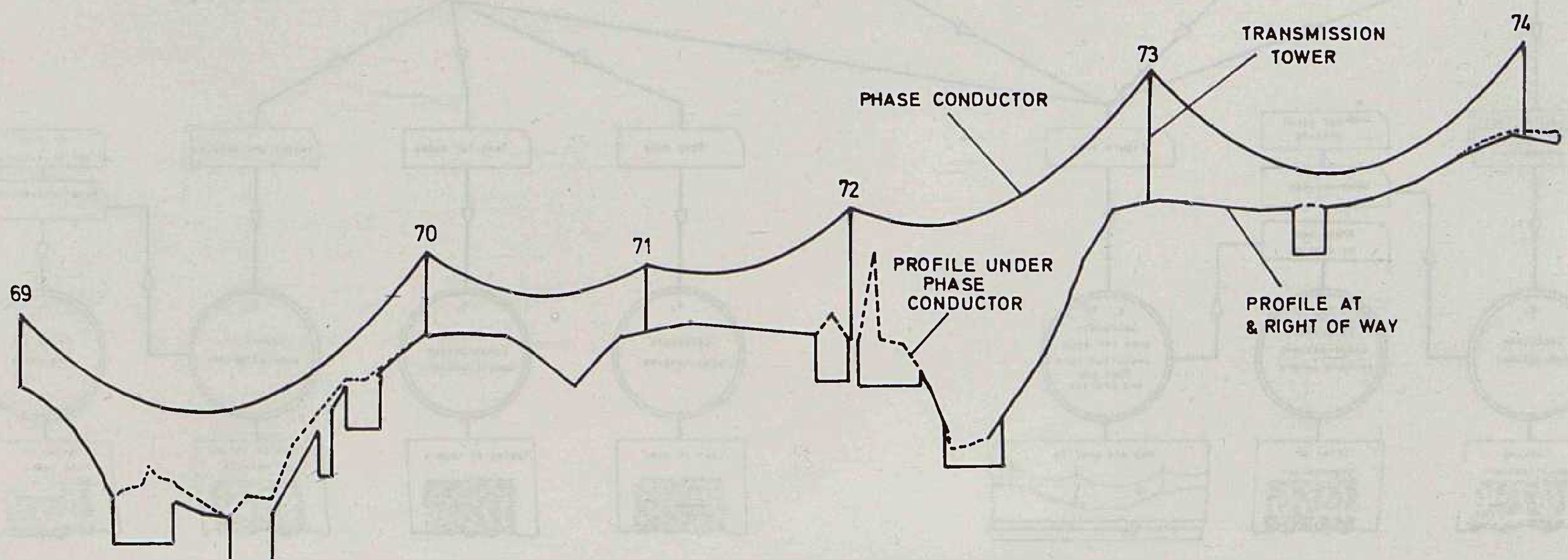
Riječ je prije svega o stvaranju artificijelnoga uzdužnog profila kojim se programiraju odgovarajuće restrikcije u stupnim mjestima i sigurnosnim visinama vodiča.

II. primjer

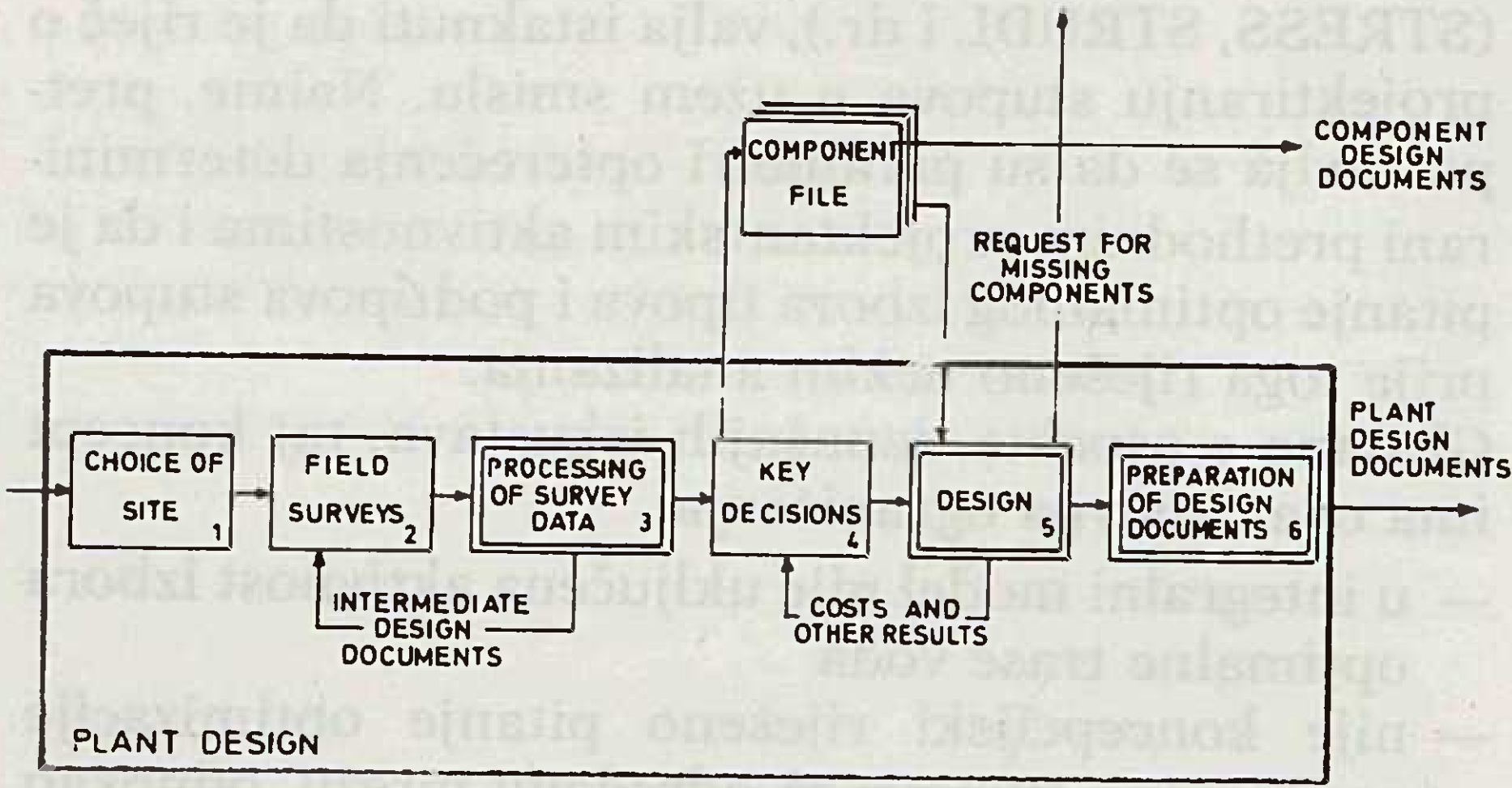
Rad talijanskih autora [11] publiciran 1972. god. na savjetovanju CIGRE, Paris, praktično je iz istog razdoblja kao i prethodni, ali ima ambiciju da, između ostaloga, šire razradi koncepciju automatskog projektiranja dalekovoda i transformatorskih stanica.

Interesantan je i zato što odražava tada još prisutno mišljenje da je moguće razraditi efikasne, potpuno automatizirane modele za projektiranje. O tome će još biti riječi pri obradi problematike razmještaja stupova.

Na slici 10. vidi se generalni blok dijagram za projektiranje dalekovoda i transformatorskih stanica u kojemu su posebno istaknute aktivnosti (br. 3, 5 i 6) riješene automatskom obradom podataka na računalu.



Slika 9. Uzdužni profil s razmještajem stupova [10]



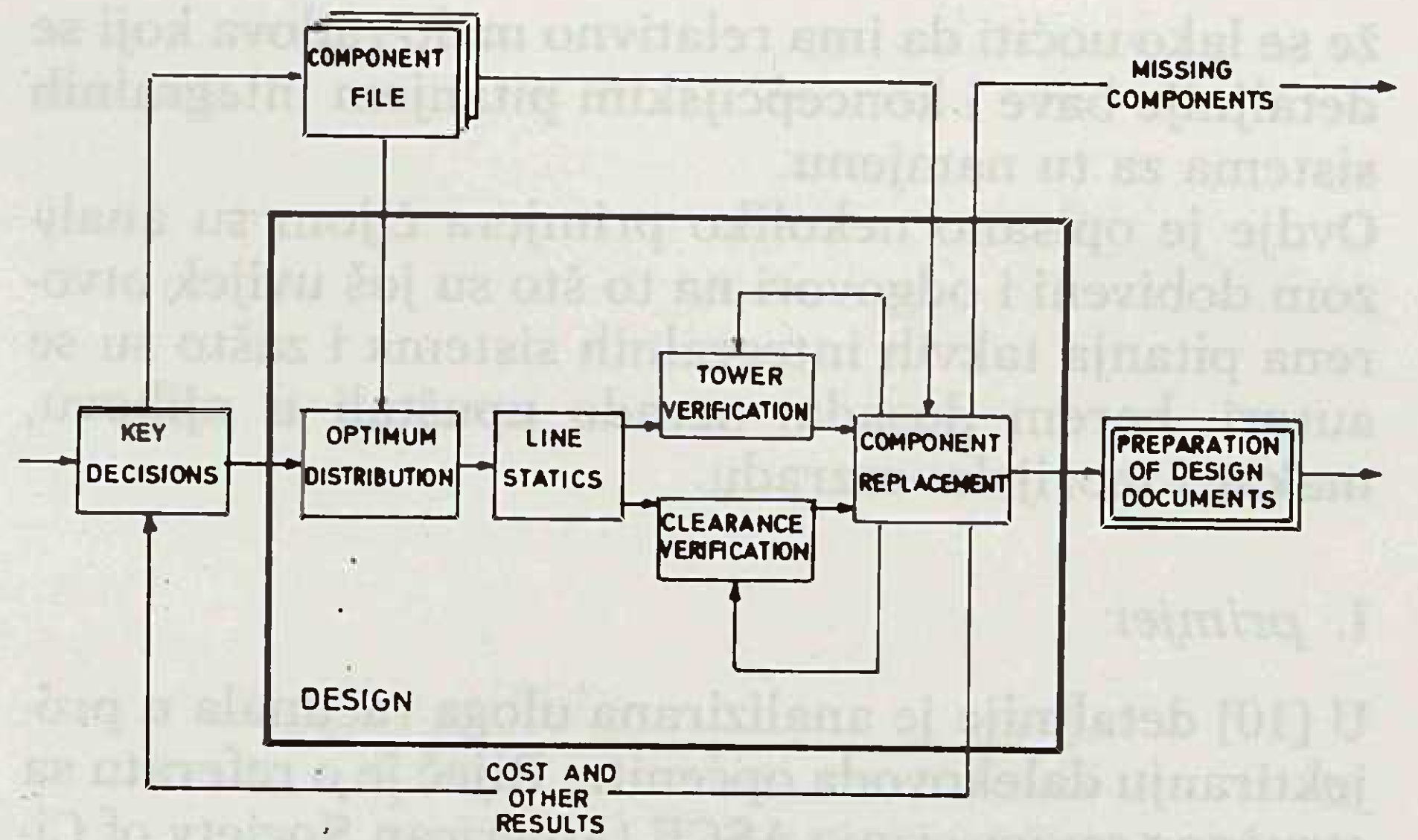
Slika 10. Blok-dijagram projektiranja elektroenergetskih objekata [11]

Pritom se, također s aspekta današnjih iskustava, odmah mogu uočiti sljedeća osnovna ograničenja:

- optimizacija trase nije uključena u proces automatske obrade,
- nije konceptijski riješeno pitanje optimizacije asortimana stupova.

Valja istaknuti da autori izričito naglašavaju da izbor trase nije moguće riješiti automatskom obradom.

Ipak, potrebno je upozoriti na vrlo važan pokušaj da se na razini tzv. ključnih odluka (sl. 11) provede određena sistematizacija i razrada formalnih kriterija za pitanja za koja se u svakodnevnoj praksi smatra da pripadaju isključivo području znanja i iskustva projektanta.



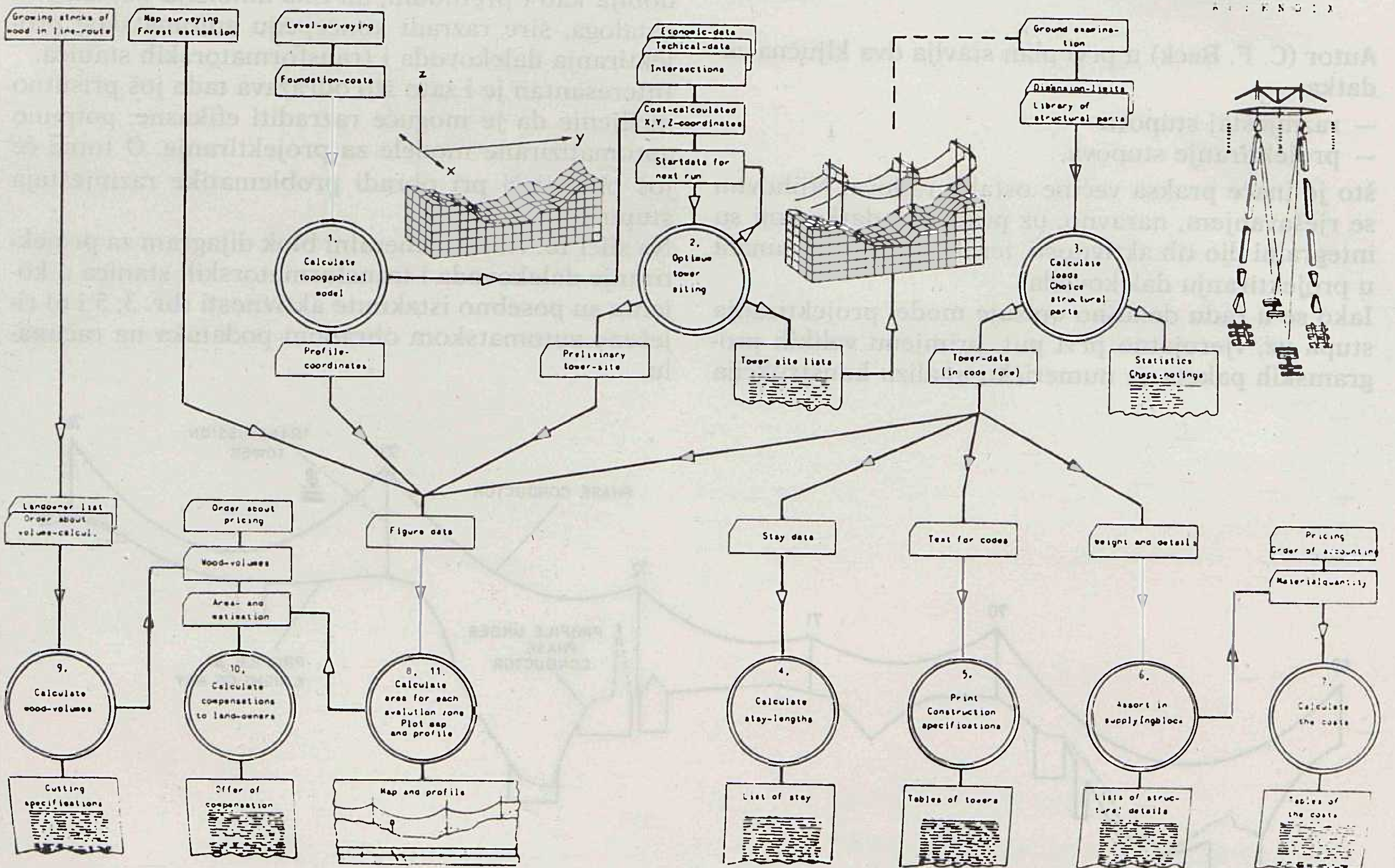
Slika 11. Blok-dijagram osnovnih aktivnosti projektiranja dalekovoda, [11]

III. primjer

Sistem za projektiranje dalekovoda pomoću računala, razrađen u švedskoj kompaniji Vattanfall i predstavljen na zasjedanju CIGRE 1974. god. [12] zapravo je osuvremenjena verzija programskog paketa razvijenog mnogo ranije, ali proširenog na praktički sve multidisciplinarnе aktivnosti u procesu projektiranja dalekovoda (sl. 12).

Integralnim sistemom obrade na računalu obuhvaćene su sljedeće osnovne djelatnosti:

- numerička obrada topografskih modela za optimizaciju razmještaja stupova i automatsko crtanje profila



Slika 12. Projektiranje dalekovoda u Švedskoj pomoću računala, [12]

- optimizacija razmještaja stupova s obzirom na topografiju, uvjete temeljenja, te raspoloživi spektar rješenja stupova i temelja
- razrada specifikacije stupova, temelja, konzola (prečki) i zatega
- računanje duljina zatega
- štampanje specifikacije konstrukcije (liste stupova)
- sortiranje materijala i lista narudžbi materijala
- kalkulacije troškova
- crtanje karte i računanje površina različitih zona evaluacije
- kalkuliranje kubatura drveta u šumovitim dijelovima trase dalekovoda
- kalkuliranje naknada vlasnicima zemljišta i štampanje ponuda za kompenzaciju odšteta
- crtanje profila sa situacijom trase, stupovima i krivuljama vodiča.

U dijelu koji se odnosi na konstrukciju stupova taj je sistem potpuno razvijen i prilagođen portalnom, centralno sidrenom stupu, koji se vrlo često primjenjuje pri gradnji dalekovoda u Skandinaviji.

Može se opaziti i vrlo širok opseg obrade problematike osiguranja prostora potrebnog za planirani dalekovod. Riječ je, očito, o vrlo razrađenom sistemu vrednovanja prostora na trasi voda, koji omogućuje i stanovitu »automatizaciju« postupka otkupa i naknada štete pri gradnji dalekovoda, izračunavanju šumskih prosjeka i sl.

Taj sistem ne obuhvaća problematiku izbora trase, ni izbor klasa (tipova) stupova.

IV. primjer

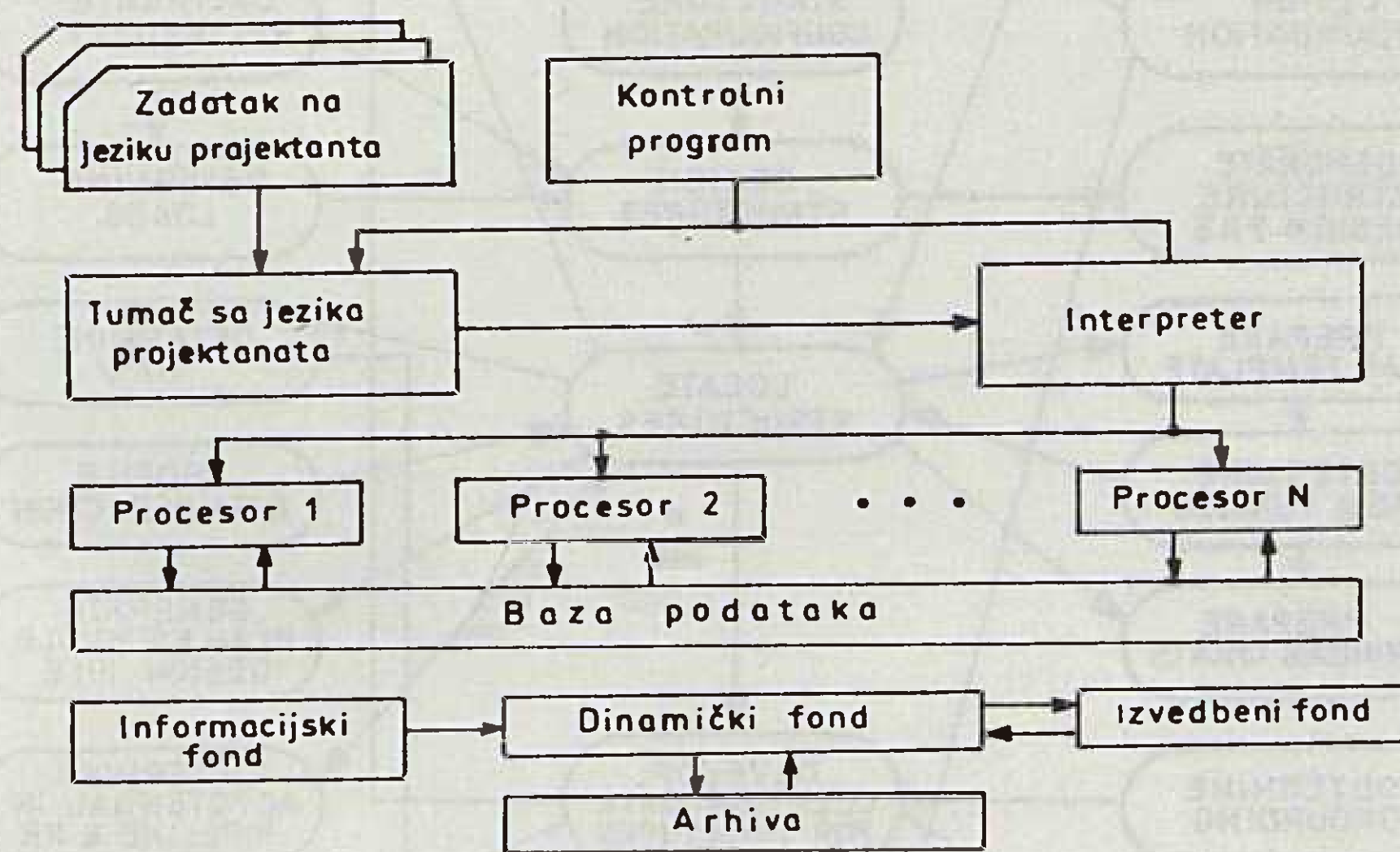
Noviji rad sovjetskih autora ([13], 1984. god.) daje detaljniju analizu sistema za projektiranje dalekovoda

tako da statistički obrađuje sve osnovne aktivnosti projektiranja konvencionalnim postupkom i pomoću kompjutera (tabl. 2).

U ocjeni postotnog udjela radnog angažmana i mogućeg udjela automatske obrade kao baza je poslužila anketa 15 specijalista projekatana nadzemnih vodova. Kasnije ćemo detaljnije komentirati te rezultate, posebno u kontekstu izloženoga integralnog informacijskog modela za projektiranje dalekovoda.

U radu se ne prezentira funkcionalna shema razvijenoga informacijskog modela, niti se daju pojedini primjeri važnijih obrada, pa je teško ocijeniti njegovu vrijednost.

Ipak, vrijedi istaknuti jedan od prvih opisa integralne baze podataka (sl. 13) i osnovnog toka informacija.



Slika 13. Strukturna shema i osnovni tok informacija [13]

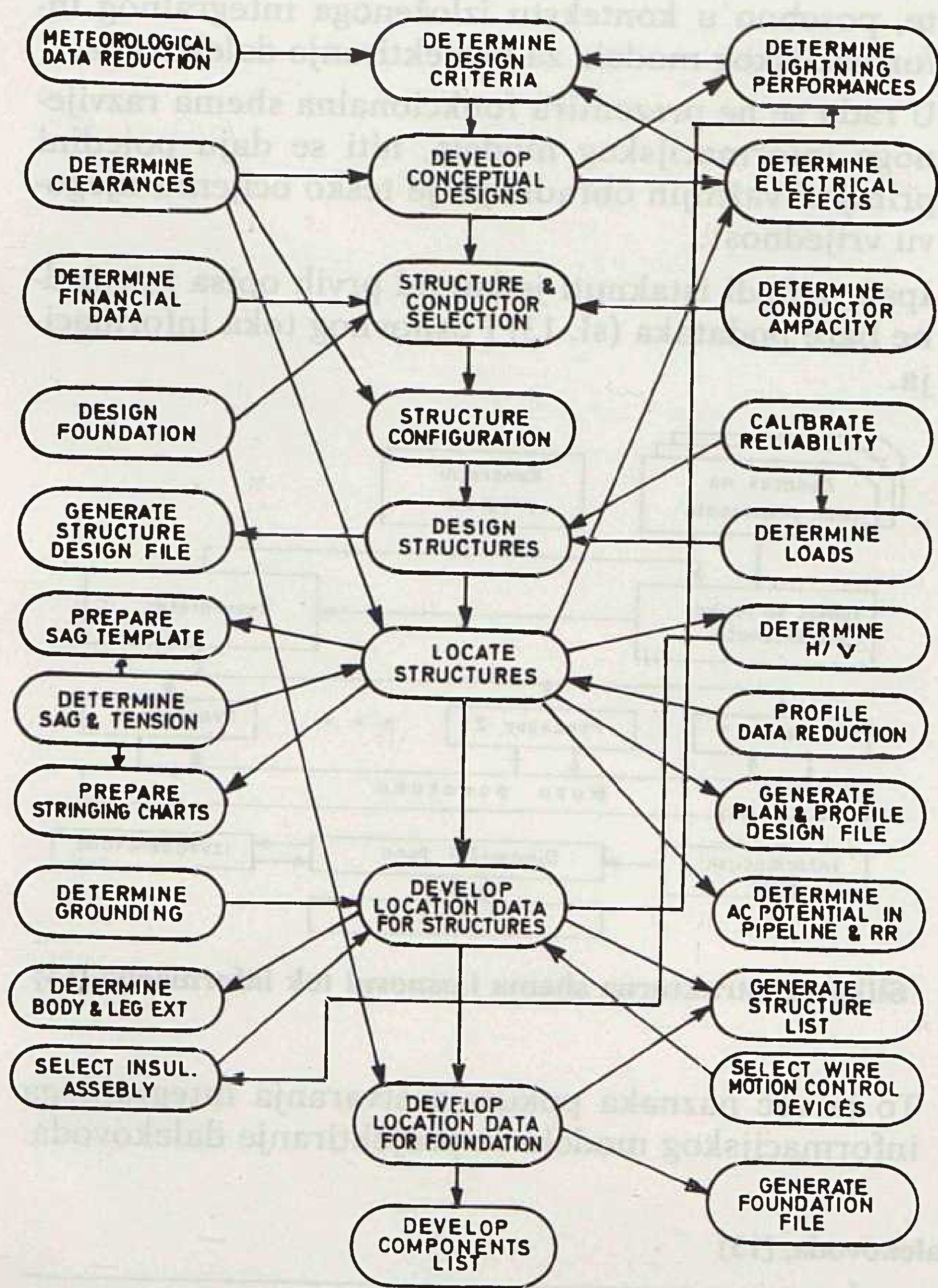
To je već naznaka pokušaja stvaranja integralnoga informacijskog modela za projektiranje dalekovoda.

Tablica 2. Analiza odnosa osnovnih aktivnosti projektiranja dalekovoda, [13]

Red. br.	Vrsta radova	Srednja zastupljenost radova (%)	Srednje odstupanje ocjene (%)	Razina automat. obrade (%)
1.	izbor osnovnih tehničkih rješenja	6,6	3,9	7
2.	priprema podataka za razmještaj	1,8	1,6	4
3.	proračun lančanice, šablona	0,8	0,5	76
4.	mehanički proračun vodiča i zaštitne užadi	2,6	2,2	94
5.	razmještaj stupova na profilu	15	8,6	12
6.	obrada prijelaza	5,5	2,6	49
7.	provjera sigurnosnih razmaka			
	— prema tlu	2,7	2,6	67
	— prema stupu	3,5	1,8	69
8.	proračun zaštitnog užeta	1,3	0,9	34
9.	proračun opterećenja			
	— na stupove	5,7	1,8	77
	— na izolaciju	1,4	0,8	68
10.	projvera nosivosti			
	— stupova	7,1	3	14
	— izolacije	1,6	1	3
11.	korekcija razmještaja stupova	3,9	2,2	6
12.	proračun i izbor temelja	8,8	1,7	31
13.	proračun montažnih tablica	3,5	1,7	93
14.	specifikacija električnog dijela	6,2	2,5	0
15.	specifikacija građevinskog dijela	4,3	1,4	0
16.	opseg radova			
	— električnog dijela	3	1,6	0
	— građevinskog dijela	3,2	1,9	0
17.	sastavljanje troškovnika	4,6	1,3	60
18.	ostali radovi	6	4,6	0

V. primjer

Peti primjer je sistem za projektiranje dalekovoda razvijen u SAD (Electric Power Research Institute, 1986 – 1988. god.). Prema raspoloživim informacijama, taj je sistem još u razradi, a osnovna je koncepcija dana na dijagramu toka, na slici 14.



Slika 14. Dijagram toka za projektiranje dalekovoda [14]

Novosti koje donosi taj rad, kao i još neki radovi u posljednje vrijeme, u osnovi su sljedeće:

- upotreba interaktivnih grafičkih sistema kao jedne od ključnih pretpostavki razvoja efikasnih CAD-sistema za dalekovode,
- razvoj koncepcije integralne baze podataka preko koje »komuniciraju« svi korisnici integralnog sistema
- organiziranje obrade na razini PC-a, što donosi znatne prednosti u široj primjeni i daljnjem unapređenju CAD-paketa,
- razvoj izvornog paketa za numeričku analizu konstrukcija.

VI. primjer

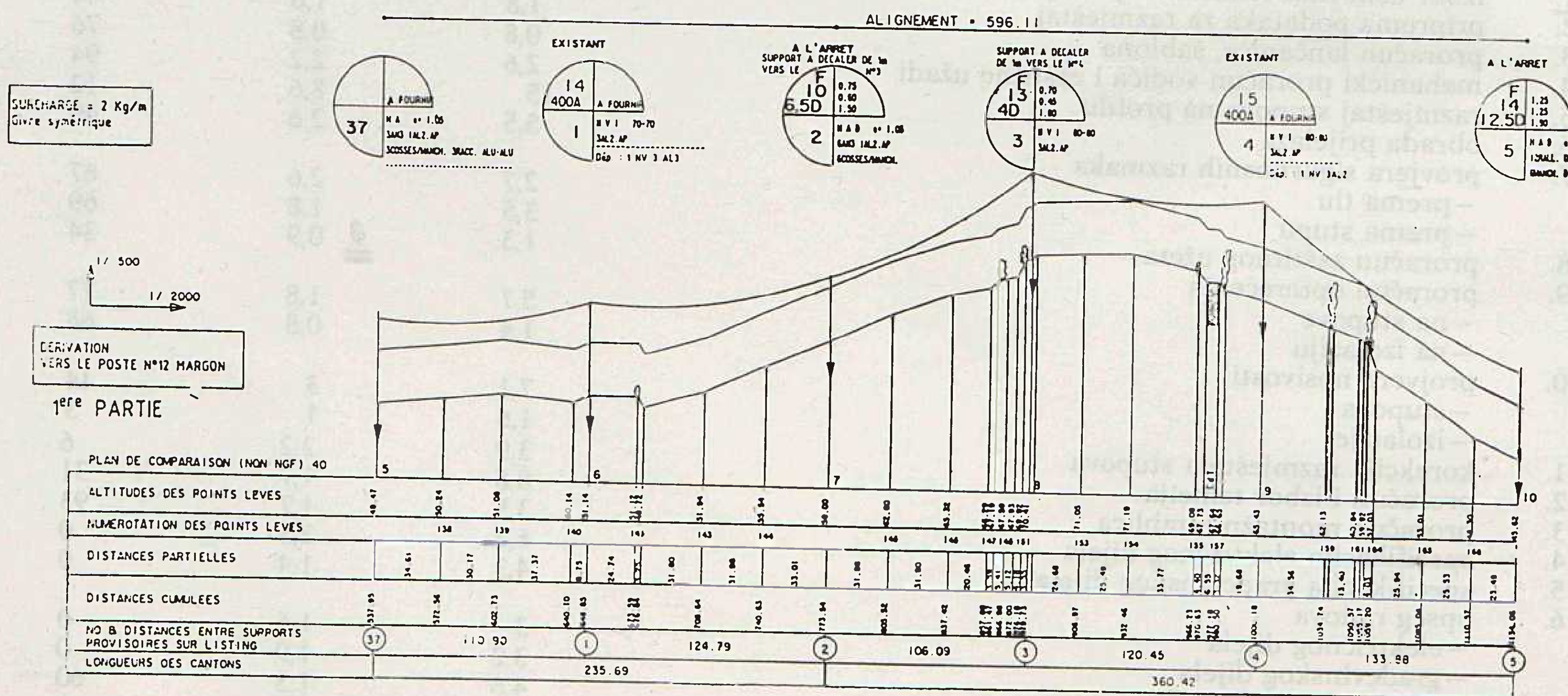
Jedan od najnovijih integralnih paketa za projektiranje dalekovoda je francuske firme SITRAS (Societe Informatique Technique de Recherches et d'Applications Scientifiques).

Razvijen je veliki broj modula za sve mehaničke i električke proračune, te obradu projektne dokumentacije dalekovoda. Slično kao i u primjeru švedskog paketa (primjer br. III), sistemom obrade nastojale su se obuhvatiti praktično sve aktivnosti u projektiranju dalekovoda do, uključivo, izrade katastarskih podloga, dokumentacije odštetnih zahtjeva i ugovora o korištenju zemljišta itd.

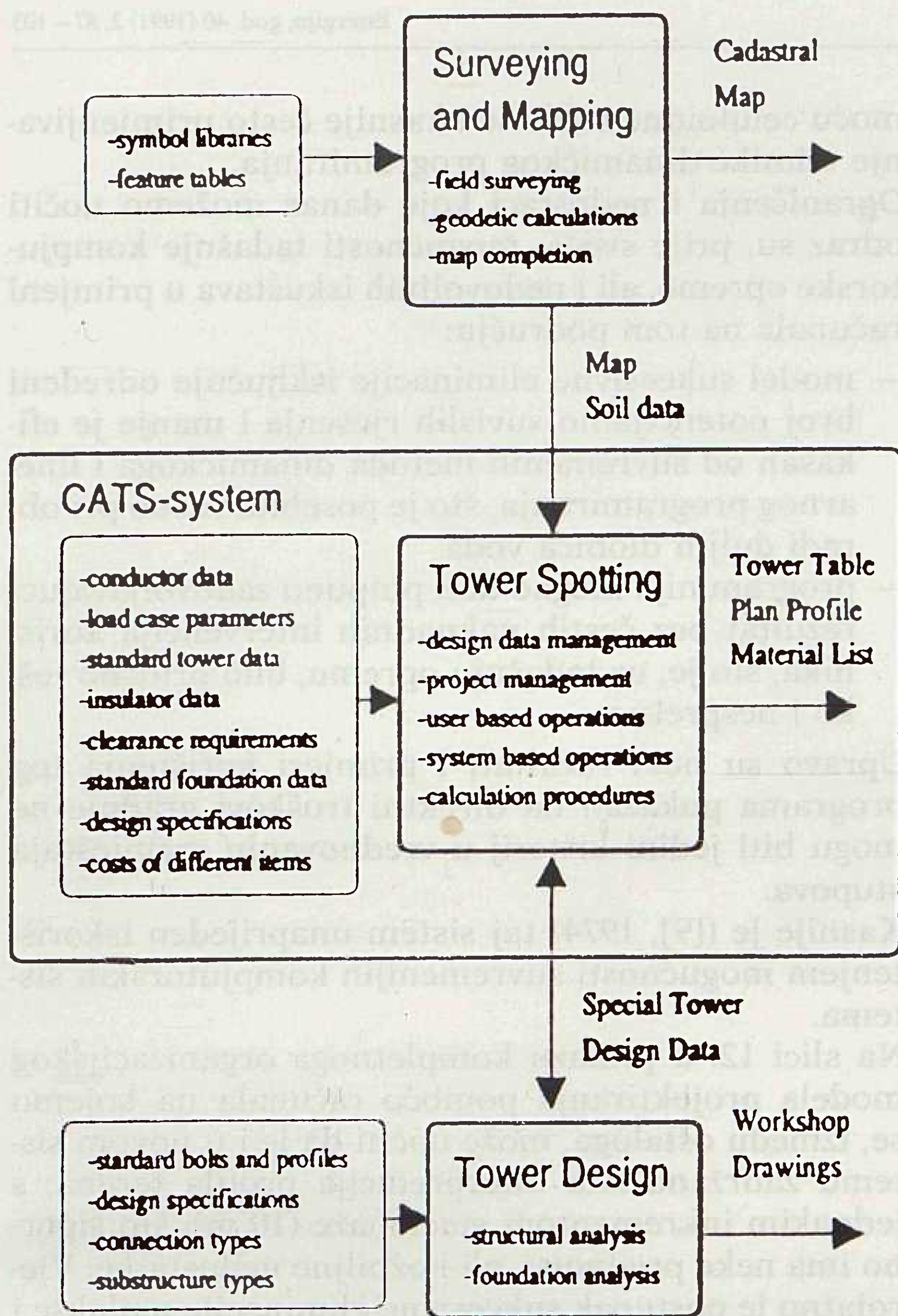
Korištenjem uz to najsuvremenije opreme (radne stanice najviših performanci), te programskog alata (sistem relacijskih baza podataka, 3D grafički paket opće namjene) ostvaren je ([39], primjer na sl. 15) integrirani sistem visokih mogućnosti.

VII. primjer

Na savjetovanju CIGRE, Paris 1990, u sklopu grupe 22 prva preferencijalna tema bila je upravo primjena računala u projektiranju dalekovoda. Jedan od programskih sistema koji su tada prezentirani bio je fin-



Slika 15. Primjer obrade dokumentacije dalekovoda u okviru programskog sistema SITRAS [39]



Slika 16. Blok-shema programskog sistema s kartiranjem razmještaja stupova i projektiranjem [41]

skih autora, [41]. I ovaj sistem, blok-shema na sl. 16, nastoji što cjelovitije obuhvatiti sve bitne aktivnosti projektiranja dalekovoda, uz vrlo efikasno korištenje suvremenih programskih paketa opće namjene.

Zanimljivo je ovdje da razmještaj stupova nije riješen nikakvim algoritmom, nego je samo omogućeno projektantu da »manuelno« definira varijantu rješenja, sam odabere najbolje i obradi dokumentaciju za korištenje potrebnih programskih modula za električne i mehaničke proračune, te grafičku obradu.

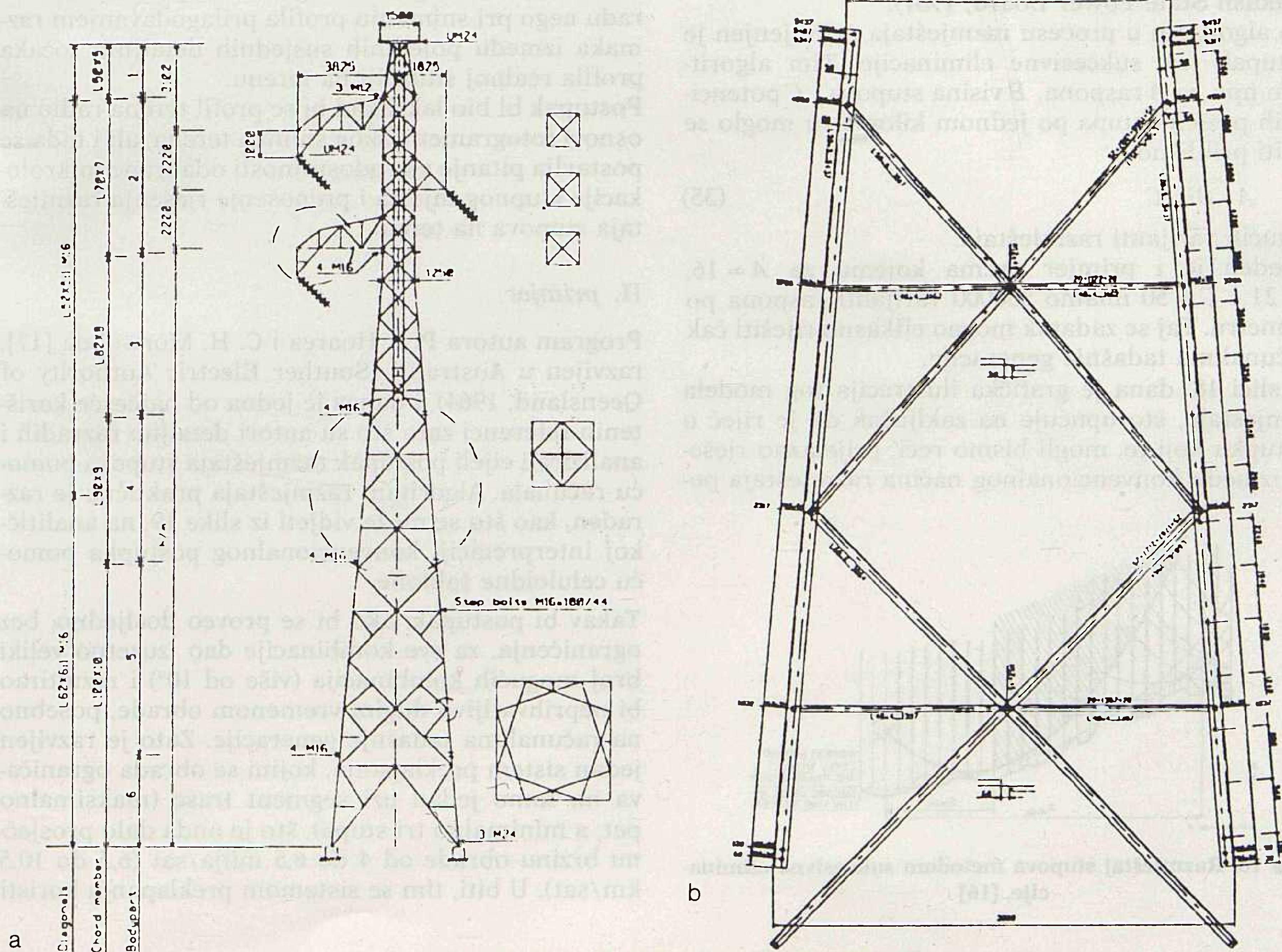
Vrijedi posebno istaći praktično rješenje problema izrade skica i radioničkih nacрта stupova, uz korištenje 3D paketa opće namjene, primjer na sl. 17.

Rekapitulacija

Neosporno je da se u proteklom razdoblju primjena računala u projektiranju dalekovoda razvila do vrlo visoke razine integralnosti i sofisticiranosti. Ostvareni su znatni pomaci u efikasnosti djelatnosti projektiranja, dubljem sagledavanju svih aspekata valorizacije projektnog rješenja, a i bitnom proširenju opcija koje, realno, konvencionalnim sredstvima nisu bile ostvarive.

Međutim, čak ni najnoviji, i najambiciozniji razvojni projekti te vrste u svijetu nemaju:

- rješenje za optimizaciju trase voda
- rješenje za optimizaciju asortimana tipova i podtipova stupova
- funkcionalnu i logičku veza između sistema CAD i CAM (proizvodnja opreme)



Slika 17. Skica i detalj radioničkog nacрта, [41]

— konceptijsko rješenje kontinuiranog unapređenja kriterija i parametara koji se baziraju na iskustvima već projektiranih vodova.

Pri razradi integralnoga informacijskog sistema koji je detaljnije opisan u ovom radu pošlo se upravo od tih uočenih ograničenja. Namjera nam je bila akceptirati dosadašnja pozitivna iskustva, ali i dati konkretan odgovor, odnosno naći rješenja za uklanjanje uočenih ograničenja.

Namjerno ne govorimo o greškama ili nedostacima nego o ograničenjima, jer i postojeći, pogotovo noviji CAD-sistemi, znače vrlo visok domet u razvoju projektiranja dalekovoda pomoću računala.

RAZMJETAJ STUPOVA

Najveći broj radova o primjeni računala u projektiranju dalekovoda obrađuje upravo razmještaj stupova kao najvažniji, a vjerojatno i najsloženiji zadatak optimizacije tehničkog rješenja voda. Iz priloženih referenci od oko 30 naslova izdvojiti ćemo nekoliko karakterističnih da bismo kratkom analizom došli do odgovora na pitanje kakvo je danas stanje i koji su problemi razmještaja stupova pomoću računala ostali neriješeni.

I. primjer

Prvi programi za razmještaj stupova pojavili su se u svijetu početkom 60-ih godina. Jedan od najpoznatijih dugo je bio program [16], izrađen u švedskoj (Swedish State Power Board, 1961).

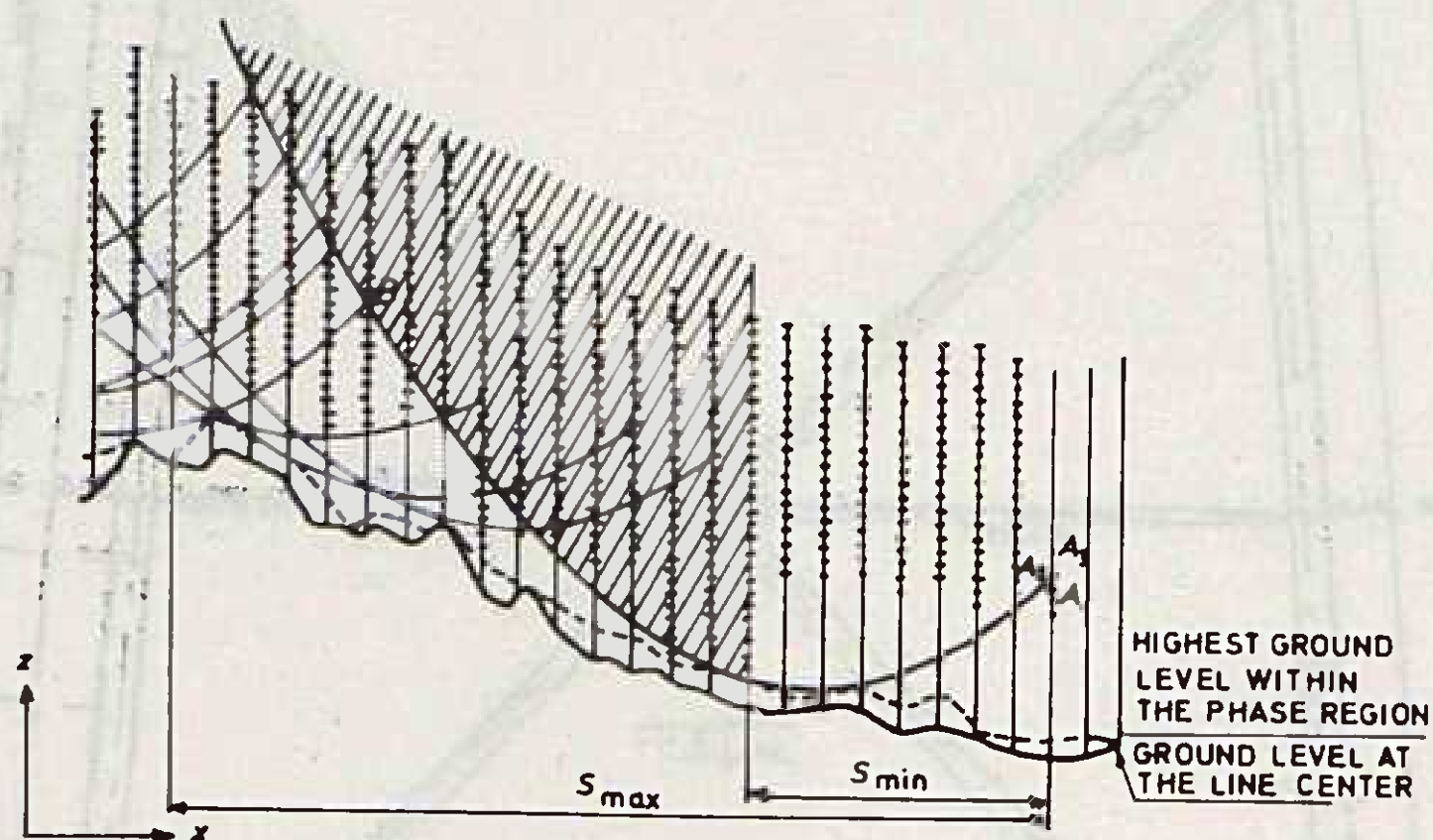
Kao algoritam u procesu razmještaja primijenjen je postupak tzv. sukcesivne eliminacije. Tim algoritmom npr. za A raspona, B visina stupova i C potencijalnih pozicija stupa po jednom kilometru moglo se dobiti približno:

$$A \cdot B^2 \cdot C \quad (35)$$

mogućih varijanti razmještaja.

Naveden je i primjer prema kojemu za $A = 16$, $B = 21$ i $C = 50$ imamo 350000 varijanti raspona po kilometru. Taj se zadatak mogao efikasno riješiti čak i računalima tadašnje generacije.

Na slici 18. dana je grafička ilustracija tog modela razmještaja, što upućuje na zaključak da je riječ o postupku koji je, mogli bismo reći, prijelazno rješenje između konvencionalnog načina razmještaja po-



Slika 18. Razmještaj stupova metodom sukcesivne eliminacije, [16]

moću celuloidne šablone i kasnije često primjenjivane tehnike dinamičkog programiranja.

Ograničenja i nedostaci koje danas možemo uočiti odraz su, prije svega, mogućnosti tadašnje kompjutorske opreme, ali i nedovoljnih iskustava u primjeni računala na tom području:

- model sukcesivne eliminacije isključuje određeni broj potencijalno suvislih rješenja i manje je efikasan od suvremenih metoda dinamičkoga i linearnog programiranja, što je posebno važno pri obradi duljih dionica voda
- program nije mogao dati potpuno zadovoljavajući rezultat bez čestih naknadnih intervencija korisnika, što je, uz tadašnju opremu, bilo prilično teško i nespretno.

Upravo su neki rezultati i primjeri korištenja tog programa pokazali da direktni troškovi gradnje ne mogu biti jedini kriterij u vrednovanju razmještaja stupova.

Kasnije je ([9], 1974) taj sistem unaprijeđen iskorištenjem mogućnosti suvremenijih kompjutorskih sistema.

Na slici 12. u prikazu kompletnoga organizacijskog modela projektiranja pomoću računala na kojemu se, između ostaloga, može uočiti da je i u novom sistemu zadržana ista interpretacija profila terena, s jednakim inkrementom stacionaže (10 m), što sigurno ima neke prednosti, ali i ozbiljne nedostatke. Vjerojatno je postupak sukcesivne eliminacije najlakše i najefikasnije organizirati upravo na takvom predlošku, tj. na pravilnoj koordinatnoj mreži.

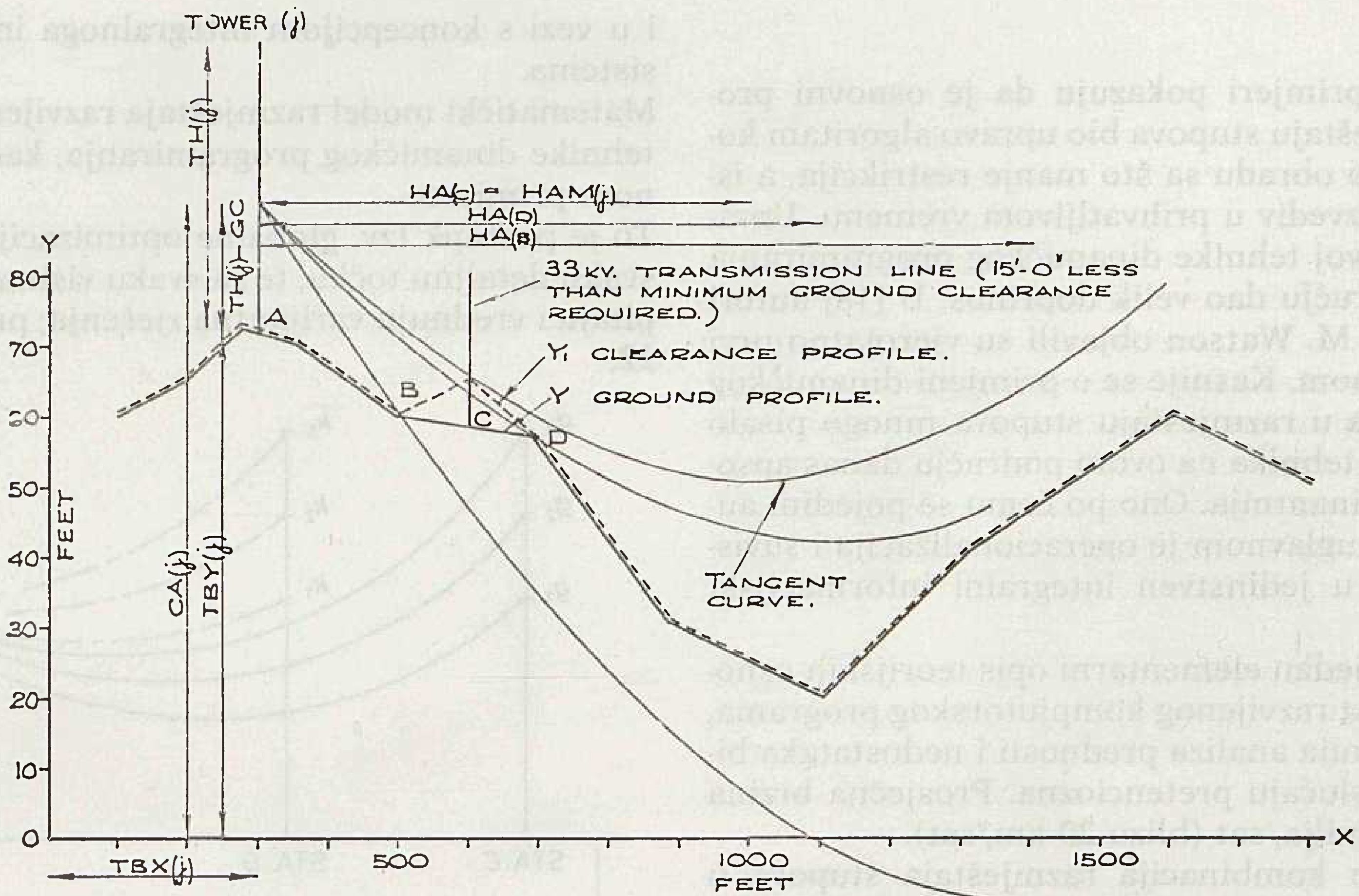
Međutim, to zahtijeva mnogo složeniju terensku obradu nego pri snimanju profila prilagodavanjem razmaka između pojedinih susjednih detaljnih točaka profila realnoj situaciji na terenu.

Postupak bi bio lakši kad bi se profil terena radio na osnovi fotogrametrijskog snimka terena, ali i tada se postavlja pitanje vjerodostojnosti odabrane mikrolokacije stupnog mjesta i prenošenje rješenja razmještaja stupova na teren.

II. primjer

Program autora P. J. Hoarea i C. H. Morwooda [17], razvijen u Australiji (Souther Electric Authority of Queensland, 1964), i danas je jedna od najčešće korištenih referenci zato što su autori detaljno razradili i analizirali cijeli postupak razmještaja stupova pomoću računala. Algoritam razmještaja praktično je razrađen, kao što se može vidjeti iz slike 19, na analitičkoj interpretaciji konvencionalnog postupka pomoću celuloidne šablone.

Takav bi postupak, ako bi se proveo dosljedno, bez ograničenja, za sve kombinacije dao izuzetno veliki broj mogućih kombinacija (više od 10^9) i rezultirao bi neprihvatljivo dugim vremenom obrade, posebno na računalima tadašnje generacije. Zato je razvijen jedan sistem preklapanja, kojim se obrada ograničava na samo jedan uži segment trase (maksimalno pet, a minimalno tri stupa), što je onda dalo prosječnu brzinu obrade od 4 do 6,5 milja/sat (6,5 do 10,5 km/sat). U biti, tim se sistemom preklapanja koristi



Slika 19. Razmještaj stupova simuliranjem konvencionalnog postupka, [17]

i projektant u konvencionalnom postupku razmještaja, jer nikad dokraja ne istražuje posljedice promjene određenog detalja razmještaja.

Vrlo detaljna poredbena analiza kompjutorskog i konvencionalnog razmještaja pokazala je da je moguća ušteda od približno 4–5%, izražena isključivo u troškovima projektiranja. Uštede u skraćenoj vremenu izrade i razradi racionalnijega tehničkog rješenja potencijalno su višestruko veće.

Uočena su ova ograničenja postojećeg programa:

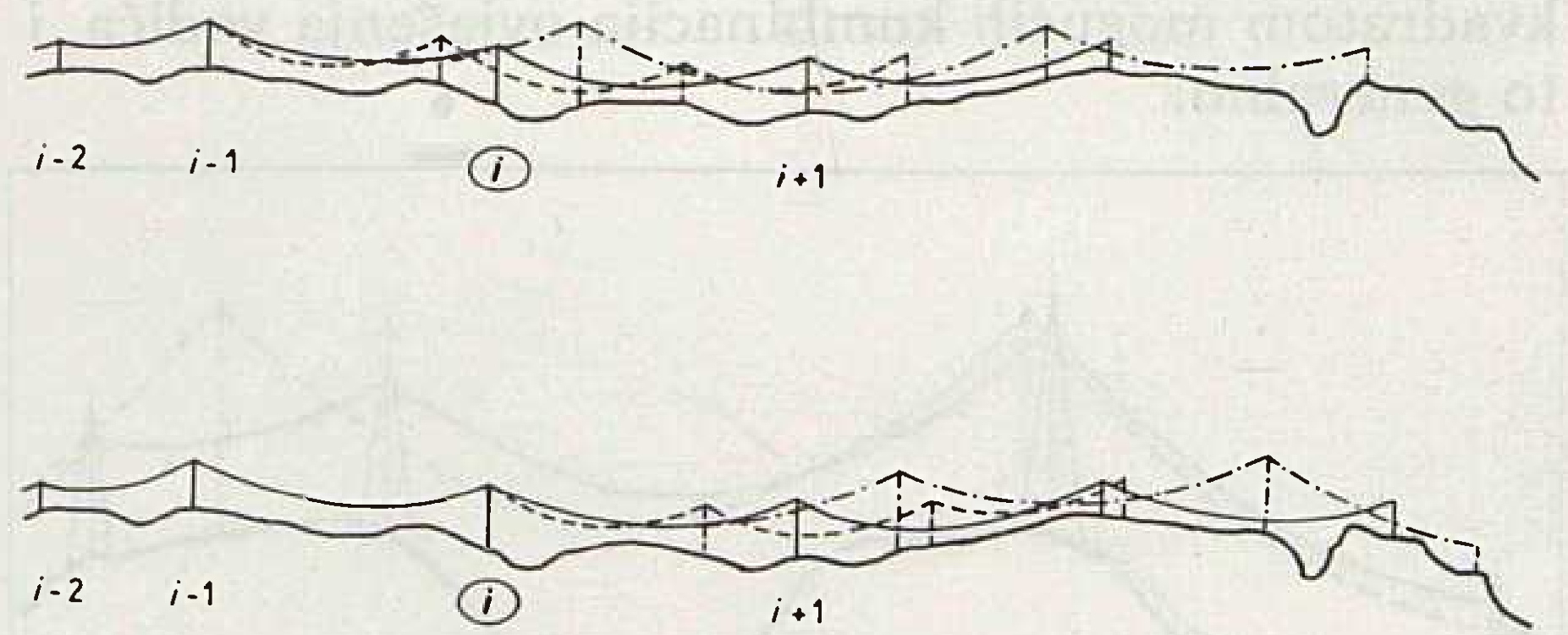
- čak i uz dobro postavljen sistem izbora inkrementa u poziciji stupa te duljine dionice preklapanja, takav algoritam ne može biti pravo rješenje; redovno će davati predugo vrijeme obrade ili samo jedno suboptimalno rješenje
- postupak »nasljeđuje« i određene slabosti konvencionalne metode: razmještaj stupova na početku i kraju voda samo je više ili manje blizu optimalnoga
- navedeni primjeri razmještaja pokazuju da se racionalnije rješenje u odnosu prema konvencionalnom razmještaju, između ostaloga, našlo forsiranjem vrlo visokih stupova i neujednačenih raspona, što s aspekta teškoća pri montaži i u eksploataciji može biti vrlo neprihvatljivo.

Prema informaciji jednog od suradnika na tom projektu, problem neadekvatnog rješenja razmještaja stupova na krajevima voda pokušavao se riješiti ponavljanjem obrade »unazad«.

III. primjer

U već spominjanom programskom paketu firme ENEL [11] razmještaj stupova također je riješen varijantom simuliranja konvencionalnog procesa pomoću celuloidne šablone. Riječ je o postupku tzv. lokalne optimizacije (sl. 20).

Postupak tzv. lokalne optimizacije praktično je imitiranje konvencionalnog postupka kojim se variraju različita varijanta rješenja razmještaja nekoliko raspona unaprijed da bi se fiksirao raspon najbliži prethodno utvrđenome itd. Ostala se rješenja odbacuju, pa se postupak i zove tehnika »pozicioniranja i odbacivanja«. Danas se rjeđe primjenjuje kao osnovno rješenje u algoritmu razmještaja stupova.



Slika 20. Primjer postupka lokalne optimizacije razmještaja stupova

Model iz [11] interesantan je i zato što se tendencija previsokim stupovima i neujednačenim rasponima u njemu nastoji obuzdati stanovitim »penaliziranjem« takvih rješenja. Također je vrijedno istaknuti ideju stvaranja »tipične trase«, pri čemu je problem projektiranja oko 2 000 km novih vodova analiziran na modelu profila od približno 100 km, dobivenog statističkom obradom.

Uočena su ova ograničenja:

- limitirane su mogućnosti algoritma za razmještaj stupova, kao i u prethodnim primjerima
- niska je razina interaktivnog rada, što je odraz nastojanja da se stvori potpuno automatiziran proces obrade.

IV. primjer

Svi izneseni primjeri pokazuju da je osnovni problem u razmještanju stupova bio upravo algoritam koji bi omogućio obradu sa što manje restrikcija, a istodobno bio izvediv u prihvatljivom vremenu. Upravo je zato razvoj tehnike dinamičkog programiranja i na tom području dao velik doprinos. U [18] autori G. W. Stagg i M. Watson objavili su vjerojatno prvi rad s tom temom. Kasnije se o primjeni dinamičkog programiranja u razmještanju stupova mnogo pisalo jer je opisana tehnika na ovom području danas apsolutno najdominantnija. Ono po čemu se pojedini autori razlikuju uglavnom je operacionalizacija i suvislo uklapanje u jedinstven integralni informacijski sistem.

U [18] dan je jedan elementarni opis teorijskih osnova i mogućnost razvijenog kompjutorskog programa, pa bi konkretnija analiza prednosti i nedostataka bila u svakom slučaju pretenciozna. Prosječna brzina obrade je 12 milja/sat (blizu 20 km/sat).

Broj mogućih kombinacija razmještanja stupova u tom se programu računa prema izrazu:

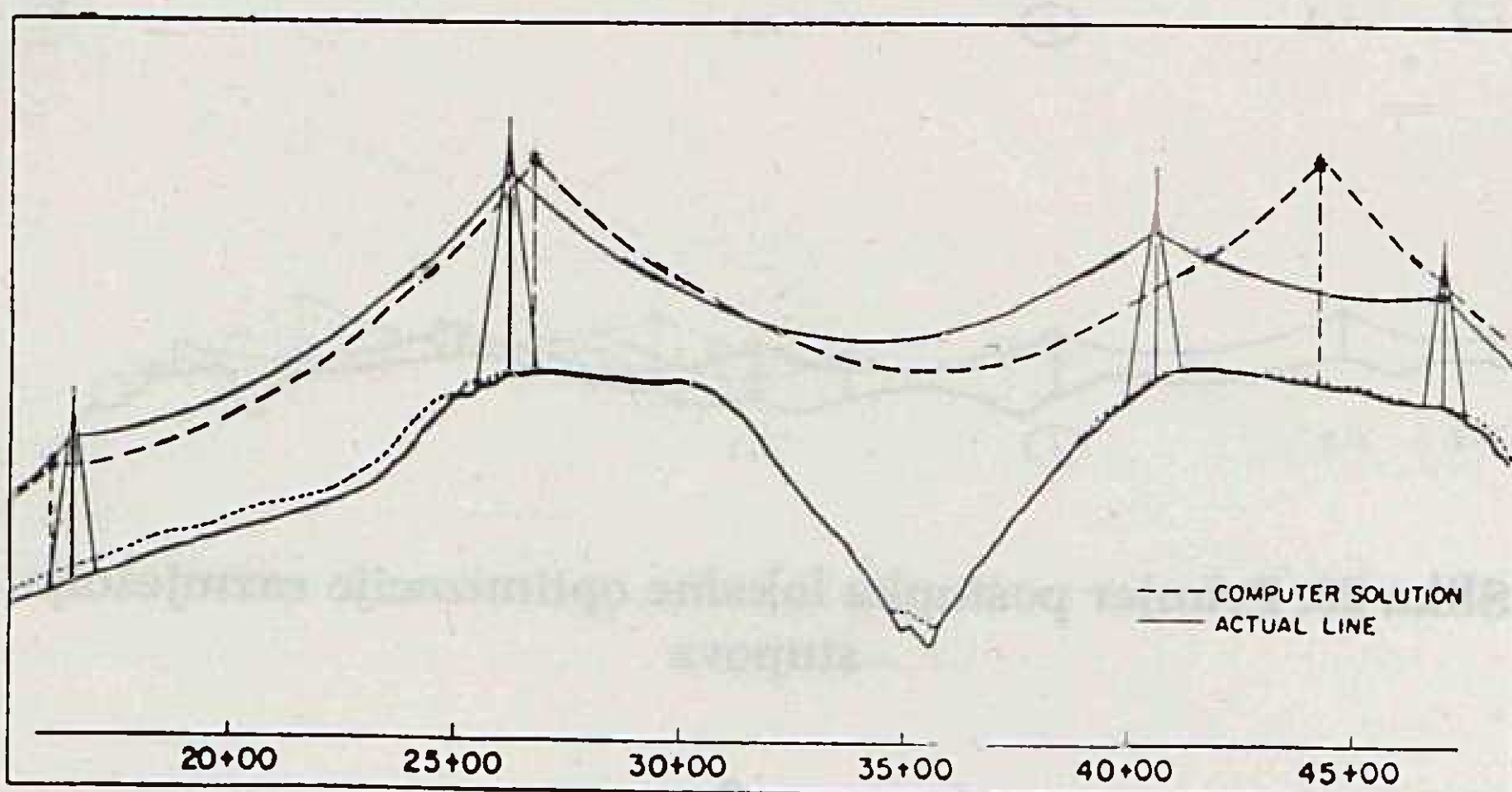
$$\frac{M^2 \cdot \alpha \cdot (\alpha + 1)}{2}, \quad (36)$$

gdje je:

M — broj mogućih tipova, odnosno visina stupova

α — broj prethodnih točaka (potencijalnih lokacija prethodnog stupa).

U vezi s navedenim primjerom i ocjenom mogućeg broja kombinacija, valja istaknuti da će broj raspoloživih visina i tipova stupova u realnoj praksi morati biti osjetno veći, zbog čega vrijeme obrade raste s kvadratom mogućih kombinacija ovješnja vodiča, i to generalno!



Slika 21. Analiza razmještanja stupova konvencionalnom metodom i pomoću kompjutora [18]

Na slici 21. dan je primjer analize razmještanja na ranije konvencionalno projektiranom vodu i pomoću kompjutora.

Navodi se podatak o mogućim uštedama od 5 do 10 %.

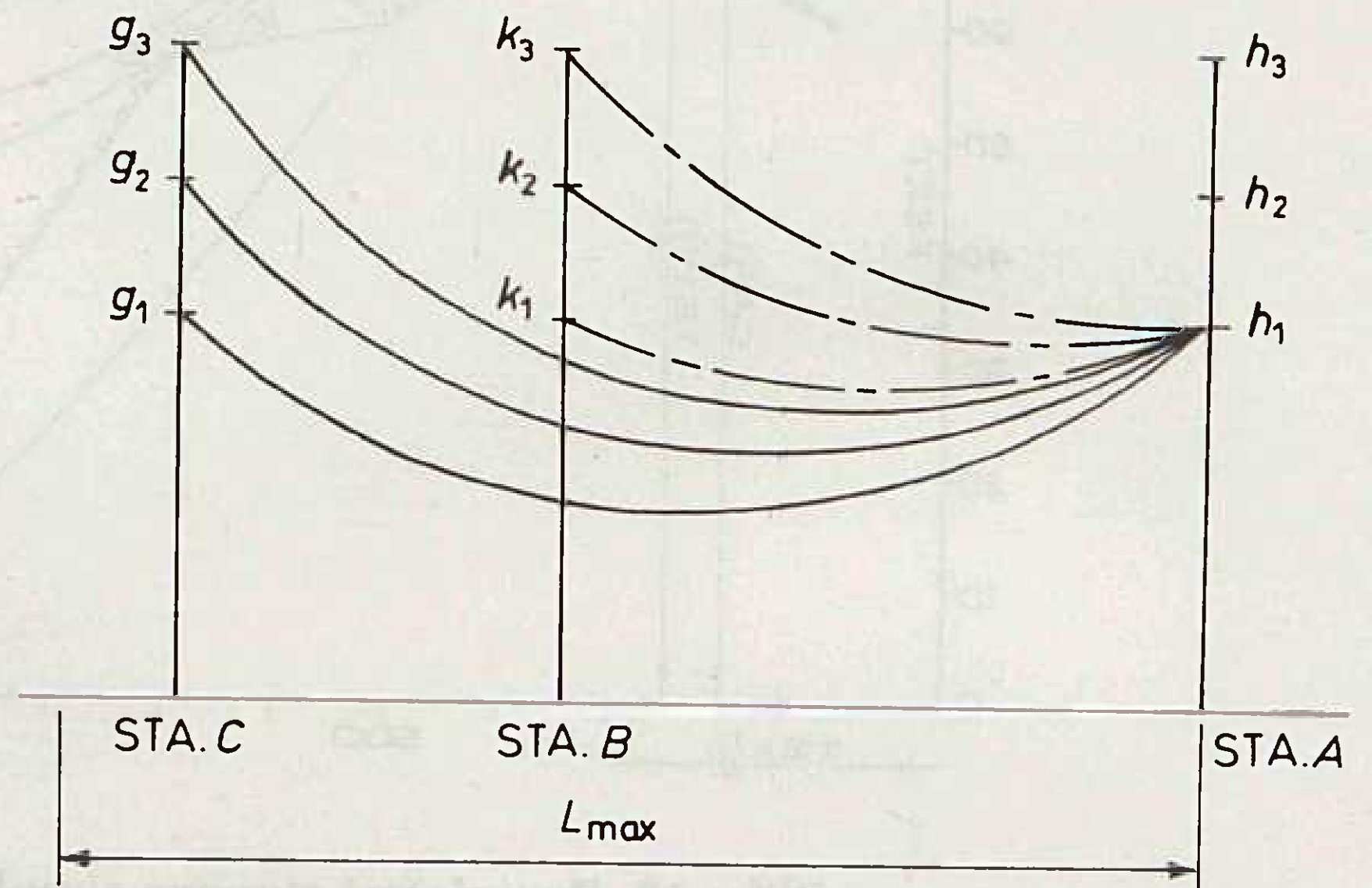
V. primjer

Noviji primjer razmještanja stupova pomoću kompjutora jest i onaj firme EPRI [19], koji smo spominjali

i u vezi s koncepcijom integralnoga informacijskog sistema.

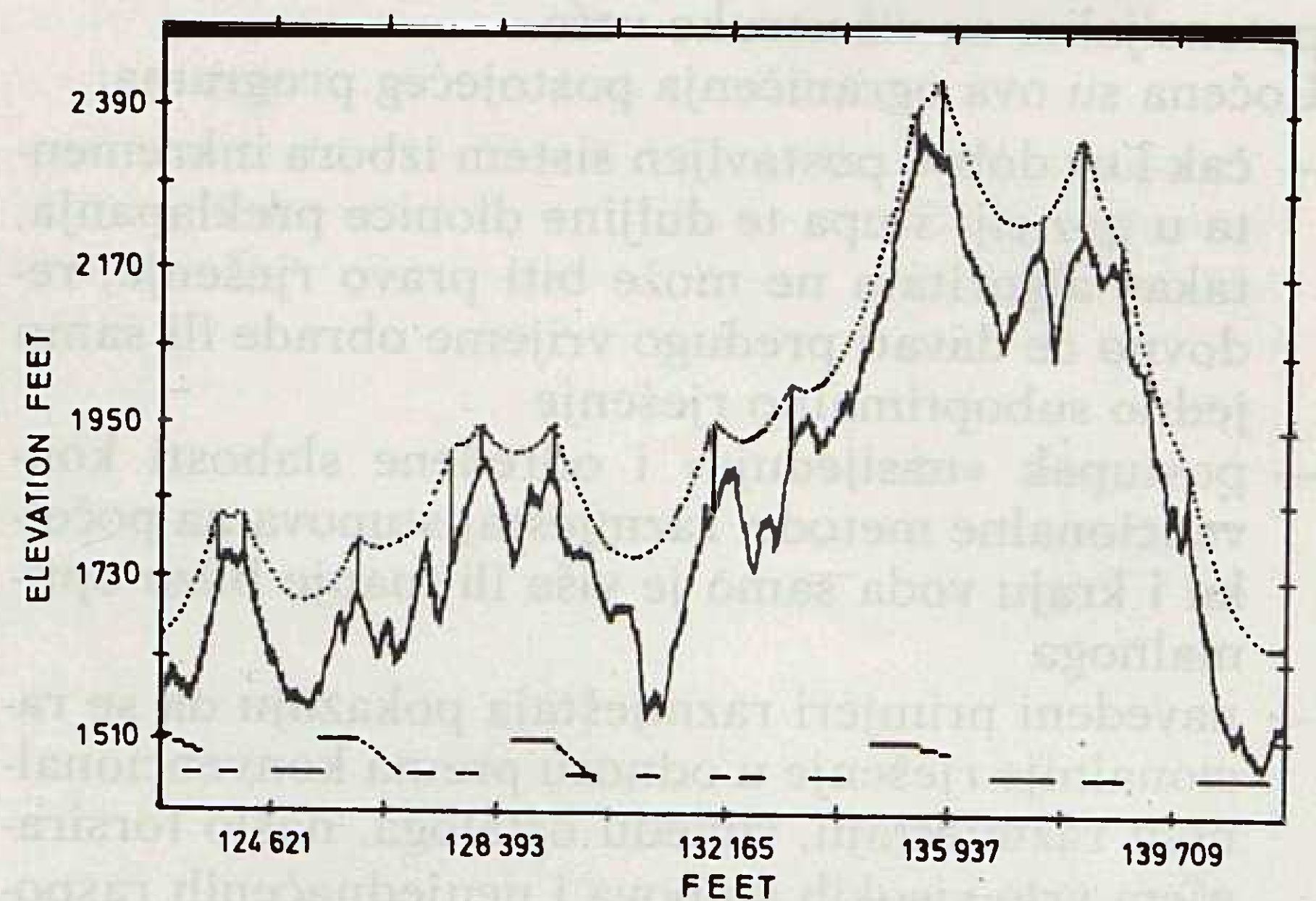
Matematički model razmještanja razvijen je na osnovi tehnike dinamičkog programiranja, kao i u prethodnom primjeru.

To je postupak tzv. globalne optimizacije kojim se za svaku detaljnu točku, te za svaku visinu i tip stupa ispituju i vrednuju varijantna rješenja; primjer na slici 22.



Slika 22. Primjer postupka globalne optimizacije razmještanja stupova [19]

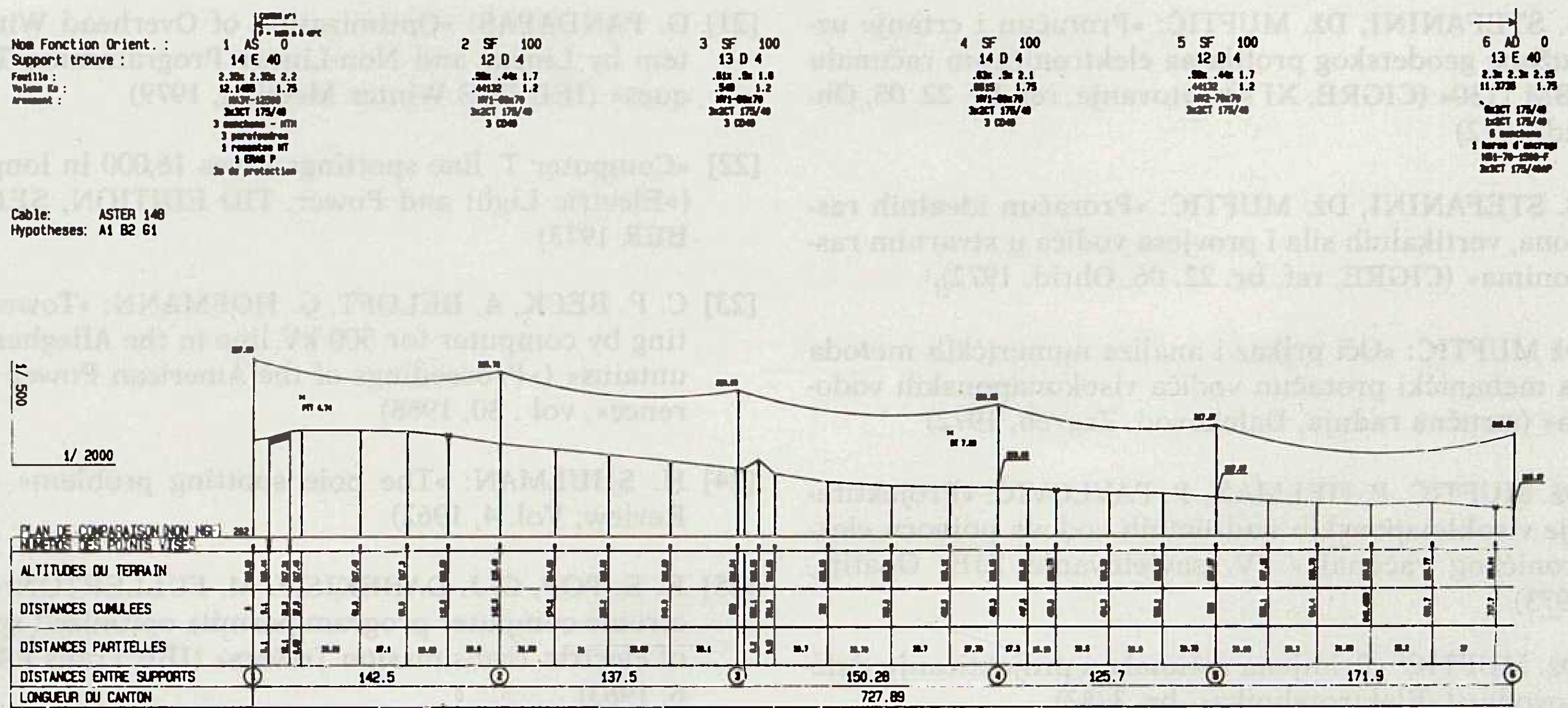
Posebna vrijednost sistema prikazanog u [19, 20] jest visoka razina interaktivnog rada i algoritam optimizacije koji dozvoljava da se razmještanje stupova rješava u prihvatljivom vremenu i uz prihvatljivu točnost, čak i (sl. 23) na personalnim računalima.



Slika 23. Razmještanje stupova na personalnom računalu, [20]

VI. primjer

Noviji primjer iz francuske prakse [40] ilustracija je onoga što se naziva »manualnim« rješenjem razmještanja stupova pomoću računala. Korištenjem programskih modula za mehaničke i električne proračune, te grafičkog paketa za obradu uzdužnog profila, projektantu se omogućuje da direktno na računaru pozicionira određeno rješenje razmještanja stupova, obradi potrebne kontrole i, kada bude zadovoljan rješenjem, obradi na računaru svu potrebnu dokumentaciju, primjer profila na sl. 24.

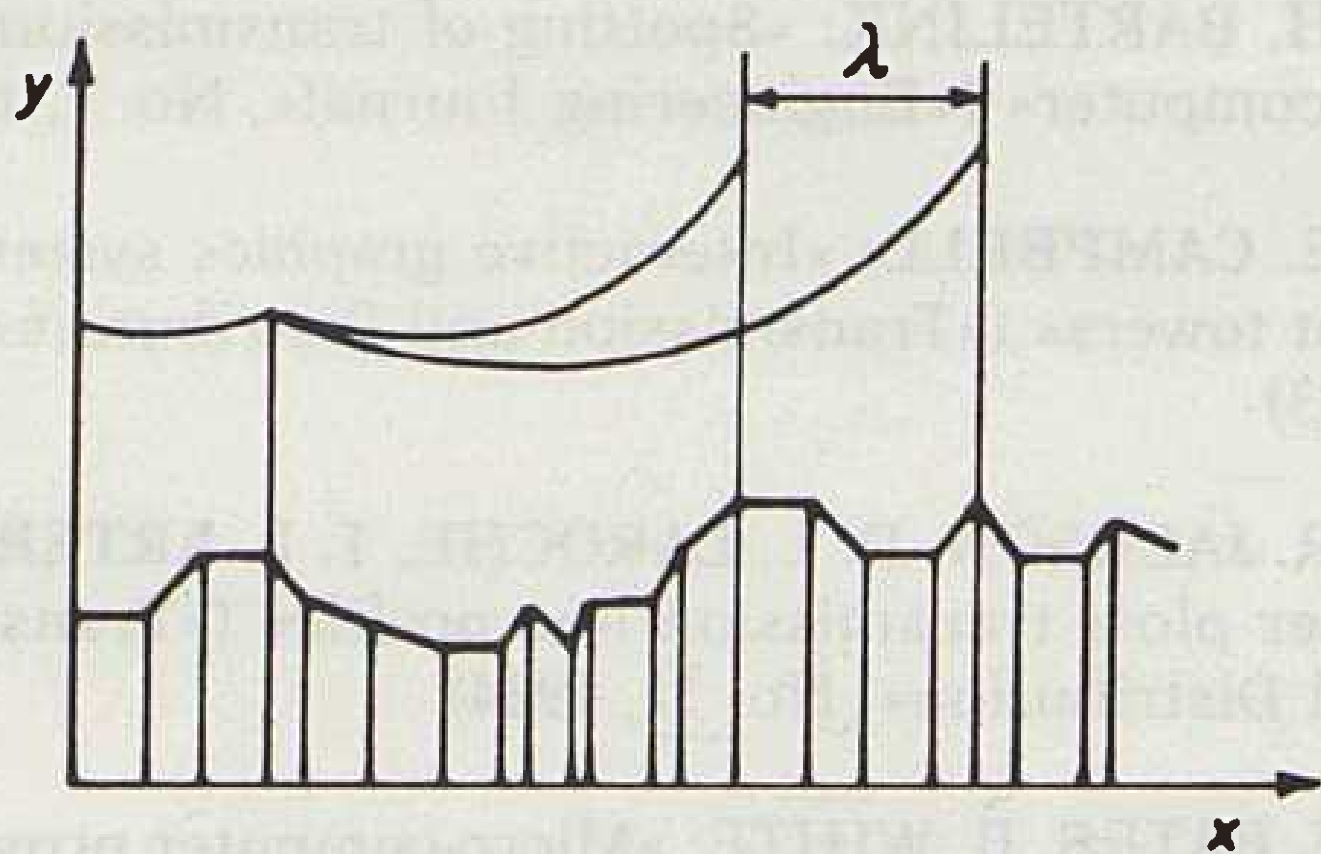


Slika 24. Uzdužni profil sa konačnim izborom rješenja razmještaja stupova [40]

Ovakvi programski paketi nemaju posebno visoke zahtjeve u pogledu opreme i mogu se izvoditi na standardnim verzijama PC-AT računala, što jest određena prednost u praktičnoj primjeni.

VII. primjer

Španjolski primjer, prezentiran na konferenciji CIGRE, Paris, 1990, ujedno je i ilustracija jednog praktičnog rješenja primjera dinamičkog programiranja, ali uz ograničenja u mogućem izboru pozicija stupova. Drugim riječima, sistemom izbora tzv. finoće kalkuliranja [42], čije značenje je predstavljeno na jednostavnoj ilustraciji, sl. 25, to je rješenje *parcijalne optimizacije*, čime se može dobiti dosta na brzini obrade, ali izgubiti i na kvaliteti ako se ne vodi briga o adekvatnom izboru vrijednosti λ .



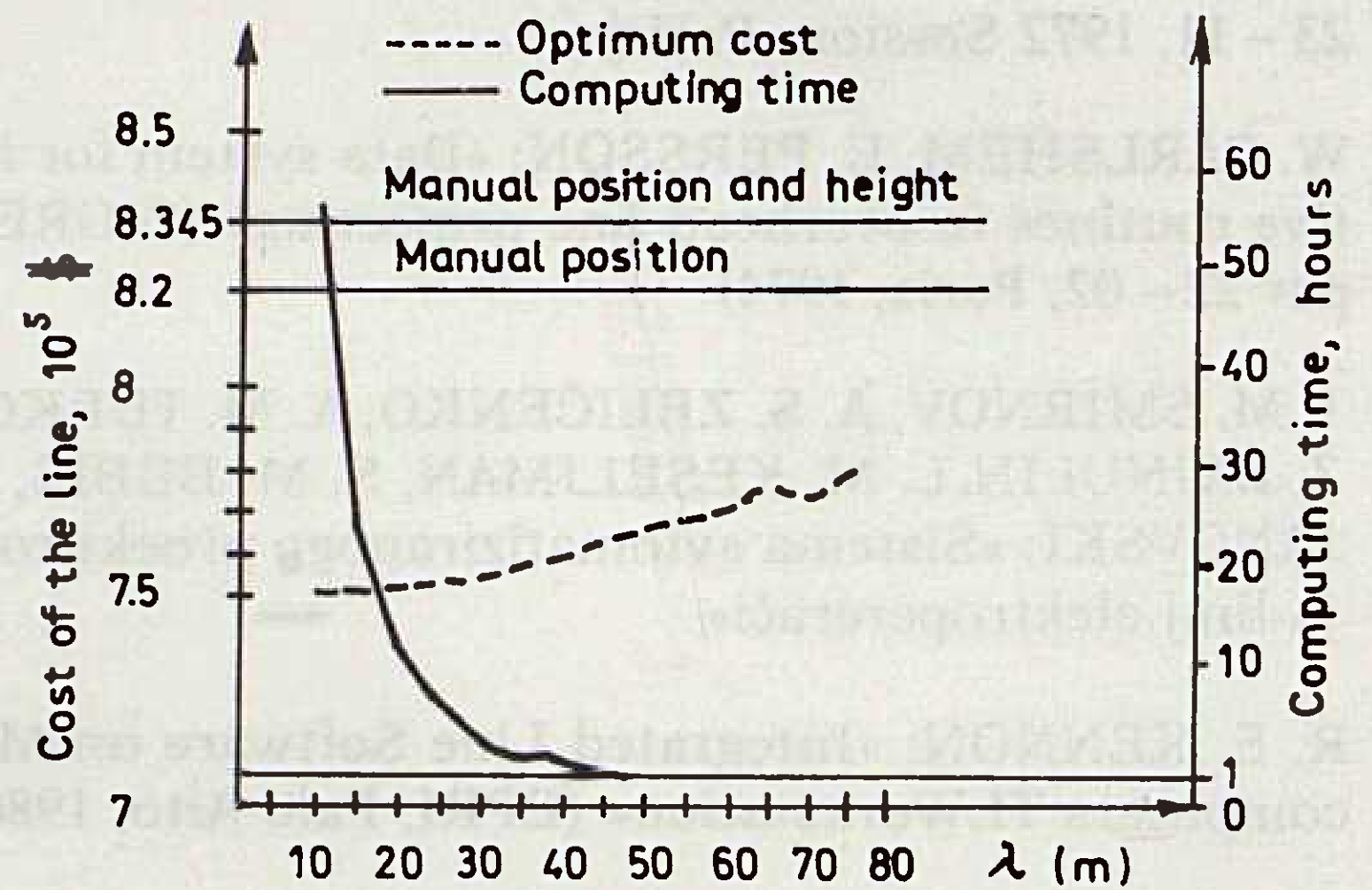
Slika 25. Grafička interpretacija parametra λ

Ovaj rad [42] ima posebnu vrijednost u tome što daje vrlo detaljnu analizu mogućih direktnih i indirektnih efekata u primjeni ovakvog, kompjutorskog razmještaja stupova u usporedbi s konvencionalnim, odnosno, kako i autor navodi manualnim.

Tako na sl. 26, imamo analizu cijene projektiranog voda i vremena obrade.

Područja daljnjeg unapređenja razmještaja stupova pomoću računala općenito bi mogla biti:

- poboljšanje modela računanja komulativnih troškova u algoritmu optimizacije
- rješavanje teorijskog pitanja optimalnog razmještaja na početku i kraju voda
- nalaženje efikasnog rješenja za uključivanje u obradu iskustvenih kriterija u procesu razmještaja.



Slika 26. Primjer analize efekata kompjutorskog razmještaja [42]

LITERATURA

- [1] Dr. MUFTIĆ »Razvoj novih postupaka optimizacije u projektiranju i izgradnji dalekovoda« (doktorska disertacija, ETF – Zagreb, 1989)
- [2] Dr. MUFTIĆ, Z. MEDIĆ, A. DELONGA, G. HRABAK-TUMPA: »Choice of route as« (CIGRE SC – 22 Open conference, Sarajevo, 1989)
- [3] Dž. MUFTIĆ: »Some aspects of tower spotting by means of computer« (Written contribution, CIGRE – Paris, 1990, Session)

- [4] B. STEFANINI, Dž. MUFTIĆ: »Proračun i crtanje uzdužnog geodetskog profila na elektroničkom računalu IBM 1130« (CIGRE, XI savjetovanje, ref. br. 22. 05, Ohrid, 1972)
- [5] B. STEFANINI, Dž. MUFTIĆ: »Proračun idealnih raspona, vertikalnih sila i provjesa vodiča u stvarnim rasponima« (CIGRE, ref. br. 22. 06, Ohrid, 1972)
- [6] Dž. MUFTIĆ: »Oči prikaz i analiza numeričkih metoda za mehanički proračun vodiča visokonaponskih vodova« (stručna radnja, Dalekovod, Zagreb, 1972)
- [7] Dž. MUFTIĆ, P. HELMAN, P. PAVLOVIĆ: »Projektiranje visokonaponskih nadzemnih vodova pomoću elektroničkog računala« (V. savjetovanje ZJE, Opatija, 1973)
- [8] Dž. MUFTIĆ: »Primjena računala u projektiranju dalekovoda« (»Elektrotehnika«, br. 3/82)
- [9] Dž. MUFTIĆ, V. ILIJANIĆ: »Mjesto i uloga računala u projektiranju visokonaponskih nadzemnih vodova« (7. međunarodni simpozij PPPR, Zagreb, 1985)
- [10] C. F. BECK: »Computer's role in transmission line design« (»Journal of the Structural division«, Proceedings of the ASCE, 1971)
- [11] M. BONTEMPO, M. CATTARUZZA, D. DELL'OLIO, G. MARTELLI, L. PARIS: »Automatic Design of Transmission Lines and Substations« (CIGRE, paper 23–11, 1972 Session, Paris)
- [12] W. CARLSHEM, E. PERSSON: »Data system for iterative routines in overhead line projecting« (CIGRE, paper 22–02, Paris, 1974)
- [13] I. M. SMIRNOV, A. S. ZELIČENKO, A. M. TURKOT, I. Z. ZAJNULIN, L. M. KESELJMAN, S. M. BUBIS, L. A. JANOVSKI: »Sistema avtomatiziranoga projektiranja linij elektropererači«
- [14] R. E. KENNON: »Integrated Line Software on Microcomputers TLWorkstation« (EPRI, Palo Alto, 1986)
- [15] W. D. PATTERSON, J. G. VOIT, F. MURAD, C. ERIKSON, G. W. CROUCH: »The environment; its inclusion in and impact on future trends in energy transport« (CIGRE, paper 22–06, Paris, 1974)
- [16] F. AHLBORG, Y. PALM: »Optimum Tower Spotting on Transmission Lines by Means of Electronic Computer« (Swedish State Power, Blue-White Seris, 1962)
- [17] P. J. HOARE, C. H. MORWOOD: »Overhead Transmission Line Optimized Tower Positioning Using a Digital Computer« (»Journal of the Institution of Engineers«, No 36/64)
- [18] G. W. STAGG, M. WATSON: »Dynamic programming — transmission line design« (IEEE Int. Conv. Rec., Part 3–Power, 1964)
- [19] R. E. CLAYTON, J. M. CAFERELLA, M. A. SAGER: »Transmission Line Design Optimisation TLSPOT Manuals« (EPRI Research Project 2151-1, draft 1986)
- [20] R. E. KENNON: »Integrated Transmission Line Software on Microcomputers TLWorkstation« (Electric Power Research Institute, Palo Alto, 1986)
- [21] G. PANDAPAS: »Optimization of Overhead Wire System by Linear and Non-Linear Programming Techniques« (IEE PES Winter Meeting, 1979)
- [22] »Computer T. line spottings saves 16,000 in long run« (»Electric Light and Power, TID EDITION, SEPTEMBER 1973)
- [23] C. F. BECK, A. BELOFT, G. HOFMANN: »Tower spotting by computer for 500 kV line in the Allegheny Mountains« (»Proceedings of the American Power Conference«, vol. 30, 1968)
- [24] H. SHULMAN: »The pole spotting problem« (SIAM Review, Vol. 4, 1962)
- [25] R. E. POP, C. J. DABEKIS, F. M. FULLERTON: »Electronic computer program permits optimized spotting of electric Transmission Towers« (IEE Trans PAS, No. 6, 1963)
- [26] V. CONVERTI, E. J. HYLAND, D. E. TICKLE: »Optimized Transmission Tower Spotting on digital Computer« (IEEE, PAS, No. 59, 1962)
- [27] R. w. SNEL: »O teoriji optimizaciji visoti opor i dlini proleta vazdušnih linij« (»Električestvo«, No. 8, 1974)
- [28] V. G. KADEIŠVILI, L. S. URUŠADZE: »Optimalnoe razmešćenie opor po trase s pomošću ECVM« (»Električestvo«, No. 5, 1968)
- [29] E. DZIEDZIC: »Computer Method Provides Optimum Transmission Design« (Electric Light and Power, No. 3, 1964)
- [30] G. T. GLASSON: »A dynamic programming method for the optimum positioning and selection of transmission towers« (»Electical Engineering Transactions«, No. 3, 1968)
- [31] J. C. RANYARD, A. WREN: »The optimum arrangement of towers in an electric power transmission line« (»Power transmission«, 1966)
- [32] L. H. BARTELINK: »Spotting of transmission towers by computer« (»Engineering Journal«, No. 7, 1964)
- [33] J. E. CAMPBELL: »Interactive graphics system helps spot towers« (»Transmission and Distribution«, No. 3, 1983)
- [34] C. R. JACKSON, D. L. LAROCHE, T. L. ARTER: »Computer plots transmission line profile« (»Transmission and Distribution«, No. 11, 1984)
- [35] J. F. BATES, B. WHITE: »Micro-computer provides optimized tower spotting« (»Transmission and Distribution«, No. 4, 1985)
- [36] C. A. BROWN: »Power plants-picking the sites« (»Consulting engineer«, 3/1973)
- [37] B. WHITE, J. BATES: »Micro-based program refines transmission design« (»Transmission and Distribution«, April, 1978)
- [38] W. WEISS, L. CONDRAN, F. KIESSLING: »Planning overhead lines« — studying routes, spotting towers and designing structures (»Middle East Electricity«, June/July, 1985)

- [39] »Etudes et cadeuls mecaniques de lingnes electriques aerinnes« (SITRAS brochure, Challaus 1990)
- [40] »ELIANE; logiciel destinge a l'etude des lignes aeriennes« (EDF, CERT brochure, CAMART)
- [41] P. J. RIISIO, V. M. KIVIRANTA: »Computer Aided Design Systems for Line Routes Toner Spotting and Line Structures in Finland« (cigre, paper No. 22 – 104, Paris, 1990)
- [42] I. RANERO; »Automatic Minimum Cost Support Spotting by Computer« (CIGRE, paper No. 22 – 105, Paris, 1990)

BEITRAG ZUR ENTWICKLUNG NEUER VERFAHREN DER OPTIMIERUNG BEIM PROJEKTIEREN DER FERNLEITUNGEN

Der Artikel ist eine Eiführung in eine Serie von Artikeln welche die Konzeption des integralen Informationssystem für das Projektieren und den Ausbau von Fernleitungen geben.

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОТЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Статья является введением в серию статей, представляющих концепцию объединенной информационной системы проектирования и строительства линий электропередачи.

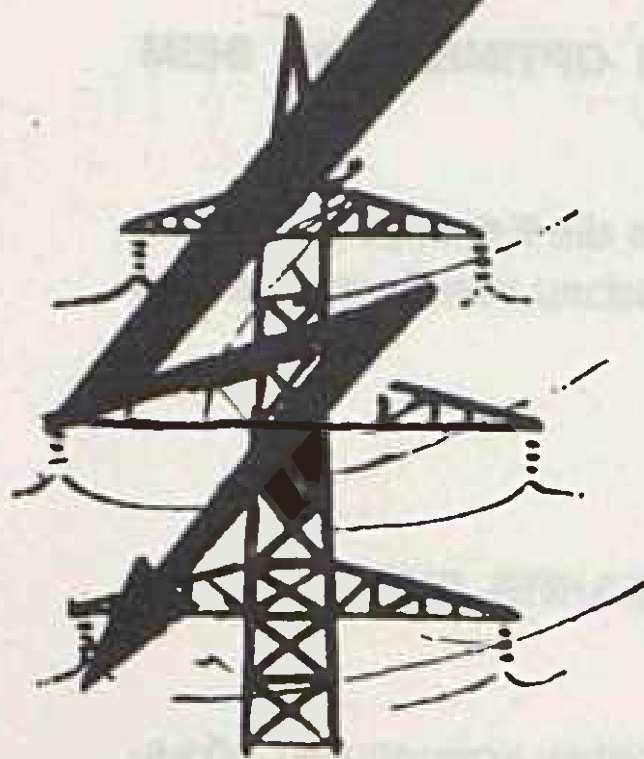
CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF NEW OPTIMIZATION PROCEDURES IN TRANSMISSION LINE DESIGN

This paper is an introduction to a series of papers presenting the concept of an integral information system for transmission line design and construction.

Naslov pisca:

Dr. Dževad Muftić, dipl. inž.
Dalekovod Zagreb,
41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
 1990-11-29



STRUJA

ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P. O.
tel. centrala: 420791, 420786 **ZAGREB**
direktor: 273-909 **GUNDULIĆEVA 16**

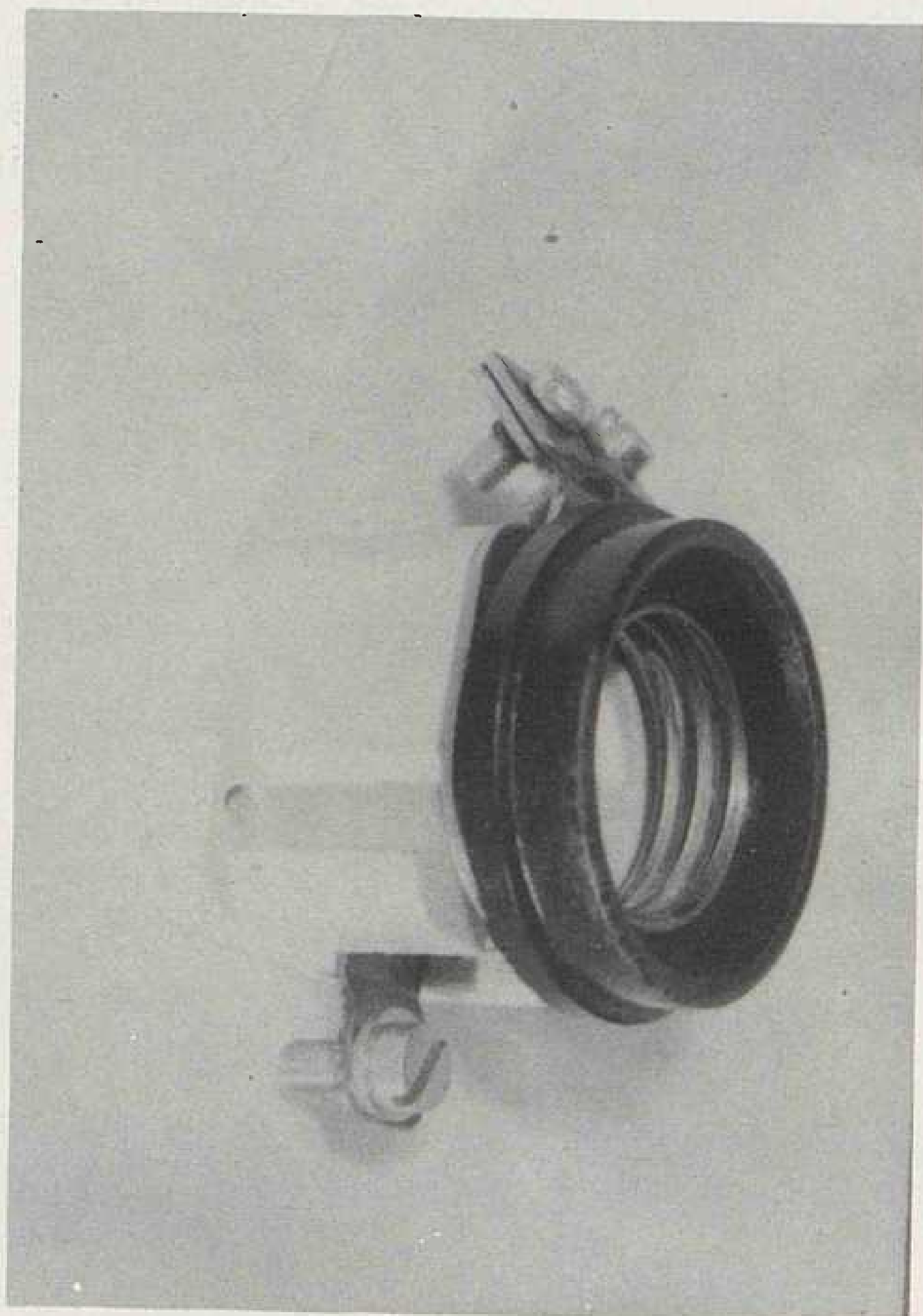
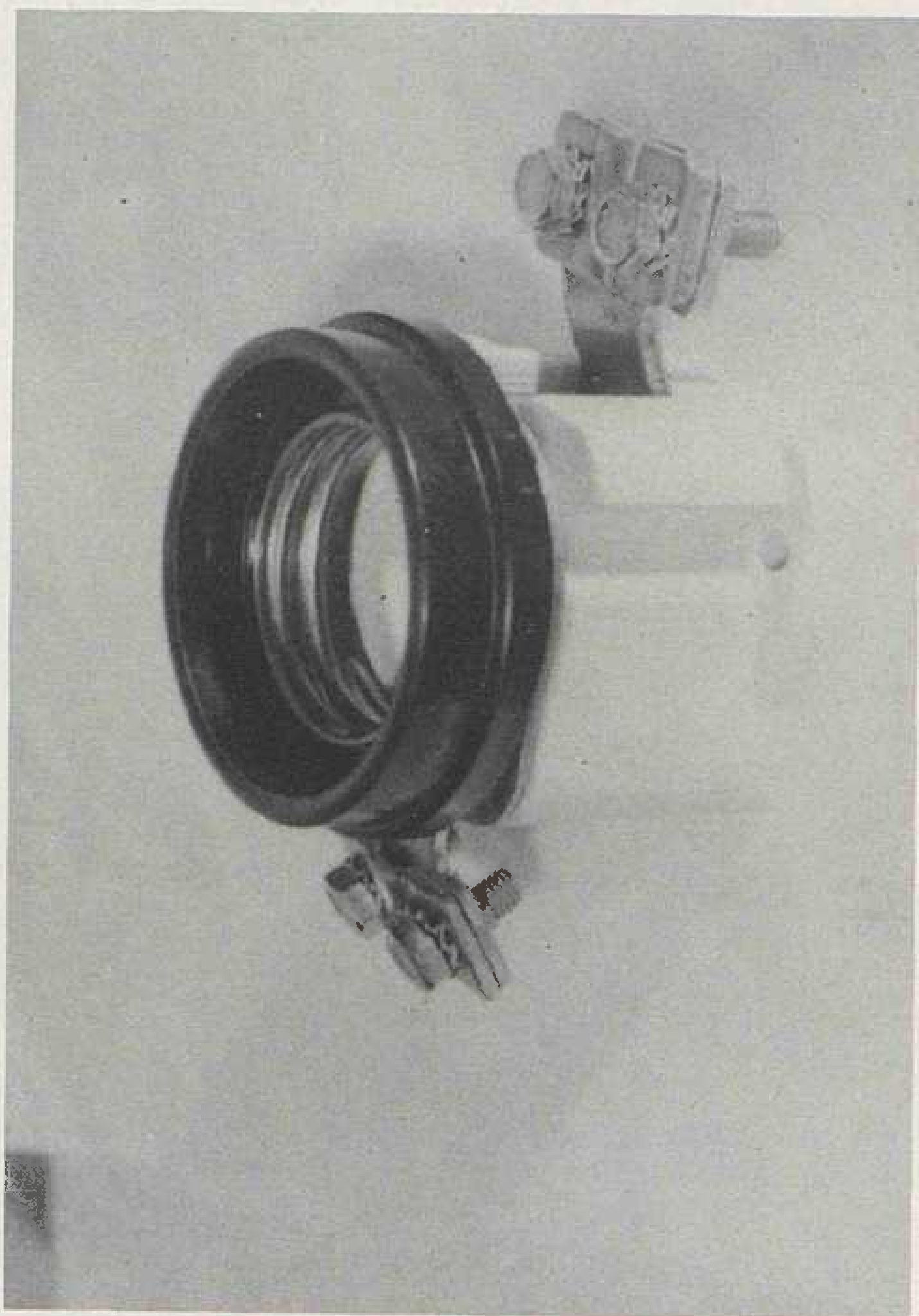
A T E S T

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

KRATKOSPOJNA OPTEREĆENJA KOMPONENTI POSTROJENJA PRI SPOJEVIMA UŽETOM

Gordana Jerković — Velimir Ravlić, Zagreb

UDK 621.3.064:621.315.1
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Izložena je metoda za proračun kratkospojnih sila pri izvedbi spojeva užetom, i to vlačnih za vrijeme i nakon kratkog spoja. Dane su sve potrebne formule.

Ključne riječi: kratki spoj, sile, uže.

1. UVOD

Komponente postrojenja su u svom radu izložene električkim, termičkim i mehaničkim naprezanjima koja mogu imati dugotrajno ili kratkotrajno djelovanje. Zbog toga elementi postrojenja moraju biti tako dimenzionirani da ta naprezanja ne ugroze funkcionalnost i trajnost pogona. U ovom članku razmatrat će se mehanička opterećenja užeta u slučaju kratkog spoja za sabirnice i spojeve u postrojenjima vanjske izvedbe.

Proračun mehaničkih naprezanja u postrojenjima vanjske izvedbe postoje sve zanimljiviji zbog stalnog povećanja struja kvara i potrebe prilagodjenja i kontrole izdržljivosti postojećih postrojenja.

U daljnjem tekstu ukratko će se opisati praksa u drugim zemljama jer se ovoj problematici u inozemstvu pridaje puno veća važnost nego u nas.

2. PRORAČUN KRATKOSPOJNIH SILA PRI SPOJEVIMA UŽETOM

U skladu s rezultatima međunarodne ankete [5], kratkospojno opterećenje proračunavaju svi korisnici (anketa je obuhvaćala korisnike iz 16 zemalja) u slučaju krutih (praktično cijevnih) sabirnica, a samo 65% korisnika proračunom kratkospojnih opterećenja u slučaju fleksibilnih vodiča (užeta).

Kao argumenti za to navode se razlozi kao što su inercija užeta i izolatorskih lanaca, fleksibilnost kompletne strukture, brzina djelovanja relejne zaštite (posebno zbog korištenja sabirničke zaštite), rezerve u faktorima sigurnosti itd.

U tabl. 1, prikazane su granične vrijednosti kratkospojnih struja za različite naponske nivoe.

Treba naglasiti da kratkospojno opterećenje užeta i ostalih komponenata postrojenja nije razmatrano u svim nacionalnim standardima odnosno preporukama. Međutim, zbog stalnog porasta iznosa struja kratkog spoja neki korisnici, iako nemaju takvu ob-

vezu u tehničkoj regulativi svoje zemlje, inzistiraju na provedbi odgovarajućih proračuna, primjenjujući često i vlastite računске metode.

Isto tako, više od polovice ispitanika [5] iz raznih europskih zemalja uzimaju u obzir pri proračunu kratkospojnih opterećenja i fleksibilnost strukture.

U kratkospojni proračun su uključeni i dvofazni i trofazni kratki spojevi.

U daljnjem tekstu opisat će se samo sile kratkog spoja koje se javljaju među faznim vodičima i koje djeluju u smjeru užeta (isto kao i statičke sile i ove sile su dakle vlačnog karaktera) te silama »trganja« vodiča u slučaju kratkog spoja, tj. silama nakon kratkog spoja, kad se uže vraća u prvobitni položaj.

Tablica 1. Rasponi kratkospojnih struja za različite naponske nivoe

Naponski nivo	Maksimalna kratkospojna struja	
	efektivna vrijednost struje kratkog spoja	udarna struja kratkog spoja
123...170 kV	26/62,5 kA.....	80/200 kA
245...300 kV	31,5/80 kA.....	70/175 kA
362...525 kV	25/612,5 kA.....	100/250 kA

Na bazi više radova izdana je IEC preporuka [1] koja definira ovu problematiku. Treba naglasiti da se tekst IEC Publication 865 većim dijelom podudara s preporukom DIN 57103/VDE103/02.82. odnosno DIN 57103/VDE0103/04.88. Većina zemalja je prihvatila ovaj način proračuna, tako da se vrlo malo koriste neke druge metode proračuna. IEC Publication 865 dopušta korištenje za daljnje analize manjih sila ako se to može dokazati ili proračunom ili rezultatima pokusa.

Struju kratkog spoja u užetima uzrokuju vlačne sile koje se prenose na izolatore, odnosno na ostale aparate i čeličnu (ili armiranobetonsku) konstrukciju. Treba razlikovati vlačne sile F_t za vrijeme kratkog spoja od vlačnih sila F_f nakon kratkog spoja, kad se vodič vraća u prvobitni položaj. Za dinamičko napre-

zanje pripadajuće noseće konstrukcije mjerodavna je veća od sila F_t ili F_f . Za proračun naprezanja izolatora treba izvršiti i redukciju sile kratkog spoja, jer ona djeluje u simetrali vodiča, na visinu glave izolatora. Naime, prijelomna sila definirana je kao sila na glavi izolatora.

U skladu s IEC Publication 273 reduciranje se provodi pomoću izraza:

$$P_x = P_o \cdot \frac{h}{h+x} \quad (\text{N}), \quad (1)$$

pri čemu je:

P_x = reducirana prijelomna sila (N)

P_o = minimalna prijelomna sila (N)

h = visina izolatora (mm)

x = razmak simetralne vodiča (uzimajući u obzir i dimenziju stezaljke) i vrha glave izolatora (mm).

2.1. Vlačna sila za vrijeme kratkog spoja

Sila F_4 računa se pomoću izraza (kad nema snopa užeta):

$$F_{ti} = F_{st} \cdot (1 + \varphi \cdot \psi) \quad (\text{N}), \quad (2)$$

pri čemu je F_{st} statička sila (vlačna) u užetu pri minimalnoj temperaturi (-20°C je najčešći zahtjev u evropskim zemljama).

Parametar φ iznosi:

$$\varphi = 3 \cdot \left[\sqrt{1 + \left(\frac{F'_o}{g_n \cdot m'} \right)^2} - 1 \right]. \quad (3)$$

U izrazu (3) oznake imaju ova značenja:

m' = jedinična masa užeta (kg/m)

g_n = gravitacijska konstanta (standardno ubrzanje slobodnog pada)

$g_n = 9,81 \text{ m/s}^2$

F'_o = dinamičko opterećenje užeta po jedinici dužine zbog kratkog spoja (N/m).

Dinamička sila kratkog spoja F'_o može se izračunati ili pomoću početne izmjenične vrijednosti struje trofaznog kratkog spoja $I_{k3''}$ ili pomoću početne izmjenične vrijednosti struje dvofaznog kratkog spoja $I_{k2''}$

(tj. radi se o efektivnim vrijednostima struja kratkog spoja u trenutku nastanka kratkog spoja):

$$F'_o = 0,15 \cdot \frac{I_{k3''}^2}{a} \quad (\text{N/m}) \quad (4)$$

ili

$$F'_o = 0,2 \cdot \frac{I_{k2''}^2}{a} \quad (\text{N/m}). \quad (5)$$

Pritom je a fazni razmak vodiča u metrima, a $I_{k2''}$ i $I_{k3''}$ su k A.

Reakcioni faktor raspona τ jest funkcija parametra φ i karakteristike raspona ξ :

$$\xi = \frac{(m' \cdot l)^2}{F_{st}^3} \cdot \frac{400}{\frac{1}{10 \cdot S \cdot l} + \frac{100}{E \cdot A}} \quad (6)$$

Oznake u izrazu (6) imaju ova značenja:

l = razmak između uporišnih točaka m

S = rezultirajući opružni (perni) koeficijent N/mm

E = Youngov modul elastičnosti N/mm²

A = presjek užeta (stvarni, ne nazivni) mm².

Iz dijagrama na sl. 1 može se uz izračunate parametre φ i ξ očitati vrijednost reakcionog faktora raspona τ .

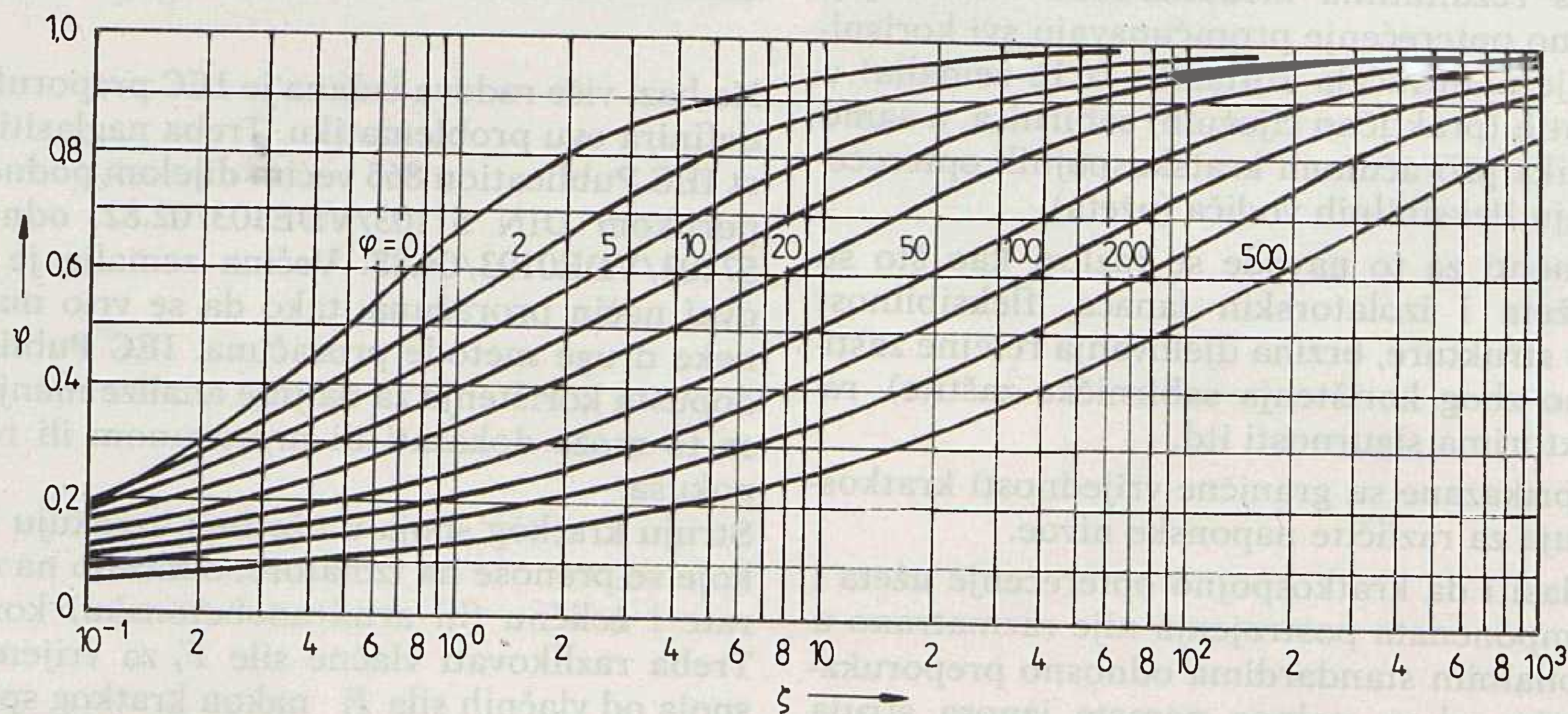
Dijagram na sl. 1, nacrtan je kao rješenje jednadžbe:

$$\xi = \frac{(1 + \varphi \cdot \tau)^2}{2 + \varphi + \tau/\varphi} \cdot \frac{\tau}{1 - \tau} \quad (7)$$

U praksi se može dogoditi da nije moguće očitati vrijednosti za τ iz dijagrama na sl. 1, pa je tada potrebno riješiti kubnu jednadžbu, tj. izraz (7).

Postoje tri različita načina rješavanja kubne jednadžbe, a koji će se primijeniti na konkretnu jednadžbu ovisi o broju realnih rješenja i obliku jednadžbe. To su:

1. rastavljanje lijevog dijela jednadžbe (opći oblik $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$) na proste faktore,
2. svodenje općeg oblika kubne jednadžbe na oblik $y^3 + my + n = 0$ i primjena Cardanove formule,



Slika 1. Vrijednosti reakcionog faktora τ raspona u ovisnosti o karakteristici raspona ξ i parametru φ

3. rješavanje kubne jednadžbe pomoćnim veličinama, računanim pomoću tablica.

S obzirom na problematiku (traži se realno rješenje $0 \leq \tau \leq 1$) napravljen je program koji koristi drugi (postoji jedno jedino realno rješenje, uz provjeru da se nalazi u zadanom području $[0,1]$) i treći način (postoje tri moguća realna rješenja; uzima se ono koje leži u području $[0,1]$) rješavanja kubne jednadžbe.

Dakle, korištenjem elektroničkog računala moguće je bitno skratiti vrijeme proračuna i dobiti vrijednosti reakcionog faktora raspona τ i kad nije moguće koristiti dijagram sa sl. 1.

Izračunavanje vrijednosti rezultirajućeg parnog koeficijenta dosta je složen problem, pa se može uzeti da približno iznosi za izolatore, stezaljke, portale itd., a za tipične konfiguracije u sklopnim postrojenjima visokog napona, $S = 100 \text{ N/mm}$.

Za točnije proračune (npr. ocjene opterećenja postojećih portala u slučaju povećanih kratkospojnih struja) potrebno se koristiti elektroničkim računalom.

U slučaju užeta u snopu, je razmak vodiča u snopu i razmještaj odstoynika takav da se osigurava djelotvoran dodir vodiča pri kratkom spoju, vrijedi izraz za proračun rezultirajuće kratkospojne vlačne sile:

$$F_{t2} = 1,1 \cdot F_{st} (1 + \varphi/\tau) \quad (\text{N}). \quad (8)$$

Uvjet da se vodiči snopa stvarno dodiruju u slučaju kratkog spoja zadovoljen je ako je razmak između simetrala vodiča jednak ili manji od x puta promjer vodiča i ako je udaljenost između dva susjedna odstoynika najmanje y puta razmak simetrala vodiča. Uz statičku vlačnu silu jednaku ili manju od 2 N/mm^2 vrijedi:

$$\begin{aligned} x &= 2,5 \text{ za } y = 70 \\ x &= 2,0 \text{ za } y = 50 \end{aligned}$$

2.2. Vlačna sila nakon kratkog spoja

Kad kratki spoj prestane, vodič se njiše i vraća u prvobitan položaj. Maksimalna veličina ove sile trzanja na kraju njihanja računa se samo u slučaju kad je:

$$\frac{F'_o}{g_n \cdot m'} > 0,6. \quad (9)$$

U tom slučaju vrijedi:

$$F_f = F_{st60} \cdot \sqrt{1 + \frac{4 \cdot F'_o}{g_n \cdot m'} \cdot \xi}$$

ako je

$$\frac{F'_o}{g_n \cdot m'} > 2, \quad (10)$$

$$F_t = F_{st60} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \xi}$$

ako je

$$\frac{F'_o}{g_n \cdot m'} \geq 2. \quad (11)$$

U izrazima (10) i (11) F_{st60} je iznos statičke sile zatezanja vodiča (vlačne sile) pri temperaturi vodiča od 60°C .

Isto tako u ovom slučaju treba u proračunu karakteristike raspona ξ uvrstiti F_{st60} umjesto F_{st} .

3. ZAKLJUČAK

Dinamičko naprezanje uporišnih točaka pri kratkom spoju uzrokuju obje sile F_f i F_t . Mjerodavna je za dimenzioniranje sila većeg iznosa (ili F_f ili F_t).

Što se tiče dimenzioniranja spojeva, priključnica i točaka učvršćenja, a u slučaju jednog užeta ili snopa užeta čiji se pojedini vodiči stvarno dodiruju u slučaju kratkog spoja, za dimenzioniranje je prema VDE preporuka [4] mjerodavna veća od sljedećih sila:

1. udarna vlačna sila jednaka 1,5 puta kratkospojna vlačna sila F_t ,
2. vlačna sila nakon kratkog spoja F_f

U vezi s problemom rezonancije i mogućeg porasta iznosa sila rezonancije, budući da su rezonantne frekvencije užeta niske, treba reći da povećanje sila zbog rezonancije nije do sada uočeno niti se očekuje, [1].

Porastom struja kratkih spojeva opterećenja u kratkom spoju postaju dominantna (u odnosu prema statičkim vlačnim silama, silama vjetra, leda itd.).

U tom slučaju često je potrebno mijenjati međufazni razmak kako bi noseća konstrukcija i spojni i ovjesni pribor standardne izvedbe zadovoljio u slučaju kratkospojnih naprezanja.

Zbog mnoštva okolnosti koje se ne mogu unaprijed točno odrediti većina korisnika uključuje faktor sigurnosti pri definiranju kriterija za dimenzioniranje komponenata postrojenja visokog napona vanjske izvedbe.

Vrijednosti faktora sigurnosti kreću se do 2,5 (najčešće iznose 1,0) u slučaju kratkospojnih opterećenja.

Budući da u slučaju užeta postoji istovremeno djelovanje više sila, to je određivanje kombinacija opterećenja vrlo kompleksan problem s mnogo alternativa, jer postrojenja nije moguće uspoređivati s dalekovodima gdje su opterećenja zbog vjetra i leda dominantna u odnosu prema opterećenjima u slučaju kratkog spoja.

Promjena kriterija dimenzioniranja (npr. temperatura vodiča prije nastanka kvara) može značajno utjecati na cijenu postrojenja (npr. smanjenje težine portala, temelja portala, itd.) pa je ovaj problem potrebno detaljno razmotriti prije donošenja konačne odluke.

Isto tako se ponekad zahtijeva uključenje teorije vjerojatnosti, što često ima smisla jer je npr. i vjerojatnost kratkog spoja na niskim temperaturama male (nisu uočene pojave gromova na niskim temperaturama, pojava vjetra velikih brzina je isto tako manje vjerojatna na niskim temperaturama itd.).

Posebno je važno što točnije izračunati sile zbog kratkog spoja u starim postrojenjima gdje obično pri projektiranju nije ni uziman u obzir proračun opterećenja uslijed kratkog spoja, posebno ne na adekvatan način, a s vremenom je nastupio značajniji porast struja kratkog spoja, pa je potrebno obaviti ana-

lizu stanja opreme. Posebnu pozornost potrebno je obratiti analizi stanja noseće konstrukcije i temelja, a ne samo analizi stanja aparata i odgovarajućih spojeva.

S obzirom na značenje problematike, bilo bi potrebno što hitnije donijeti odgovarajuću tehničku regulativu i u našoj zemlji jer zasad takva regulativa ne postoji.

LITERATURA

- [1] IEC Publication 865 — Calculation of the effects of short-circuit currents. 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] DIN 570103/VIDEO 103/02. 82. — Bemessung von Starkstromanlagen auf mechanische und thermische Kurzschlußfestigkeit. 1982.
- [4] DIN VDE 0103/04. 88. — Bemessung von Starkstromanlagen auf mechanische und thermische Kurzschlußfestigkeit. 1988.
- [5] A. ARHOMAA, »Mechanical design criteria of outdoor substations«, CIGRE — Symposium, Working Group 23. 04 of SC 23 (Substations) Bruxelles. 1985.
- [6] I. N. BRONŠTEJN, K. A. SEMENDJAJEV, »Matematički priručnik za inženjere i studente«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1975.

SHORT-CIRCUIT LOADS OF SUBSTATION COMPONENTS USING WIRE CONNECTIONS

A method of short-circuit tensile force calculation using wire connections is presented for during and after the short-circuit event. All the necessary formulas are also presented.

KURZSCHLUSSBELASTUNGEN DER ANLAGENKOMPONENTEN BEI VERBINDUNGEN MIT EINEM SEIL

Man erläutert die Methode zur Berechnung der Kurzschlußkräfte bei der Ausführung der Verbindungen mit einem Seil und zwar während und nach dem Kurzschluss. Es wurden alle notwendigen Formeln gegeben.

КОРТОКОЗАМКНУТЫЕ НАГРУСКИ СОСТАВЛЯЮЩИХ УСТАНОВОК ПРИ СОЕДИНЕНИЯХ ТРОСОМ

Представлен метод расчета короткозамкнутых сил при выполнении соединений тросом, тянутым во время и после короткого замыкания. Даны все необходимые формулы.

Naslov pisaca:

Gordana Jerković, dipl. inž.
Velimir Ravlić, dipl. inž.
»Rade Končar« Inženjering,
41000 Zagreb, Fallerovo šet. 22,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
 1990-11-20

POKAZATELJI POUZDANOSTI VIŠESTRUKIH NADZEMNIH VODOVA

Mr. Srete Nikolovski, Borovo

UDK 621.315.3:681.31

STRUČNI RAD

Prikazani su matematički modeli otkaza višestrukih vodova zbog nezavisnih događaja i zajedničkog uzroka. Dane su relacije za frekvenciju kvarova i neraspoloživost višestrukih vodova za različite modele.

Ključne riječi: pouzdanost, neovisni kvarovi, ovisni kvarovi.

UVOD

Elektroenergetski sistem sastoji se od mnogih elemenata, međusobno povezanih prijenosnim vodovima. Generatori, transformatori, prekidači i prijenosni vodovi osnovni su elementi elektroenergetskog sistema, a s aspekta pouzdanosti to su obnovljivi elementi.

Većina kvarova ovih elemenata može se klasificirati u četiri osnovne grupe:

1. nezavisni kvarovi,
2. zavisni kvarovi,
3. istovremeni kvarovi prouzrokovani jednim događajem,
4. višestruki kvarovi u postrojenjima.

Kod nezavisnih kvarova dvaju ili više elemenata kvar svakog elementa predstavlja nezavisan događaj, pa se vjerojatnost kvara obaju elemenata izračunava kao proizvod vjerojatnosti kvara svakog od elemenata.

Zavisni kvarovi jesu oni kvarovi koji se javljaju zbog otkaza jednog ili više elemenata u sistemu. Tada nastaje preopterećenje pojedinih elemenata ili promjena uvjeta rada elemenata, što povećava intenzitet otkaza i dovodi do kvara elemenata,

Istovremeni kvarovi, koje uzrokuje jedan događaj, kao posljedicu imaju ispad dvaju ili više elemenata. Primjer takvih kvarova jesu kvarovi dvaju prijenosnih vodova na istoj trasi ili istom stupu (dvostruki vod) zbog klizanja terena, udara vozila, rušenje stupa, kombinacije leda i vjetera i dr.

Višestruki kvarovi u postrojenjima također uzrokuju ispad dvaju ili više elemenata u sistemu, a nastaju zbog aktivnih kvarova prekidača, kvarova sabirnica, otkaza u djelovanju prekidača ili njihovom koincidencijom. Modeliranje takvih kvarova dano je u literaturi [4].

1. MARKOVLJEV MODEL PROSTORA STANJA

Za analizu pouzdanosti postoji više modela, a u ovom radu koristit će se Markovljev model prostora

stanja koji opisuje sistem koji ima više diskrenih stanja s mogućim prelascima među tim stanjima. Ako se stanje elementa promijeni, sistem ulazi u drugo stanje. Sva moguća stanja sistema i prelasci među njima mogu se prikazati dijagramom prostora stanja.

Pretpostavka je da vremena boravka elemenata u pojedinim stanjima podliježu eksponencijalnoj raspodjeli. Tada su intenziteti prelaska iz stanja u stanje konstantni.

Promatra se stacionarno stanje kada su se vjerojatnosti boravka u stanjima s vremenom ustalile. Koristi se stacionarni model Markova, za koji vrijedi algebarski sistem jednadžbi (1).

Vjerojatnosti u pojedinim stanjima dobivaju se rješavanjem sistema algebarskih jednadžbi, prikazanih u matricnoj formi kao

$$[A] + [P] = [O]. \quad (1)$$

Uvjet normiranja je da je suma vjerojatnosti boravka u svim stanjima jednaka jedinici:

$$\sum_{k=1}^n P = 1, \quad (2)$$

gdje je

$[P]$ = $[P \dots P]^T$ vektor kolona vjerojatnosti boravka u stanjima $(1 \dots n)$.

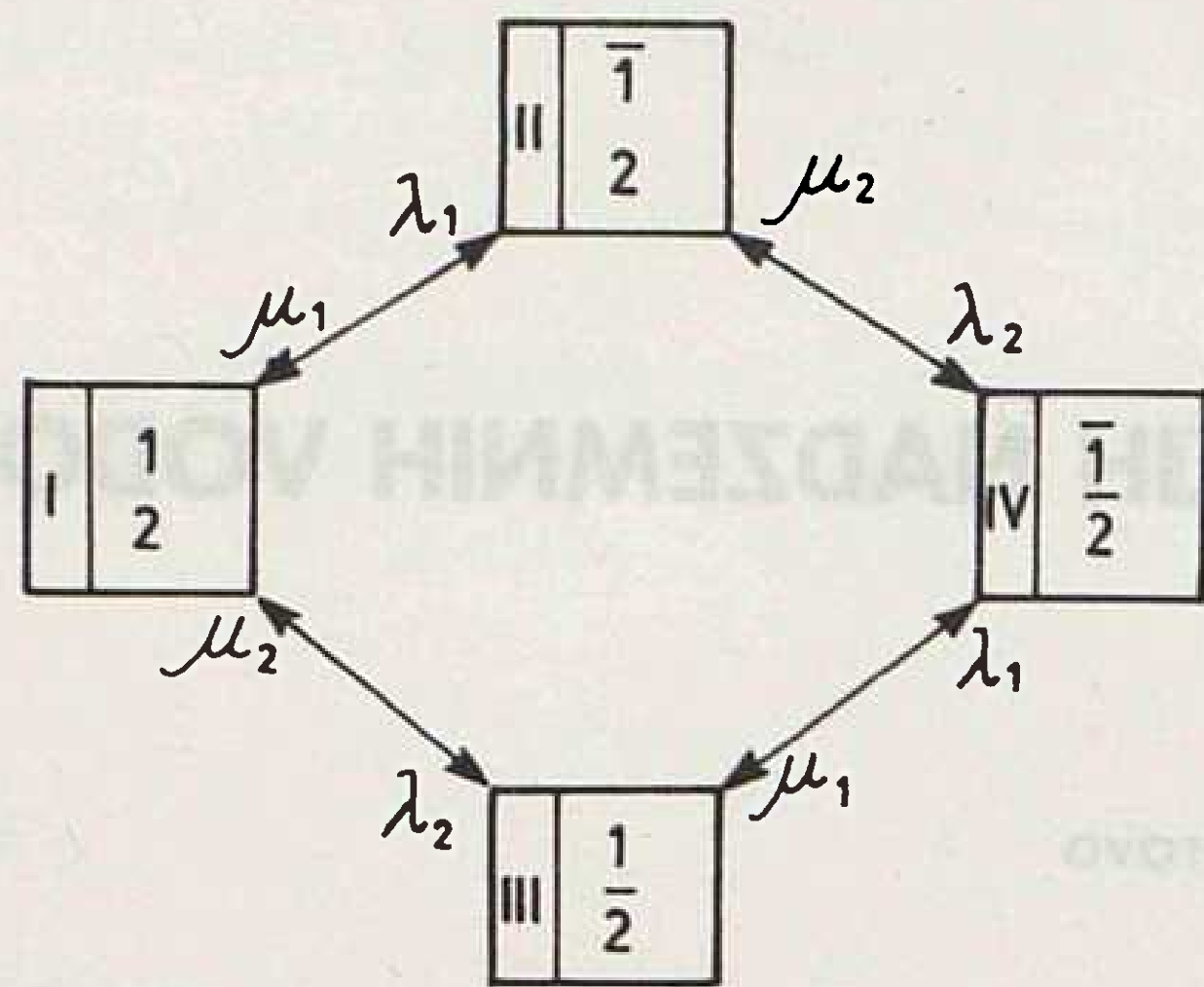
$[A]$ = $[a_{ij}]$ n, n – matrica intenziteta prelaska sistema iz stanja u stanje

$[O]$ – vektor kolona nula

a_{ij} = λ_{ij} – intenzitet prelaska iz stanja »i« u stanje »j«, $\lambda_{ij} = \text{const.}$

Markovljev model za prostor stanja, s dva nezavisna elementa, s dva moguća stanja ima dijagram stanja dan na slici 1, gdje je:

- 1 — prvi element u ispravnom stanju
- I — prvi element u stanju kvara
- 2 — drugi element u ispravnom stanju
- II — drugi element u stanju kvara
- I — stanje s oba elementa ispravna
- II, III — stanje kada je jedan element ispravan a drugi u kvaru
- IV — stanje s oba elementa u kvaru.



Slika 1. Model kvara voda bez zajedničkog uzroka

Pri paralelnoj vezi redundantnih elemenata (svaki element može podnijeti opterećenje obaju), vjerojatnoća neispravnog rada (neraspoloživost) je

$$N = N_1 \cdot N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \quad (3)$$

gdje je:

λ_i — intenzitet prelaska elementa u stanje kvara

μ_i — intenzitet obnavljanja elementa

r_i — vrijeme obnavljanja (oprawke) $r_i = \frac{1}{\mu_i}$

Koristeći se pretpostavkom da je $\lambda \ll \mu_i$, dobiva se približan izraz za neraspoloživost dva redundantna elementa, dovoljno točan u praksi:

$$N = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot r_1 \cdot r_2 \quad (4)$$

Učestalost kvarova

$$f = f_1 \cdot N_2 + f_2 \cdot N_1 \quad (5)$$

Koristeći se pretpostavkom da je $\lambda_i \ll \mu_i$ i $f_i = \lambda_i R_i$, $N_i = f_i r_i \approx \lambda_i r_i$, dobivamo približni izraz za učestalost kvarova:

$$f = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (r_1 + r_2) \quad (6)$$

Relacije (4) i (6) jesu osnovne relacije za neraspoloživost i učestalost kvarova dvaju nezavisnih elemenata čiji su kvarovi prouzrokovani nezavisnim događajima.

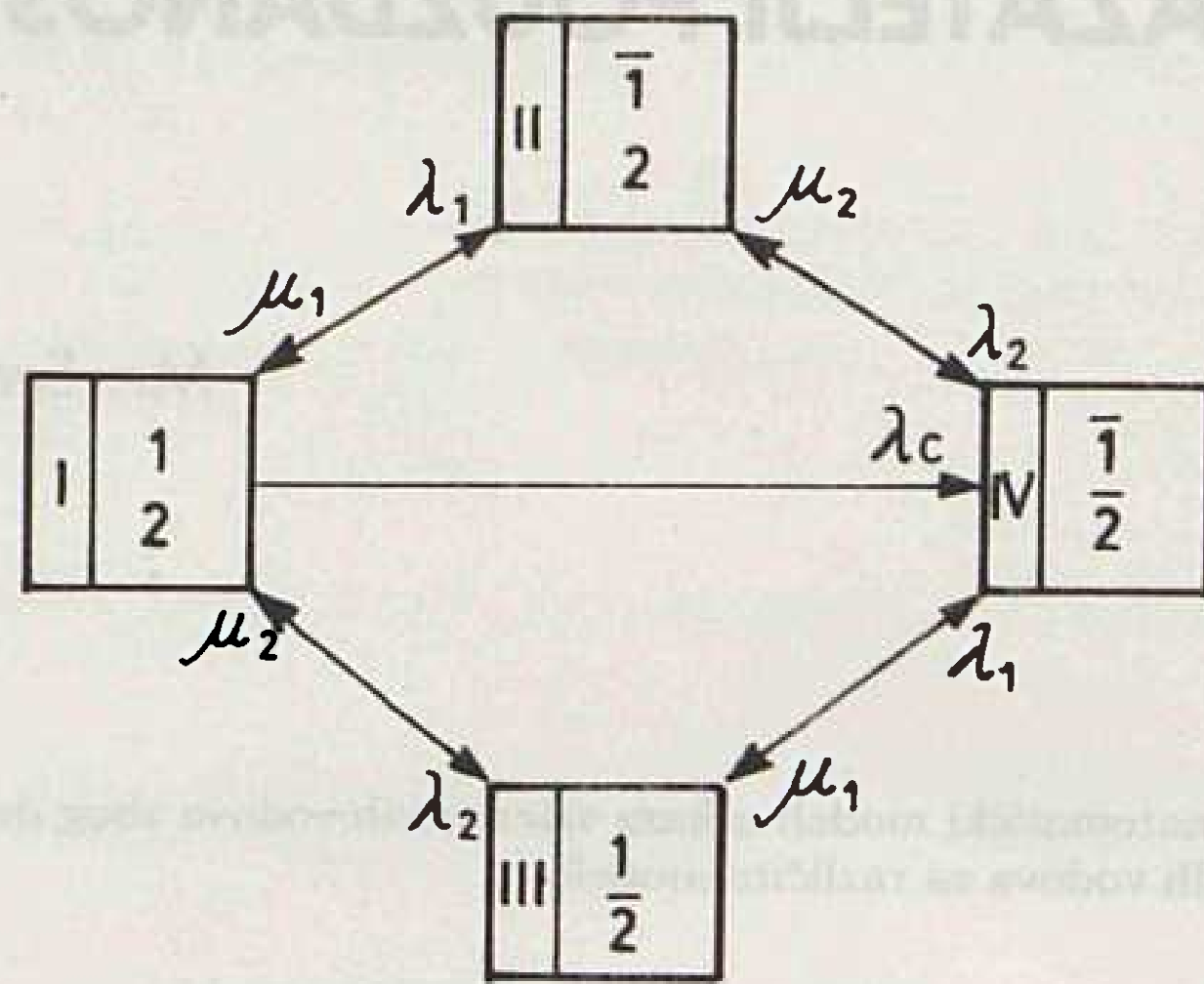
2. MODEL KVARA ZBOG ZAJEDNIČKOG UZROKA

Po Markovljevom modelu prostora stanja, u vremenskom intervalu dt , ne mogu se dogoditi dva događaja (svojstvo ordinarnosti), ali se može desiti događaj koji za posljedicu ima narušavanje funkcije dvaju ili više elemenata. To može biti mehaničko oštećenje dvaju ili više kabela u istom rovu, jak vjetar, klizište, udar vozila, koji ruše stup s dvostrukim vodom ili dva nadzemna voda na istoj trasi.

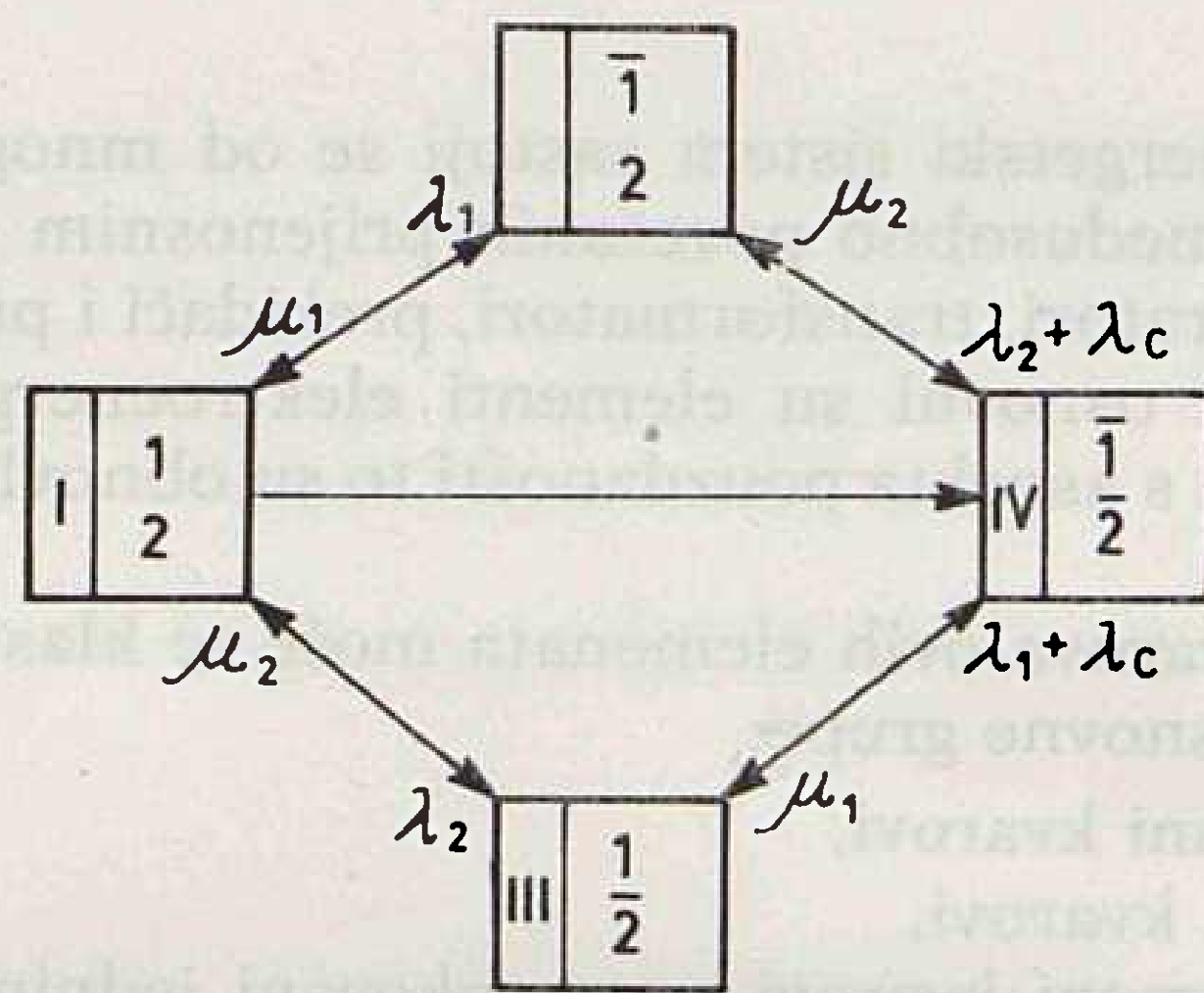
Na slici 2a dan je dijagram prostora stanja za IEEE-model iz literatura [1] i [2], a na slici 2b nešto modificiran IEEE-model iz literature [3].

Prelazak u stanje kvara obaju elementa moguć je zbog nezavisnih kvarova jednog (λ_1) pa drugog ele-

menta (λ_2), i obaju istovremeno zbog istovremenog kvara (λ_c). Obavljanje elementa obavlja se na isti način za nezavisne kvarove kao i za istovremene. Na slici 2b prikazan je realniji model, jer se u stanje IV može doći iz sva tri stanja.



Slika 2a. IEEE model za dvostruki vod



Slika 2b. Modificirani IEEE model za dvostruki vod

Izrazi za neraspoloživost i učestalost kvarova dobivaju se na osnovi dijagrama stanja, koristeći se stacionarnim modelom Markova. Za dva redundantna elementa neraspoloživost je

$$N = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot r_1 \cdot r_2 + \lambda_c \cdot \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (7)$$

Učestalost kvarova je

$$f = \lambda_c + \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) \quad (8)$$

U IEEE modelu vidimo da je utjecaj istovremenih kvarova na neraspoloživost dvaju redundantna elementa u povećanju vjerojatnosti neispravnog rada za izraz

$$\lambda_c r_{12} = \lambda_c \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (9)$$

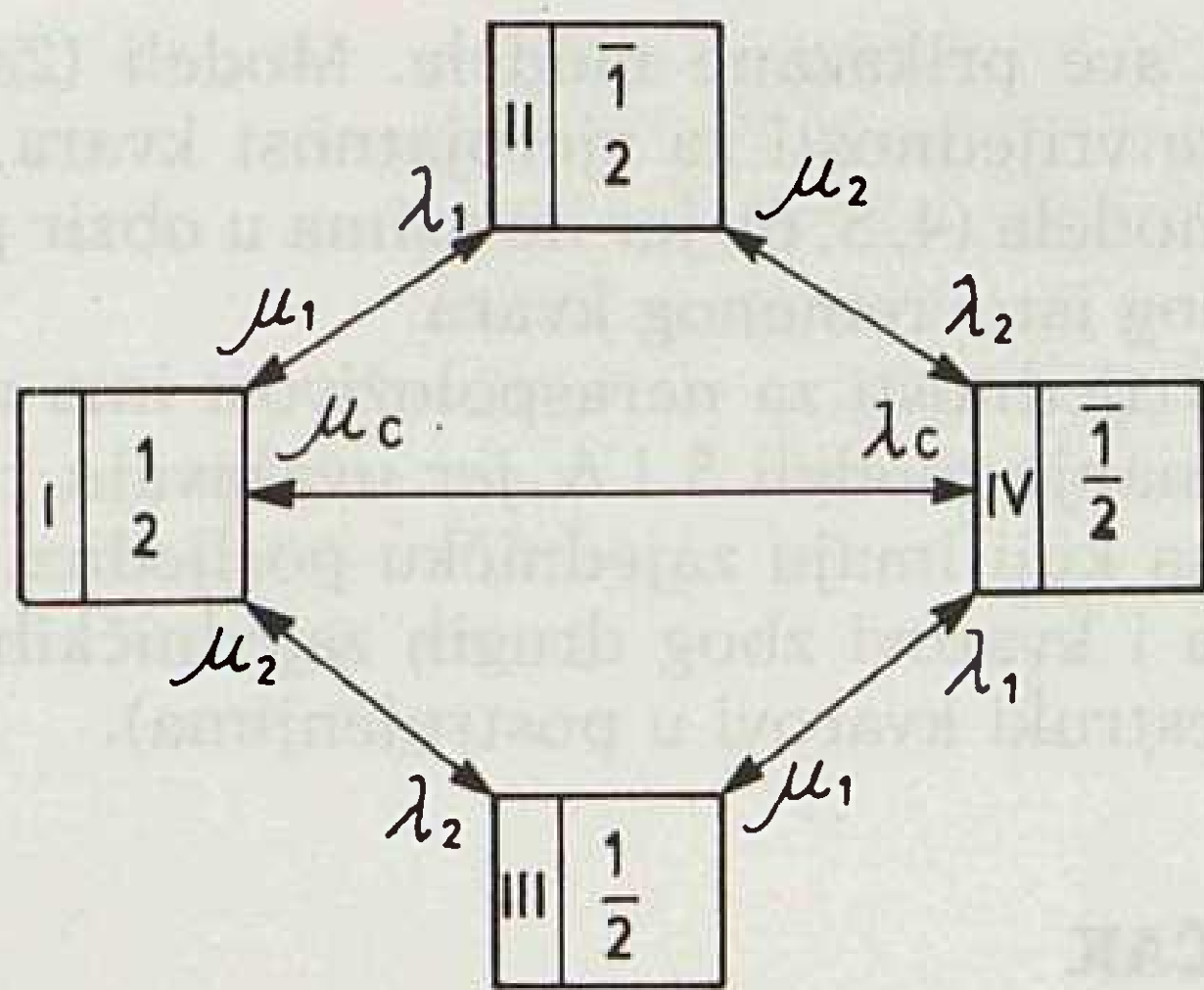
i povećanje učestalosti kvara za λ_c .

Na slici (3) dan je modificirani IEEE-model iz literature [2].

Kod ovog modela, kada se sistem nalazi u stanju da su oba elementa u kvaru, obnavljanje se obavlja za svaki element, nezavisno jedno od drugoga, a moguć je i remont obaju elemenata istovremeno za istovremeni kvar.

Relacija za učestalost kvarova jednaka je izrazu (8)

$$f = \lambda_c + \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (r_1 + r_2) \quad (10)$$



Slika 3. Model dvostrukog voda sa zajedničkim popravkom obaju vodova

Izraz za nerasploživost dobije se kao proizvod učestalosti kvara i trajanja kvara:

$$N = f \cdot r = [\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (r_1 + r_2) \cdot \lambda_c] \cdot r, \quad (11)$$

gdje je

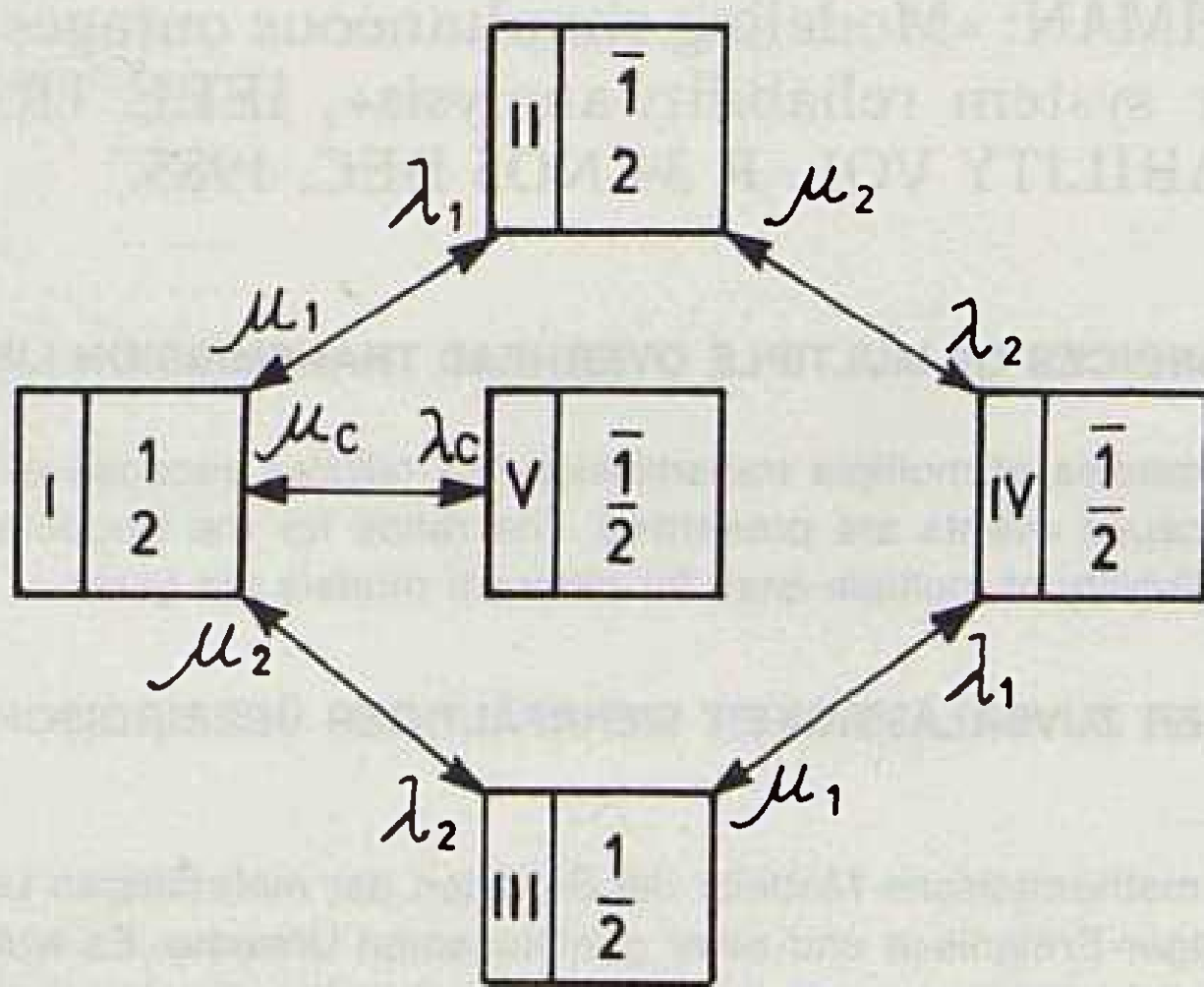
r – ekvivalentno trajanje obnavljanja (kvara):

$$r = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_c} = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot r_c}{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot r_c + r_2 \cdot r_c}. \quad (12)$$

S modificiranog IEEE-modela može se dobiti model 2 ako se uzme da je $\mu_c = 0$, tj. da nema obnavljanja obaju elemenata istovremeno.

Ako se proces nastajanja istovremenog kvara i njegovog obnavljanja promatra posebno, onda imamo dva stanja nerasploživosti. Jedno je zbog istovremenog kvara (stanje V), a drugo zbog nezavisnih kvarova svakog elementa posebno (stanje IV).

Takav model dan je na slici 4.



Slika 4. Model dvostrukog voda s posebnim stanjem kvara zbog zajedničkog uzroka

Nerasploživost zbog kvarova dobije se kao suma vjerojatnosti stanja IV i V:

$$N = P_{IV} + P_V = N_1 \cdot N_2 + \frac{\lambda_c}{\lambda_c + \mu_c} \quad (13)$$

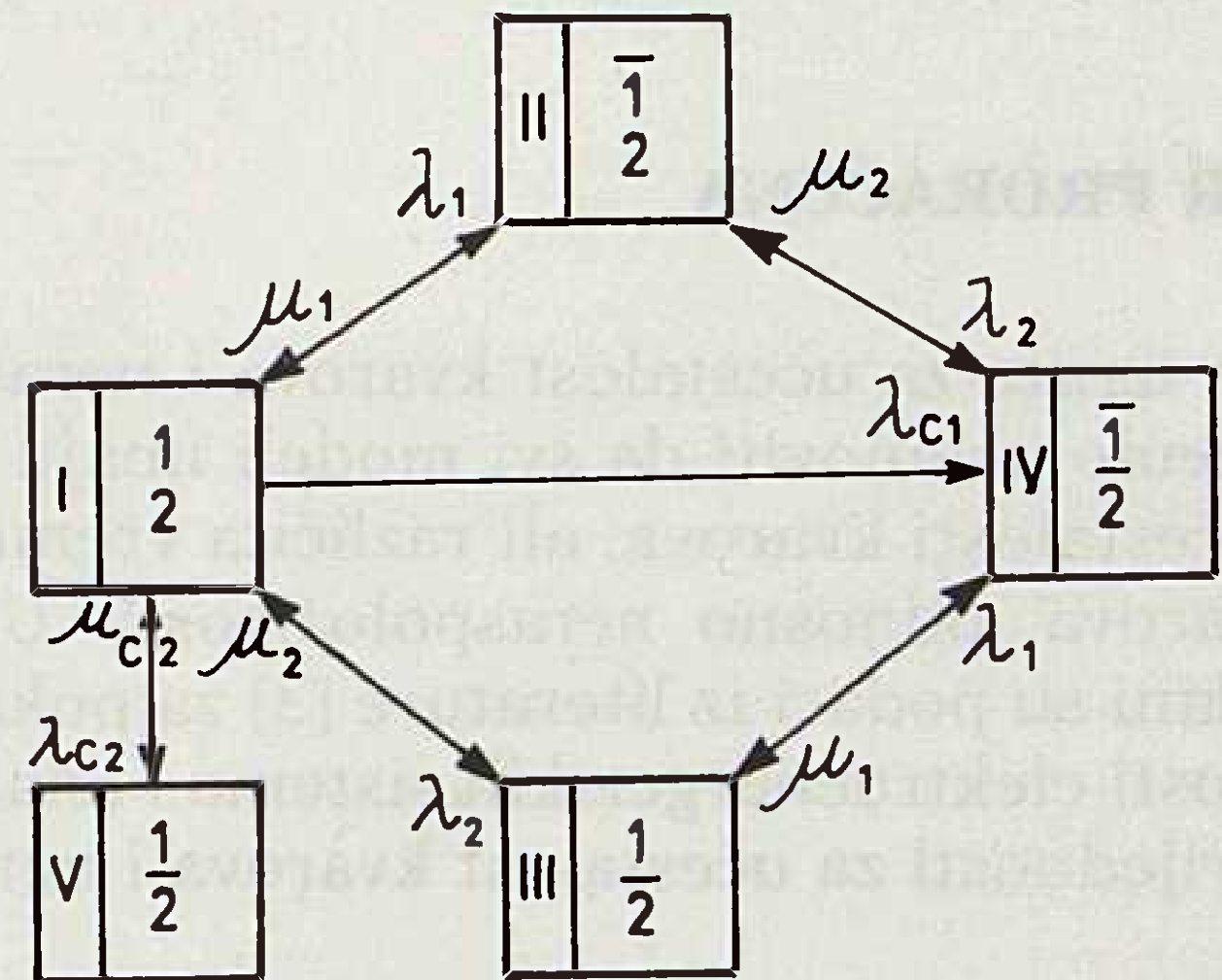
$$N = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot r_1 \cdot r_2 + \frac{\lambda_c}{\lambda_c + \mu_c}. \quad (14)$$

Učestalost kvarova jednaka je

$$f = \lambda_c + \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (r_1 + r_2). \quad (15)$$

Istovremene kvarove možemo podijeliti u dvije kategorije, i to tako da je rušenje stupa kod dvostrukog voda, koji je čest događaj, posebna kategorija kvarova intenziteta kvarova λ_{c2} i intenziteta obnavljanja μ_{c2} , a ostali istovremeni kvarovi su intenziteta λ_{c1} , a obnavljanja elementa obavlja nezavisno jedan od drugoga s intenzitetima μ_1 i μ_2 .

Za takav pristup vrijedi model sa slike (5).



Slika 5. Model dvostrukog voda s dvije kategorije zajedničkih kvarova

Za nerasploživost zbog kvarova, za model sa slike (5), vrijedi relacija

$$N = P_{IV} + P_V = \lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2 + \frac{\lambda_{c1}}{\mu_1 + \mu_2} + \frac{\lambda_{c2}}{\lambda_{c2} + \mu_{c2}}. \quad (16)$$

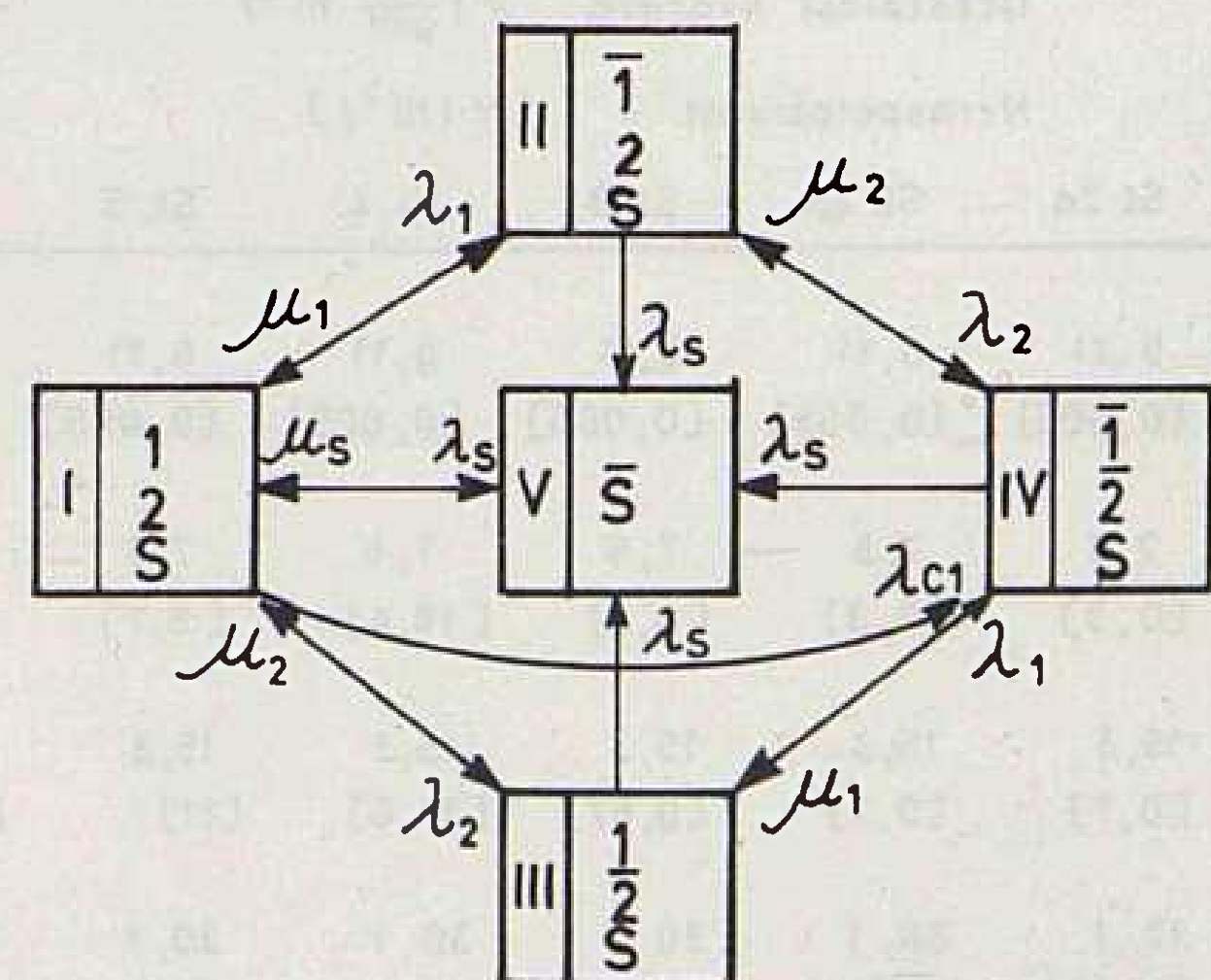
Učestalost kvarova je

$$f = \lambda_{c1} + \lambda_{c2} + \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (r_1 + r_2). \quad (17)$$

U literaturi [3] dana je korekcija modela s dvije kategorije kvarova, gdje se još bolje uočava stanje rušenja stupa prouzrokovano jednim događajem intenziteta (λ_s) i ostali istovremeni, uzrokovani višestukim kvarovima u postrojenjima intenziteta (λ_{c1}).

Kod tog modela se u stanje V (srušen stup) ulazi iz svih ostalih stanja, što je u praksi realniji slučaj. Isto tako se u stanje IV ulazi i iz stanja s jednim elementom u kvaru.

Na slici (6) prikazan je model kada nema ograničenja u popravku vodova zbog kvara.



Slika 6. Model dvostrukog voda bez ograničenja u popravku

Nerasploživost zbog kvarova je

$$N = \frac{\lambda_s}{\lambda_s + \mu_s} + \frac{\lambda_{c1}}{\mu_1 + \mu_2} + \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\mu_1 \cdot \mu_2}. \quad (18)$$

Učestalost kvarova je

$$f = \lambda_{c1} + \lambda_s + \lambda_1 \cdot \lambda_2 (r_1 + r_2). \quad (19)$$

Izrazi su identični relacijama (16) i (17) i dobiveni su uz pretpostavku da su intenziteti kvara stupa i intenzitet istovremenih kvarova mnogo manji od pojedinačnih intenziteta kvarova svakog elementa i da je intenzitet kvara mnogo manji od intenziteta obnavljanja, što je u praksi slučaj.

PRIMJER PRORAČUNA

Analizom izraza za učestalost kvarova i neraspoloživost možemo ustanoviti da svi modeli imaju približno iste učestalosti kvarova, ali različita vremena trajanja kvarova, odnosno neraspoloživosti. U tablici (1) i (2) dani su podaci iz literature [3] za pokazatelje pouzdanosti elektroenergetskih sistema i analizirane brojne vrijednosti za učestalost kvarova i neraspolo-

Tablica 1.

intenzitet nezavisnih kvarova	$\lambda_1 = \lambda_2$	0,25 (1/god)
vrijeme obnavljanja	$V_1 = V_2$	8 (h)
intenzitet obnavljanja	$\mu_1 = \mu_2$	1095 (1/god)
intenzitet jednovremenog kvara	λ_c	0,01 (1/god)
intenzitet obnavljanja	μ_c	46 (1/god)
intenzitet kvara stupa	λ_s	0,005 (1/god)
intenzitet obnavljanja	μ_s	46 (1/god)
$\frac{\lambda_s}{\lambda_{c1}} = 0,5$	$\frac{\lambda_{c2}}{\lambda_{c1}} = 0,5$	$\frac{\lambda_c}{\lambda_{c1}} = 1,5$

Tablica 2.

$\frac{\lambda_{c1} + \lambda_s}{\lambda_1}$	Učestalost kvarova $f (\frac{1}{god} \cdot 10^{-3})$					
	Neraspeloživost $[N (10^{-5})]$					
	Sl. 2a.	Sl. 2b.	Sl. 3.	Sl. 4.	Sl. 5.	Sl. 6.
0,00	0,11 [0,005]	0,11 [0,005]	0,11 [0,005]	0,11 [0,005]	0,11 [0,005]	0,11 [0,005]
0,03	7,6 [0,3]	7,6 [0,3]	7,6 [0,3]	7,6 [16,4]	7,6 [5,7]	7,6 [5,7]
0,06	15,3 [0,7]	15,3 [0,7]	15,3 [0,67]	15,3 [32,6]	15,3 [11]	15,3 [11]
0,12	30,1 [1,37]	30,1 [1,37]	30 [1,34]	30,1 [65,2]	30,1 [23]	31 [23]
0,21	52,6 [2,4]	52,6 [2,4]	52,6 [2,4]	52,6 [130]	52,6 [40]	52,6 [40]
0,3	75,1 [3,4]	75,1 [3,4]	75,1 [3,4]	75,1 [163]	75,1 [57]	75,1 [57]

živost za sve prikazane modele. Modeli (2a, 2b, 3) imaju iste vrijednosti za vjerojatnost kvara, koja je niža od modela (4, 5, 6), jer ne uzima u obzir posebno stanje zbog istovremenog kvara.

Najveće vrijednosti za neraspeloživost ima model 4, a nešto manje modeli 5 i 6, jer uvažavaju razliku u kvarovima koji imaju zajedničku posljednicu — rušenje stupa i kvarovi zbog drugih zajedničkih uzroka (npr. višestruki kvarovi u postrojenjima).

ZAKLJUČAK

U radu su prikazani modeli za analizu pouzdanosti dvaju prijenosnih vodova na istoj trasi ili istom stupu zbog nezavisnih kvarova i istovremenog kvara. Dane su relacije za učestalost kvarova i neraspeloživost za svaki od prikazanih šest modela u zavisnosti od načina remonta. Modeli se mogu koristiti u analizama pouzdanosti elektroenergetskih sistema gdje su prijenosni vodovi njihovi sastavni elementi.

LITERATURA

- [1] R. BILLINTON, MEDICHERLA: E »Station orginated mutple outage in the reliability analysis of a composite generation and transmision system«, IEEE PS 100 AUGUST 1981. N. 8
- [2] R. BILLINTON, MEDICHERLA, SACHDEV: »Applicati-on of Common-Cause outage Models in composite system reliability evaluation«, IEEE PAS 100 JUL 1981. N. 7
- [3] J. NAHMAN, N. MIJUŠKOVIĆ: »Reliability modeling of multiple overhead transmision lines«, IEEE Trans. on reliability vol. R 34 NO3 August 1985.
- [4] J. NAHMAN: »Modeling simultaneous outages for bulk-power system reliability-analysis«, IEEE TRANS. ON RELIABILITY VOL. R 34 NO5 DEC. 1985.

RELIABILITY INDICES OF MULTIPLE OVERHEAD TRANSMISSION LINES

Mathematical models of multiple transmission line failures because of independent and common-cause events are presented. The ratios for the frequency of failures and the unavailability of multiple lines for different models are given.

INDIKATOR DER ZUVERLÄSSIGKEIT MEHRFÄLTIGER ÜBERIRDISCHER LEITUNGEN

Man schildert mathematische Modelle der Schäden der mehrfältigen Leitungen wegen unabhängiger Ereignisse und einer gemeinsamen Ursache. Es wurden Relationen für die Schadenfrequenz und das Nicht — Vorhandensein der mehrfältigen Leitungen für verschiedene Modelle gegeben.

ПОКАЗАТЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ МНОГОКРАТНЫХ НАДЗЕМНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Представлены математические модели отказа многократных линий электропередачи из-за независимых происшествий и общих причин. Приводятся соотношения частоты повреждений и несоответствие многократных линий электропередачи для различных моделей.

Naslov pisca:

Mr. Srete Nikolovski, dipl. inž.
SP »Borovo« DP Održavanje
56223 Borovo
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1990 — 10 — 09

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

UNAPREĐENJE EKSPLOATACIJE HIDROELEKTRANA

Zajednica jugoslavenske elektroprivrede provela je stručne konzultacije radi unapređenja eksploatacije jugoslavenskih hidroelektrana. Pri rješavanju te problematike ZJE organizirala je više savjetovanja. Na stručnim konzultacijama »Unapređenje eksploatacije hidroelektrana i pumpno-akumulacionih hidroelektrana« stručnjaci su obradili niz praktičnih rješenja i rad pojedinih hidropostrojenja, kao i racionalnije iskorištenje preostalog hidropotencijala u zemlji. Rezultati konzultacija potanko su obrađeni u tri knjige koje je objavio JUGEL.

Sa svih savjetovanja doneseni su i odgovarajući zaključci koji su dostavljeni udruženim hidroelektranama.

Zaključci stručne konzultacije ZJE »Unapređenje eksploatacije HE i PAHE«:

- Rekonstrukcija starih hidroenergetskih postrojenja predstavlja i u našoj zemlji jedan od prvorazrednih privrednih i tehničkih zadataka. Velikom broju postrojenja istakao je ekonomski životni vijek (jer su poneka u radu i preko 50 godina). Kada se tome doda da je izgradnja novih postrojenja izuzetno skupa i uvjetovana višenamjenskim korištenjem vode, potrebno je sistematski pristupiti rekonstrukciji i modernizaciji starih hidroelektrana.
- Određivanje pravog vremena početka rekonstrukcije treba da obavi stručni tim korisnika u tijesnoj suradnji s iskusnim projektantom i proizvađačem opreme, uz konzultaciju moritornih znanstvenoistraživačkih institucija.
- Investicijski program rekonstrukcije koji se radi na bazi projekta treba da sadrži poglavlje o tehničkoj, energetskoj i ekonomskoj opravdanosti projekta, kao i izvore potrebnih finansijskih sredstava.
- Pri obnavljanju i modernizaciji građevinskih objekata u principu se malokad podrazumijeva zamjena tih objekata, već je cilj poboljšanja karakteristika i pojačanje dijelova objekta podloženih oštećenju, pa tome treba posvetiti posebnu pozornost.
- Pri rekonstrukciji i revitalizaciji HE potrebno je obuhvatiti i automatizaciju upravljanja.
- Prelazak na rad hidroelektrane bez posade trebalo bi provoditi postepeno, sa stjecanjem iskustva u korištenju opreme za automatsko upravljanje.
- Mjerenje, provjere i prikupljanje podataka o parametrima opreme i pogonskim karakteristikama HE treba ažurno i sistematizirano obavljati.
- Potrebno je na nivou JUGEL-a izraditi tehničke preporuke za suvremeni način praćenja i ocjene realnog tehničkog stanja hidroenergetskih objekata.
- Korisno bi bilo neprestano pratiti i analizirati važnije pogonske događaje u HE i PAHE radi pronalaženja međusobne zavisnosti mjernih veličina i stanja dijelova postrojenja.



HE Dubrava na Dravi

- Potrebno bi bilo razmotriti i mogućnost obrade mjernih veličina putem računala, a sve radi praćenja raspoloživosti, boljeg iskorištenja i efikasnijeg planiranja zahvata na hidroenergetskim objektima i postrojenjima.
- Iskustva iz pogona i održavanja iz naših hidroelektrana, kao i iz određenih tehničkih publikacija stranih elektroprivreda, trebalo bi objediniti izradom pravilnika o tehničkim normativima za pogon i održavanje hidroelektrana.

U realizaciji programa »Unapređenje eksploatacije HE i PA-HE« obavljene su revitalizacije u sljedećim postrojenjima: HE Kraljevac, HE Manojlovac, HE Jajce I, HE Jajce II, HE Fala, HE Vuhred, HE Jablanica, HE na Neretvi, HE Una, područje akumulacije Buško jezero. U drugoj su grupi postrojenja o povećanju instalirane snage (izvršeno, planirano), i to: HE Varaždin, HE Đerdap, HE Đerdap II, HE na Dravi u Sloveniji, HE Peruča, HE Dubrovnik, HE Vinodol i dr.

I. R.

PLAN PROIZVODNJE U 1991.

Jugoslavenske hidroelektrane i termoelektrane u ovoj godini predviđaju proizvodnju otprilike 89 milijardi kWh, a potrošnju 85 milijardi kWh električne energije. Da bi se predviđena proizvodnja ostvarila, treba osigurati 66 milijuna tona ugljena, 845 tona tekućeg goriva i 395,5 milijuna prostornih metara prirodnog plina te oko 53 milijuna prostornih metara koksog plina (kojim se koristi TE »Rijeka«), te 16 tona obogaćenog urana za NE Krško.

Početak siječnja ove godine skupština Zajednice jugoslavenske elektroprivrede donijela je zaključak da do kraja rujna 1991. godine elektroprivrede Republike trebaju osigurati maksimalno rezerve vode u akumulacijama za hidroelektrane. To isto vrijedi i za ugljen kad se radi o punjenju deponija termoelektrana. Stvaranje odgovarajućih rezervi mazuta za termoelektrane na tekuće gorivo treba pravovremeno osigurati.

Za ostvarenje ovog programa nužno je osigurati 15 milijardi dinara. Dio sredstava osigurat će SIV, ali i svaka republika morat će sudjelovati u osiguranju potrebnih financijskih sredstava.

I. R.

PROŠIRENJE ELEKTRIFIKACIJE ŽELJEZNICA

Hrvatsko željezničko poduzeće prema usvojenom planu razvoja do 1995. godine predviđa ulaganja u iznosu blizu 1,3 milijarde dolara.

Dobar dio tih investicija koristit će se za modernizaciju i proširenje uvađanje elektrifikacije i na drugim prugama na području Republike Hrvatske. Modernizacija elektrificirane pruge Zagreb — Beograd, za brzine od 160 do 300 km/h nastavak izmjene sistema vuče od Srpskih Moravica do Rijeke, rekonstrukcija željezničkih čvorova u Zagrebu, Vinokovcima i Osijeku te elektrifikacija pruga Knin — Split, Perković — Šibenik i Zaprešić — Zabok, kao i pripreme za gradnju nizinske pruge Zagreb — Rijeka. Nadalje, planirana je kupnja 36 elektromotornih vlakova i veći broj teretnih i drugih vagona.

U realizaciji ovih programa HŽP će u taj posao uključiti i domaća poduzeća elektroindustrije i strojogradnje — »Rade Končar«, »Đuro Đaković« »Janko Gredelj«, RIZ i druge.

I. R.

NAFTA IZ SSSR

Energetskom bilancom u Jugoslaviji za 1991. godinu planirano je osigurati 15750000 tona nafte i naftnih derivata. Od te količine samo 3,75 milijuna tona može se pokriti domaćom proizvodnjom, a ostalo se mora osigurati uvozom. Osim pet milijuna tona ugovorenih sa SSSR-om, od čega tri milijuna tona u konvertibilnom plaćanju, dva milijuna kao vraćanje duga.

Sve ostale količine nafte morat će se nabaviti sa slobodnog tržišta.

I. R.

DOTOCI VODE U AKUMULACIJAMA 1990.

Prema dispečerskim podacima u razdoblju siječanj — prosinac ostvareni su sljedeći dotoci vode u akumulacijama u Republici Hrvatskoj u 1990. godini.

	Plan	Ostvar. I–XII	GWh– %
HE — Protočne	1539.0	1312.2	85.3
HE — Akumulacijske	4153.0	2345.3	56.5
Ukupno	5692.0	3657.5	64.3
Punjenje (+)			
Pražnjenje (–)	177.0	421.7	238.2
Dotok vode	5869.0	4079.2	69.5
Aktivni preljev	0.0	0.0	–
Sveukupni dotok	5869.0	4079.2	69.5

U proteklom razdoblju energetska vrijednost dotoka bila je 30,5 posto od očekivane.

I. R.

OPREMA ZA PLINSKU STANICU MOLVE III

Za završetak projekta »Podravina« preostala je još gradnja centralne plinske stanice »Molve III«. Ovaj objekt bit će završen tijekom 1991. godine, a glavne radove izvodit će stručnjaci »Montmonže« iz Zagreba. Početkom siječnja ove godine je potpisan ugovor o montaži kompletne opreme budućeg najvećeg plinskog postrojenja u Jugoslaviji.

Centralna plinska stanica »Molve III«, kad bude puštena u pogon, proizvodit će dnevno 5 milijuna m³ zemnog plina. To je znatno više od proizvodnje već izgrađenih dviju stanica koje daju ukupno četiri milijuna m³ plina dnevno.

Rok za završetak ugovorenih radova je sedam mjeseci, nakon čega će se graditi spojni cjevovodi i drugi preteći objekti, za čiju je gradnju u toku obrada ponuda. Predviđa se da će centralna plinska stanica »Molve III« biti puštena u pogon uoči iduće zime.

I. R.

RAZVOJ ELEKTROPRIVREDE I STRATEGIJA RAZVOJA ENERGETIKE REPUBLIKE HRVATSKE

Razvoj energetike zahtjeva relativno mnogo sredstava u odnosu prema drugim privrednim granama. Više od 2/3 tih

sredstava planira se za razvoj elektroprivrede, dok je vrijeme aktiviranja tih investicija vrlo dugo, kao i vijek izgradnih postrojenja (pripreme, projektiranje s istraživanjem i izgradnja hidroelektrana, klasičnih termoelektrana, nuklearnih elektrana traje najmanje 10 ili više godina, a vijek trajanja je 30 do 50 godina).

Prema razrađenoj studiji Razvoj elektroprivrede u Republici Hrvatske, pažnju treba usredotočiti na sljedeće aktivnosti:

Hidroelektrane

Ako su hidroelektrane s gotovim idejnim projektom prva grupa, one koje imaju osnovne projekte druga grupa, a one sa studijskim rješenjem treća grupa, potrebno je novelirati osnovne projekte druge grupe i izraditi osnovne projekte za treću grupu s ciljem:

- da se omogući vrednovanje i izbor elektrana za dalje pripreme, odnosno izradu idejnog projekta
- da se razluči od 4000 GWh neiskorištenih hidropotencijala i 0,8 GWh malih hidroelektrana što se može graditi, jer je danas više od polovice problematično zbog zaštite prirodnih ljepota ili zbog neriješenih odnosa na graničnim rijekama i
- da se lokacije onih hidroelektrana čija je izgradnja nesporna prostorno zaštititi u tom smislu da se zabrani izgradnja drugih objekata na tim lokacijama.

Termoelektrane

Izgradnja termoelektrana u Republici Hrvatskoj moguća je isključivo na uvozno gorivo — ugljen ili prirodni plin (eventualno mazut). Potrebno je pripremiti, uz suglasnost za lokaciju za oba tipa elektrana. Naime, danas su termoelektrane na prirodni plin ili kombi-elektrane (plinska termoelektrana + kotao na otpadnu toplinu iz plinske + klasični turboagregat) konkurentne onima na ugljen. Budući da to zavisi od lokacije i uvjeta lociranja te transporta ugljena ili plina, nužno je obaviti potrebne pripreme.

Te pripreme nužno je obaviti i radi prihvaćanja eventualnog dinamičnijeg rasta potrošnje električne energije. Uz uvjet rješenja problema vlasništva, ne treba isključiti ni mo-

gućnost izgradnje termoelektrana u drugim republikama, ako je to rješenje povoljnije i ako su uvjeti toga ulaganja jasni.

Prijenosna mreža

U uvjetima ekonomske krize i općenito nedostatka sredstava za razvoj potrebno je svestrano istražiti nužnost dogradnje elemenata prijenosne i distributivne mreže odgovarajuće sadašnjoj razini potrošnje i prijenosnoj kvaliteti isporuke.

Treću fazu mreže, tj. tehnički sistem upravljanjem čija je realizacija u toku, svakako treba dovršiti.

I. R.

ISTRAŽIVANJE NAFTE U DRUGIM DRŽAVAMA

INA — Naftaplin nastavlja rad na istraživanjima nafte i plina sa stranim partnerima. Predstavnici Naftaplina i američke naftne kompanije AMOCO potpisali su ugovor na nastavku istražnih bušenja na području Dinarida.

Dosadašnji istražni radovi pa i bušenja u Dinaridima potvrdili su tragove nafte i plina. Stručnjaci Svjetske banke to su područje ocijenili dosad najneistraženijim i ujedno potencijalnim za otkrivanje ugljikovodika u Jugoslaviji.

Na temelju projekta sa Svjetskom bankom još 1985. godine izradili su stručnjaci londonske kompanije »Exploration Consultants Ltd.« u zajednici sa stručnjacima Naftaplina.

Najveći interes za istražne radove pokazala je kompanija AMOCO, koja je još prije dvije godine zaključila ugovor s navedenom londonskom kompanijom i Naftaplinom, te izradila i svoju studiju o perpekstivnosti Dinarida.

Na temelju tih dviju studija Naftaplin je odredio četiri bloka u Dinaridima kojima će, zajedno sa stranim partnerima, početi istraživanja bušenja.

Nadalje, stručnjaci Naftaplina sa svojom platformom »Labin« buše u zaljevu Gabes u Tunisu. Radovi dobro napreduju i došad je izbušeno više od 300 metara bušotine. Rad se nastavlja i u ovoj godini.

I. R.



U spomen na Božidara Stefaninija redovnog profesora Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu i briljantnog predavača, prenosimo riječi oproštaja dr. prof. Hrvoja Požara, izrečene na Elektrotehničkom fakultetu 16. ožujka.

U ovom trenutku sjećanja i žalosti zapala me je čast da govorim o radu i djelu Božidara Stefaninija, redovnog profesora

ovoga fakulteta i mojeg kolege i prijatelja, s kojim sam više od 30 godina proveo na zajedničkom radu u Zavodu za visoki napon.

Prof. Stefanini spada među profesore ovoga fakulteta koji su svu svoju energiju i sav svoj talent ugradili u razvoj svoje struke i cijelog Elektrotehničkog fakulteta. On pripada pionirima koji su razvijali elektrotehničku znanost u nas i na našem fakultetu. Među te pionire možemo ubrojiti prof. Josipa Lončara, prof. Miroslava Plohla, prof. Juru Horvata, prof. Antuna Dolencu, prof. Danila Blanušu, prof. Tihomila Jelakovica. Nesumnjivo, tome nizu pripada i prof. Božidar Stefanini.

Već tokom studija opredijelio se za elektrifikacijsku djelatnost, jer je već za vrijeme posljednje godine studija radio kao pomoćni asistent na Katedri za proizvodnju, prijenos i razdiobu električne energije kojoj je na čelu bio prof. Jure Horvat. Nakon odsluženja vojnog roka namjestio se u Banovinskom električnom poduzeću koje je osnovano za elektrifikaciju Banovine Hrvatske. To je poduzeće pretvoreno poslije u Državno električno poduzeće, gdje projektira i gradi transformatorske stanice. Nakon kraja rata to se poduzeće pretvara u Električno poduzeće Hrvatske, gdje nastavlja rad kao šef Odsjeka za uređaje 110 kV. Polovicom 1946. godine imenovan je za referenta za dalekovode u Generalnoj direkciji savezne elektroprivrede. Ta je generalna direkcija ubrzo premještena u Beograd i pretvara se u Ministarstvo elektroprivrede FNRJ, u kojem je rukovodio planom elektrifikacije Jugoslavije. Poslije je bio imenovan za direktora Saveznog projektantskog biroa za rasklopna postrojenja i dalekovode.

Njegova težnja za znanstvenim istraživanjima i za prenošenje stečenih znanja na mlade ljude koji su trebali dalje razvijati elektrifikaciju zemlje dovela ga je na ondašnji Tehnički fakultet, na kojem je izabran za docenta, koju je dužnost nastupio početkom 1950. godine. Odmah je preuzeo predavanja iz predmeta »Prijenos električne energije«, a slijedeće školske godine i iz predmeta »Tehnika visokog napona«. Početkom 1952. godine preuzeo je dužnost predstojnika Zavoda za visoki napon. Polovicom 1954. godine promoviran je za doktora tehničkih znanosti. Godine 1955. izabran je za izvanrednog, a 1959. godine za redovnog profesora. Nakon osnivanja Elektrotehničkog fakulteta izabran je za prodekana u školskoj godini 1956/57, a u školskoj godini 1958/59 za dekana fakulteta.

Osim rada na fakultetu djelovao je kao honorarni suradnik Instituta za elektroprivredu u Zagrebu, nadalje je godinama bio stručni savjetnik poduzeća »Dalekovod« u Zagrebu i poduzeća »Elektroinvest« u Sarajevu. Suraduje, osim toga, s Jugoslavenskom elektroprivrednom zajednicom u Beogradu kao član Tehničke i drugih komisija. Tokom jednog semestra 1964. godine radio je na sveučilištu u Kairu kao gostujući profesor.

BOŽIDAR STEFANINI

18. listopada 1913. — 2. ožujka 1991.

U tom razdoblju, koje bi se moglo nazvati razdobljem ljubavi za elektrifikaciju, prof. Stefanini objavio je oko 50 znanstvenih i stručnih radova, oko 40 studija, za potrebe elektroprivrede, 9 svezaka skripata iz Prijenosa električne energije i Tehnike visokog naponu, te 10 prijevoda među njima poznatog Woodruffova udžbenika »Principi prijenosa električne energije«.

Nakon toga pojavljuje se nova ljubav, ljubav za kompjutorizaciju. Na tom se području angažira s onim oduševljenjem i entuzijazmom kako je to znao prof. Stefanini. Najprije radi programe za, po današnjem shvaćanju, primitivno računalo ZUSE. Zatim se potpuno angažira na nabavci prvog računala na našem fakultetu IBM 1130. To je bio, može se bez pretjeravanja reći, prekretni moment u razvoju nastave na Elektrotehničkom fakultetu. Ne prolazne zasluge za takav preokret ima nesumnjivo prof. Stefanini. Ugradnjom prvog računala prof. Stefanini uvodi u nastavu svojih predmeta upotrebu elektroničkog računala, te organizira tečajeve i seminare za stručnjake u elektroprivrednim poduzećima. U to doba pojavljuje se ideja o osnivanju Sveučilišnog računskog centra. Formira se operativni odbor na čelu s prof. Stefaninijem. Rezultat je te akcije izgradnja Sveučilišnog računskog centra i postavljanje prvog računala UNIVAC 1106 (1972). Prof. Stefanini vodi Sveučilišni računski centar i 1975. godine postaje prvi generalni direktor. Tada privremeno napušta fakultet i mjesto predstojnika Zavoda za visoki napon nakon što ga je 24 godine uspješno vodio.

U tom drugom razdoblju svojeg djelovanja kad se skoro potpuno posvetio primjeni računala, objavio je tri udžbenika o programiranju na elektroničkom računalu. Pri tom, međutim, nije zaboravio elektrifikaciju, jer je izradio i objavio oko 60 programa iz područja električnih mreža, stupova za dalekovode, za provjese i naprezanja vodiča na dalekovodima.

Kad se govori o razvoju i primjeni kompjutorizacije na Elektrotehničkom fakultetu, elektroprivredi i u Hrvatskoj ne mogu se zaobići zasluge prof. Stefaninija. Njegovi radovi na tom području, njegova upornost i entuzijizam uvelike su utjecali na taj razvoj pogotovo u njegovim počecima.

Kad se govori o prof. Stefaniniju kao čovjeku treba spomenuti njegovu pjesničku žicu. Pisao je pjesme i čitao ih u intimnom krugu.

Na kraju plodnog i uspješnog života shrvala ga je teška bolest, patio je i trpio. U toj boli možda je pomišljao na poznatu Cesarićevu pjesmu, »Kad budem trava«:

Možda će onda bolje da bude
Kada se jednoga dana preselim
U crve i u zemne grude.

Ljuljat ću se u travama veselim,
Mjesečinom i suncem polivenim
Rasitnjen i dobro skriven.

Ništa mi neće ostat od uma,
Nijedna misao mrtvoga daha;
Ja neću imat ni uha ni sluha
Da slušam tišinu svojega šuma.

Ako me kada stanu i kosit,
Neće mi bola nanijeti kosa —
Jedini teret koji ću nosit
U novom životu biti će rosa.

Spavaj spokojno, tvoji bivši studenti, kolege i prijatelji sačuvat će uspomenu na tebe i na tvoje djelo. Pomolimo se, onako kako tko zna i može, za pokoj prof. Božidara Stefaninija.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

RECIKLAŽA SIJALICA

Različite izgorjele žarulje, čiji se broj u svakoj zemlji broji na milijune, značajna su vrsta otpada. Žarulje s metalnom niti, kao otpad, ne predstavljaju neki problem. Međutim, fluorescentne cijevi, živine sijalice srednjeg i visokog tlaka, kao i halogene žarulje sadrže živu i opasan su otpad. Da bi se zaštitio okoliš od trovanja, razvijene su u Švedskoj i Njemačkoj posebne metode za reciklažu. U Njemačkoj npr. više se poduzeća bavi skupljanjem isluženih žarulja, no veći na od njih taj otpad deponira, a tek 30% ide na reciklažu. Poduzeće Osram razvilo je vrlo uspješan postupak reciklaže. Uz kapacitet prerade od 4 000 žarulja na sat iskorištava se 90% stakla i 80% fluorescentne materije, a samo 15% odlazi u smeće. Prema švedskoj metodi posebnom se destilacijom može iskoristiti 99,9% žive i 90% stakla. Tvornice koje rade ovim postupkom preuzimaju također preradu i drugih materijala koji sadrže živu, kao npr. razbijene releje, termometre, zubni amalgam, baterije i slično.

Mjerenja su pokazala da okoliš ovakvih tvornica nije zagađen, a štetni sastojci znatno su ispod dopuštene granice.

Energie, god. 42 (1990), br. 9

Mrk.

PRVA »ZELENA« TERMOELEKTRANA U VELIKOJ BRITANJI

U Velikoj Britaniji gradi se velika kombinirana plinsko-parna termoelektrana, na zemni plin, koja će vrlo malo zagađivati okoliš, pa je nazvana »zelena elektrana«. Sastojat će se od dva bloka, svaki snage po 450 MW. U bloku će raditi dvije plinske turbine po 150 MW i jedna parna turbina od 170 MW. Stupanj djelovanja ovakve kombinacije vrlo je visok i iznosi 50%, prema 35% u klasičnoj termoelektrani. Postrojenje je locirano u sjevernoj Engleskoj. Plin će se dovoditi 65 km dugim plinovodom iz bušotina Pickerill na obali Sjevernog mora. Procjenjuje se da to nalazište ima rezerve od 21,2 milijarde m³ plina, a dnevni potrošak elektrana iznositi će 6 milijuna m³. U izlaznim plinovima praktički neće biti sumpor-dioksida, a bit će vrlo male količine ugljik-oksida i dušičnih oksida. Ulazak u pogon predviđa se koncem 1992. godine.

Energie, god. 42 (1990), br. 9

Mrk.

KUĆANSKI APARATI SVE ŠTEDLJIVJI

Razvoj upotrebe električne energije u kućanstvima SR Njemačke usmjerava se prema sve boljem i racionalnijem korištenju. Dok je potrošak od 1965. do 1975. rastao prosječno 10% godišnje, u razdoblju 1975. do 1985. pao je na 3%, a od 1985. porast iznosi samo 0,2%. Pritom treba istaknuti da se broj kućanstva povećao, a povećala se i njihova opremljenost električnim aparatima. Današnji su aparati, naime, bitno štedljiviji od njihovih prethodnika. Tako je između 1978. i 1988. smanjen potrošak električne energije između 18% kod električnih štednjaka i 40% kod hladnjaka i za-

mrzivača. Strojevi za pranje posuda uštedeju danas 36% energije u usporedbi s nekadašnjim.

ETZ, god. 111 (1990), br. 13

Mrk.

SMANJENJE PORASTA POTROŠKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ

U SR Njemačkoj osamdesetih godina bitno je smanjen porast potrošnje električne energije izvještava VDEW. U tom je razdoblju srednji porast iznosio 1,8% godišnje, dok je u prethodnom desetljeću bio 4,1%.

ETZ, god. 111 (1990), br. 18

Mrk.

ČISTE I NEČISTE ELEKTRANE

Danas polovici efekta staklenika pridonosi sadržaj ugljik-dioksida u zraku, pa se ulažu naponi da se što više smanji njegova emisija. Kao mjere za njegovo smanjenje stručnjaci preporučuju:

- smanjiti upotrebu nafte za grijanja i prijelaz na daljinsko grijanje iz elektrana-toplana
- graditi stambene zgrade s pojačanom toplinskom izolacijom
- obnoviti motorna vozila primjenom novih tipova koji troše 20% manje goriva
- zamijeniti stare tipove kućanskih aparata novima koji štede energiju
- zamijeniti proizvodnju električne energije iz termoelektrana elektranama na vjetar i solarnim elektranama
- graditi nuklearne elektrane,
- velike elektrane na ugljen koje danas rade uz srednji faktor iskoristivosti od 27% pregraditi na moderne uređaje stupnja djelovanja od 42%.

U pojedinim zemljama vrlo je različit okus količine električne energije dobivene iz »čistih« elektrana, tj. onih koje ne emitiraju guljik-dioksid i »nečistih« koje ga izbacuju u velikim količinama.

Za neke razvijene zemlje odnosi su sljedeći:

Postotak proizvodnje u elektranama

	čistim	nečistim
Danska	0,3%	99,7%
Nizozemska	6	94
Vel. Britanija	21	79
SAD	27	73
Italija	30	70
SR Njemačka	34	66
Španjolska	47	53
Francuska	88	12
Švedska	95	5
Švicarska	98	2
Norveška	99,7	0,3

ETZ, god. 111 (1990), br. 14

Mrk.

EIB FINANCIRA ŠPANJOLSKU ELEKTROPRIVREDU

Evropska investiciona banka (EIB) dala je španjolskoj elektroprivredi kredit od 6 milijardi peseta (47,4 milijuna Ecu) za modernizaciju elektrana, transformatorskih stanica, mreže i sistema upravljanja u provincijama Kantabrija i Austrije. Kreditom će se također povezati izolirane mreže na zemaljski elektrosistem. Time je EIB do sada dala Španjolskoj za potrebe elektroprivrede ukupno 50 milijardi peseta.

ETZ, god. 111 (1990), br. 17

Mrk.

U JAPANU ROBOT-MONTER

Japansko elektrodistributivno poduzeće Tokyo Electric Power ima robota za radove na visokonaponskim dalekovodima i rasklopnim postojenjima. Robot ima specijalne alate i kameru za nadgled pa može nadomjestiti elektromontere u elektranama i stanicama. Uredaj je rezultat zajedničkog rada TEP s poduzećima Toshiba, Fuji Denki i Furukava Denki Kogyo, koji je započeo 1984. godine. Dosad su izgrađena dva modela. jedan od njih upravljan je sa tla, a drugi iz kabine, koja se podiže na stup na radnu visinu. Prototipovi obaju modela završeni su u proljeće 1988, a u praksi primijenjeni u jesen iste godine.

Manipulator ima 6 slobodnih položaja s alatima koji se mogu mijenjati. Rad se nadgleda televizijskom kamerom koja je ugrađena na poluzi manipulatora. Najveći se broj radova može izvoditi, prema podacima TEP, bez prekida pogona i bez opasnosti za osoblje.

ETZ, god. 111 (1990), br. 17

Mrk.

OBNOVLJIVA ENERGIJA U ZAPADNOJ EVROPI

U zemljama zapadne Evrope jedna je petina ukupno proizvedene električne energije, u 1988. godini, dobivena iz obnovljivih izvora, tj. vode, otpadaka, vjetra i sunca kao i geotermalnih izvora. Ta je energija okruglo iznosila 450 TWh. Najznačajniji izvor obnovljive energije svakako su vodne snage, na osnovi kojih je proizvedeno 438 TWh ili 97%. Najveći udio imaju vodne snage u Norveškoj i alpskim zemljama, dok je npr. u Njemačkoj njihov udio u obnovljivim energetskim izvorima 78%. Više nego u ostalim evropskim zemljama u njemačkoj je dobiveno struje iz smeća i biomase. Putem vjetra i sunca proizvedeno je ukupno 14,5 GWh električne energije. U Njemačkoj je udio električne enrgije dobiven iz obnovljivih izvora samo 6% ukupne proizvodnje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 89 (1990), br. 20

Mrk.

PORAST POTROŠKA ENERGIJE U SVIJETU

Prema proračunima British Petroleuma (BP) potrošak energije, računajući cijeli svijet, porastao je u 7 godina, tj. od 1982. do 1988. godine, za 20,6%. U apsolutnim brojkama porast je iznosio od 6,645 milijardi tona ekvivalentne nafte na 8,013 milijardi tona. U 1989. godini u usporedbi s prethodnom potrošak je porastao 2%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 89 (1990), br. 21

Mrk.

U JAPANU PLANIRANA GRADNJA 40 NOVIH NUKLEARNIH ELEKTRANA

Prema objavljenom dugogodišnjem energetsom planu, Japan namjerava u sljedećih 20 godina izgraditi 40 novih nuklearni. Time bi udio nuklearne energije u ukupnoj primarnoj energiji porastao od 9% (1988) na 16,7%. Udio nafte u japanskoj energetske bilanci trebao je pasti od 57,3% u 1988. godini na 46% u 2010. godini. U tom se razdoblju predviđa pad udjela ugljena od 18,1% na 15,5%

ÖZE, god. 43 (1990), br. 10

Mrk.

FRANCUSKA STRUJA ŠPANJOLSKOJ

Prem priopćenju francuskog državnog elektroprivrednog poduzeća Electricite de France (EdF) prvi je put načinjen ugovor sa španjolskim društvom električne energije. Prema tom bi ugovoru EdF od 1993. Španjolskoj davao garantiranih 1000 MW. Trajanje važnosti ugovora iznosi 10 godina. U vrijeme početka isporuke morao bi biti završen dalekovod 400 kV između obje zemlje, povezujući točke Cazaril-Aragon.

ÖZE, god. 43 (1990), br.10

Mrk.

ELEKTROAUTOMOBILI U AUSTRIJI

U širem području Beča stavit će se u proljeće 1991. u pogon, na 10 točaka, napojne stanice za punjenje baterija solarnih i elektroautomobila. Time će biti stvorena mogućnost da uđe u upotrebu 200 elektrovozila koje namjerava nabaviti Ministarstvo za privredu. Osim napojnih stanica izgradile bi se solarne elektrane koje bi davale električnu energiju u mrežu upravo za potrebe napojnih stanica. Elektrovozila bi služila za vožnju unutar bečkog područja, a moći će se nabaviti uz vrlo povoljnu cijenu. Imat će također povlastice pri oporezivanju i održavanju.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 10

Mrk.

SKUP O ELEKTROAUTOMOBILIMA U BEČU

U kolovozu 1990. održan je u Beču skup pod naslovom »Elektroauto za svakidašnjicu«. Tom prilikom nisu se čule samo novosti o razvoju elektrovozila već su prikazani i najnoviji modeli. Na skupu je istaknuto da će se vjerojatno, uvođenjem elektroautomobila, riješiti problem zagađenja urbanih sredina.

Industrija već nudi osobne automobile i dostavna vozila na električni pogon, ali im je cijena visoka zbog pojedinačne proizvodnje ili vrlo malih serija. To je također razlog da postoje poteškoće u održavanju i servisiranju, premda su to vozila serijske proizvodnje, ali pregrađena na električni pogon. Danas takva vozila prevladavaju s jednim punjenjem baterija 100 do 250 km, a troše 33 do 45 kWh na 100 km. Cijenu vozila svakako bi snizila veća proizvodnja, ali i smanjenje poreza i pristojbi. Komune, elektroprivreda pa i neka poduzeća trebala bi prednjačiti u nabavi i korištenju elektroautomobila. Razvoj stalno donosi poboljšanja, no danas je još uvijek osnovni problem težina baterija, premda su razvijene baterije bitno lakše i većih kapaciteta od olovnih akumulatora.

Njemačka studijska grupa SEA razvila je baterije cink-brom, znatno lakše od olovnih i s većom gustoćom energije. Osim toga, za puni kapacitet dovoljno im je 3 do 4 sata punjenja. Ugrađena u elektropandu mogu s jednim punjenjem prijeći 200 km.

Tvrtka Asea-Brown-Boveri (ABB) proizvodi serijski natrij-sumporne baterije. Ovaj tip ima prema olovnim akumulatorima slične prednosti kao spomenute baterije cink-broma. Posebnost je ovih baterija što uvijek moraju biti pod temperaturom od 280 do 350 °C, pa se moraju grijati i dok je vozilo izvan pogona. Mora se predvidjeti posebno osiguranje da u slučaju nesreće ne istječe tekući natrij i sumpor. Vozila s jednim punjenjem mogu prijeći 200 do 250 km.

Predstavnik švicarske elektroprivrede najavio je da će u Švicarskoj uskoro u prometu biti 500 elektroautomobila. Izneseno je također da će grad Haniburg poduprijeti upotrebu elektroautomobila ako se vlasnik obveže financijski potpomoći regenerativne izvore električne energije, npr. vjetroelektrane i fotovoltaične elektrane. Na kraju je rečeno da glede uvođenja elektroautomobila treba još raščistiti i dopuniti neke pravne i tehničke propise.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 10

Mrk.

OBUSTAVLJENA GRADNJA PRVE POLJSKE NUKLEARKE

Gradnja prve poljske nuklearne elektrane počela je 1982. godine kod mjesta Zarnowiec, sjeverozapadno od Gdanska. Predviđeno je da elektrana ima 4 bloka ukupne snage 1 860 MW. Prva dva bloka trebala su ući u pogon 1992. Do sada je investirano oko milijardu US dolara, a stručnjaci procjenjuju da bi do završetka trebalo uložiti još toliko. No u međuvremenu, zbog protesta građana i mišljenja eksperata, Ministarski savjet u Varšavi je odlučio da se elektrana ne završi.

ETZ, god. 111 (1990), br. 20

Mrk.

ZAŠTITA OKOLIŠA POGONOM NA BILJNO ULJE

U održanom ekoreliju Riga-Moskva posebno se istaknuo auto tipa Moskvič u koji je ugrađen Elsbett-motor. Motor je trošio na 100 km 2,69 litara običnog biljnog ulja, pa je bio najekonomičnije vozilo na reliju. Osim toga, upotrebom biljnog ulja ne opterećuje se okoliš, jer ispusni plinovi ne sadrže niti olova niti sumpor. Za takve motore vlada veliko zanimanje u SAD i SSSR-u. U SSSR-u već je u proizvodnji 5 000 Moskviča s Elsbett-motorom. Zasad je manji interes za ovu novu tehnologiju u zemljama gdje je benzin jeftin.

Energie, god. 42 (1990), br. 10

Mrk.

POVEĆAN INTERES ZA GORIVE ČELIJE

Gorive su ćelije bile upotrijebljene za dobivanje energije u svemirskim letjelicama, npr. Apollovu Mjesečevu letu, a zatim su se prestale spominjati. No čini se da se opet vraćaju, ali u drugoj primjeni — kao dodatni izvori električne energije. U strahu pred opasnošću efekta staklenika misli se na njihovu primjenu jer im je efekt iskorištenja vrlo visok i iznosi 60% do 80%. U New Yorku je u pogonu elektrana gorivih ćelija snage 4,5 MW. Centralni američki elektroprivred-

ni institut (EPRI) razvija zajedno s tokijskom elektroprivredom TEPCO-uređaj gorivih ćelija snage 11 MW. U Italiji, kraj Milana, treba u 1992. godini ući u pogon pokusni uređaj snage 1 MW. Danas postoji mnogo tipova gorivih ćelija, ali za praktičnu upotrebu u obzir dolazi tek pet. Razvojni put još nije završen, pa su brojni eksperimenti u toku. Mnogo se pažnje posvećuje, osobito u Americi, ćelijama koje izgaraju zemni plin i gazificirani ugljen, jer se postižu visoki koeficijenti iskoristivosti.

Postoji nada da će biti moguće gorive ćelije koristiti kao baterije za pogon elektroautomobila. To bi bio svakako velik ekološki napredak, ali danas je cijena za takav pogon još previsoka.

ETZ, god 111 (1990), br. 20

Mrk.

ZAGAĐENOST EVROPSKIH GRADOVA

U časopisu Energie iznesen je podatak o zagađenosti smogom 13 velikih gradova pod naslovom »Beograd — Glavni grad smoga«. Kao mjera uzet je broj mikrograma sumpordioksida, dušik-oksida i prašine u kubnom metru zraka. Prema tom prikazu Beograd ima 4,5 puta zagađeniji zrak od Stockholma. Evo pregleda gradova po njihovoj zagađenosti (mikrograma po kubiku zraka):

Beograd	316
Lisabon	267
Frankfurt	165
Bruxelles	150
Beč	149
New York	145
Tokio	145
Paris	141
Oslo	135
London	125
Amsterdam	118
Kopenhagen	106
Stockholm	71

Energie, god. 42 (1990), br. 10

Mrk.

NEKA POGONSKA ISKUSTVA MREŽE 750 kV U SSSR-u

Mreža dalekovoda 750 kV SSSR-u izgrađena je kao superponirana mreži 330 kV za veze sjeverozapada, centra i juga. Mreža ima važnu ulogu ne samo za izmjenu energije već prije svega za povezivanje velikih termoelektrana i nuklearnih elektrana.

Prirodna snaga vodova 750 kV iznosi 21 000 MW, no vodovi u mreži stvarno su opterećeni mnogo niže, tj. 800 do 900 MW. Zbog toga nema opasnosti od nestabilnosti. Da se dalekovodi bolje iskoriste, treba poduzeti potrebne mjere kako bi se tokovi snaga bolje usmjerili, osobito u paralelnom radu s mrežom 330 kV.

Pokazalo se da mreža 750 kV radi pouzdanije od mreže 500 kV. Trideset posto ispada uzrokovano je pogrešnim radom zaštite i radom osoblja.

Automatsko ponovno uključivanje radilo je uspješno u više od 50% slučajeva. Isključenja zbog groma uslijedila su jedanput na 3 000 km godišnje. To je posljedica dobro odmjerenе izolacije, zaštitnog kuta dozemnog užeta do 20°, i terena otpora do 300 ommetara.

Preskok izolatora pri normalnom pogonskom naponu uzrokovao je 1 iskapčanje na 6000 km i godinu. Iskustva na mreži 500 kV pokazala su da se sa novim tipovima izolatora može i na 750 kV izvoditi, na nosnim stupovima, sigurne sigurne jednostruke izolatorske lance.

Električeskie stancii, god. 1990. br. 8

Mrk.

GEOTERMALNA ENERGIJA NA NEKADAŠNJEM PODRUČJU DDR-a

Uporaba geotermalne energije na području nekadanšjeg DDR-a sve je donedavno bila izuzetno čuvana tajna. Zbog toga nije ni u užim stručnim krugovima bilo poznato da se u pokrajini Neubrandenburg koristi potpuno nova tehnologija za njezino dobivanje. Na taj način htjelo se bar malo rasteretiti okoliš koji je u europskim razmjerima ekstremno onečišćen produktima izgaranja iz termoelektrana, kotlovnica i domaćinstva.

Vrlo visoka ovisnost opskrbe energijom o domaćem lignitu koji znatno opterećuje okoliš, bila je osnovni razlog traženja novih energetskih izvora sedamdesetih godina. Istraživanje zaliha nafte i zemnog plina nije dalo zadovoljavajuće rezultate. Pa ipak, koristi je bilo bar za geologe koji su proširili svoja saznanja o stanju u podzemlju što je nakon nekoliko godina rezultiralo neočekivanim učinkom. U toj karakterističnoj sjevernonjemačkoj geološkoj regiji otkriven je u dubini od 1 000 do 2 500 m visokoporozni i vodopropusni sloj pješčanika s toplom vodom.

Pilot projekti

Početak osamdesetih godina završavani su planovi za gradnju nove stambene zone u blizini grada Kreisstadt Waqrenaza oko 800 stambenih jedinica s pratećim objektima. Gradnja je trebala početi u neposrednoj blizini posebno zaštićenog prirodnog područja. U DDR-u je bilo uobičajeno da se nova naselja opskrbljuju energijom iz centralnih kotlovnica loženih ugljenom. Zbog posebnog položaja zone već su se u izradi projekta imali na umu ekološki zahtjevi. Nadležni savjet okruga odredio je da se stambena zona mora opskrbljivati energijom iz podzemlja. Za to su u tom trenutku postojali tek nedovoljno istraženi prirodni preduvjeti. Ljudske, organizacijske i financijske tek je trebalo stvoriti. Osnovano je novo poduzeće za projektiranje i uporabu geotermalnih postrojenja. Prvi uspjeh je puštanje u rad geotermalne kotlovnice snage 5 MW 1984. godine. Iz nje je toplu vodu i vodu za centralno grijanje dobivalo 1 000 stanova, robna kuća i dječji vrtić. Slijedila su nova dva postrojenja: prvo snage 7 MW za mjesta Prenzlau i Ukermark za 1 400 stanova te drugo snage 10 MW u Neubrandenburgu. To posljednje postrojenje planirano je proširiti na 20 MW, tako da bi opskrbljivalo još 3 000 stanova, jednu veliku visokoškolsku ustanovu i nekoliko industrijskih objekata. Sve u svemu, iz ukupno izgrađenih postrojenja snage 22 MW do studenog 1989. isporučeno je oko 51 GWh energije, čime je nadomješteno oko 26 000 t lignita.

Geotermalno postrojenje

Geotermalna centrala sastoji se od podzemnog i nadzemnog dijela. Prema prethodno provedenim istraživanjima za početak se izbuše dvije bušotine do vodopropusnog sloja. Iz prve sonde se uz pomoć snažnih podvodnih pumpi crpi topla voda na površinu. Tamo se pročišćava u dvostrukom sistemu mikrofiltara bez promjene stanja i vodi u izmjenjivač. Dio topline se direktno oduzima u mrežu, a dio preko top-

linskih pumpi. Postrojenja su prema tadašnjim uvjetima u DDR-u bila ekonomski isplativa ako je temperatura vode iz podzemlja prelazila 50°C. Na dubinama do 1 000 m nije bilo vode odgovarajuće temperature. S druge strane, bušotine dublje 2 500 m nisu se mogle isplatiti jer je na podzemna postrojenja otpadalo 40 do 60% ukupnih troškova. Voda koja se na površini na opisani način iskoristila vraćala se u podzemlje preko druge sonde. Kod prvog probnog postrojenja voda temperature oko 60°C uzimala se s dubine 1 500 m, da bi se vraćala s temperaturom od 5 do 10°C. Potreba za relativno složenim sustavom za filtriranje proizlazi iz činjenice da voda sadrži lebdeće čestice koje vrlo brzo zatvaraju pore u pješčaniku na mjestu reinjekcije. pritisak pumpi bi se stalno trebao povećavati dok konačno utiskivanje vode ne postane nemoguće. Direktno korištenje tople vode (bez izmjenjivača) nemoguće je zbog znatnog postotka otopljenih soli i korozije koju bi izazvala. Utvrđeno je da ne bi bilo ekonomski isplativo isključivo korištenje geotermalne energije ni u danima vršnog opterećenja sustava. Potrebne investicije bile bi prevelike, pa se povremeno koristi energija i iz drugih izvora. Na osnovi istraživanja i iskustva u radu poduzeće za geotermalnu energiju svojevremeno je garantiralo potrošačima tridesetgodišnju sigurnost.

Planovi za budućnost

Relativno uspješan rad probnih postrojenja djelovao je gotovo zarazno. S buđenjem ekološke savjesti osjetila je mogućnost rješavanja bar dijela emisije sumpor-dioksida i brda pepela. Niz mjesta predviđen je za bušenje i gradnju centrala; desetak za manje snage i nekoliko za snage 50 MW za 20 000 stanova. Do 1995. godine trebalo je instalirati ukupno 100 MW postrojenja, a do 2000. novih 150 MW. U međuvremenu od 1. srpnja 1990. (ujedinjenje Njemačke) poduzeće posluje na tržišnoj osnovi boreći se za preživljavanje. Državna uprava je nova bušenja odgodila za skuplja od kotlovnice iste snage ložene lignitom, ali su troškovi pogona niži za 20% te troškovi osoblja niži za 60%. U petnaestogodišnjem razdoblju izjednačili bi se troškovi s troškovima postrojenja loženog naftom ili zemnim plinom. U konačnici može se osnovati lanac takvih postrojenja koje bi opsluživala jedna ili dvije osobe. Visoka investicijska ulaganja glavna su prepreka za gradnju novih objekata te vrste — slaba komunalna poduzeća na području nekadanšjeg DDR-a to ne mogu platiti. Sada se razmatra mogućnost da se ta tehnologija u Knowhow-obliku iskuša tu i tamo u ostalim dijelovima Njemačke, prije svega u sjevernim dijelovima između Elbe i Odre — širokim prostranstvima slične geološke građe. Postoje velike mogućnosti da se i tamo pronađu iskoristive zalihe tople vode. U Donjoj Saksoniji nadležna je regionalna uprava za rudarska istraživanja u zajednici sa saveznom vladom odlučila da otpočnu istraživanja jednog šireg područja i da se ocijene mogućnosti za uspješan rad. Slično se razmišlja u još nekoliko mjesta u zapadnom dijelu Njemačke.

Stromthemen, 11/90.

ŽC.

DA LI JE MOGUĆE POVEZIVANJE ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA EUROPE

U vrijeme intenzivne transformacije europskih ekonomskih udruženja i prevladavanja vojnoblokovske podjele ponovo postaje aktualno jače povezivanje Istoka i zapada. Razmatraju se mogućnosti kooperacije u području energije i sve više se ističe činjenica da na zapadnu pomoć ne računaju samo manje istočnoevropske zemlje nego i sam SSSR. O veli-

kim i nepremostivim preprekama za povezivanje elektroenergetskih sustava govorilo se na tematskom predavanju koje je održano u studenom 1990. godine u Frankfurtu/M. Odvojeno razvijanje dvaju elektroenergetskih sustava na starom kontinentu rezultat je dugogodišnje političke i privredne podjele. Zapadnoeuropska mreža (UCPTE) sa 378000 MW instalirane snage u elektranama najveći je povezan sustav svijeta. Istočnoeuropski sustav koji uključuje sve zemlje SEV-a, bez istoka SSSR-a, upola je manji; prema podacima s kraja 1988. godine imao je 172 000 MW instalirane snage. Dosad su postojale vrlo ograničene mogućnosti razmjene energije među sustavima zbog različitog načina upravljanja i regulacije frekvencije. Neposredno međusobno spajanje je nemoguće. UCPTE-mreža je decentralizirana, objedinjuje pojedine samostalne elektroprivrede i osnovna orijentacija je da svako podmiruje vlastite potrebe. Za razliku od toga mreža SEV-a je potpuno centralizirana i 100% ovisna o Sovjetskom Savezu, odnosno velikim ukrajinskim elektranama. SSSR izvozi potrebne količine električne energije ostalim zemljama članicama. U istočnom dijelu mreže na raspolaganju su tek neznatne rezerve, pa se u slučaju da prijeti raspad sustava moraju isključiti čitave industrijske grane. Točno održavanje frekvencije uopće nije moguće. Zbog svega navedenog postoje samo dvije mogućnosti zajedničkog rada dvaju sustava: izdvojeni rad jedne ili više elektrana i povezivanje visokonaponskim istosmjernim vodovima.

Pri izdvojenom radu neka od elektrana smještena u blizini državne granice odvaja se od vlastitog elektroenergetskog sustava i energiju isporučuje isključivo drugom sustavu, odakle se regulira i frekvencija. Na taj se način već oko godinu dana isporučuje struja bivšem DDR-u iz njemačke termoelektrane Offleben snage 320 MW. Uz priključenje još nekih elektrana raspoloživa snaga može se povećati do 800 MW.

Istosmjerno prijenosno postrojenje radi već nekoliko godina u mjestu Dürnröhr na austrijsko-češkoslovačkoj granici; još dva postrojenja su u gradnji — prvo između pokrajine Bayern i Češkoslovačke i drugo na austrijsko-mađarskoj granici. U tim vrlo skupim postrojenjima izmjenična struja iz jednog sustava transformira se u istosmjernu i odmah ponovo u izmjeničnu, ali s frekvencijom drugog sustava. Prijenos je naravno moguć u oba smjera. Osnovni tehnički podaci postrojenja su:

1. Dürnröhr kod Beča — Češkoslovačka, prijenosna snaga 550 MW, od 1983. godine,
2. Etzernricht/Bayern — Hradec (Češkoslovačka), 600 MW s mogućnošću povećanja kapaciteta na 1200 MW, planirano za 1993. godinu.
3. Beč/sjeveroistok — Mađarska, 550 MW.

Na poticaj SSSR-a formirana je komisija sa zadatkom da ocijeni mogućnosti za paralelni rad obaju elektroenergetskih sustava. Jednostavno rečeno, za to postoje velike poteškoće. Potrebna je temeljita modernizacija kompletne elektroprivrede nekadašnjeg SEV-a i preostalog dijela SSSR-a, od elektrana preko mreže do upravljanja kroz Know-how-prijenost tehnologije i obilate investicije. Kod proizvodnih kapaciteta nužno je gradnjom novih ili obnovom postojećih elektrana znatno podići stupanj djelovanja i poduzeti osnovne mjere za zaštitu okoliša. Sljedeći korak je racionalna uporaba energije uza sve moguće uštede u industriji i domaćinstvu.

Povezivanje je moguće ostvariti korak po korak. Počelo bi povezivanjem područja nekadašnjeg DDR-a na mrežu UCPTE-a potkraj 1991. ili početkom 1992. godine. To će se ostvariti gradnjom već definiranih prijenosnih vodova među starim i novim njemčakim pokrajinama i korištenjem potvrđenih rezervi u proizvodnim kapacitetima u zapadnom dijelu. Dalje će slijediti investicije u elektrane i mrežu u istočnom dijelu, investicije čiji će iznos prelaziti 50 milijardi DM. Ako se pogleda malo dalje po području SEV-a, najmanjim se čine problemi Češkoslovačke, zatim Mađarske, a za Poljsku vrijedi da bi se na sustav UCPTE u najboljem slučaju mogla povezati tek potkraj stoljeća. Slijedi popis definiranih visokonaponskih veza nekadašnjeg DDR-a i mreže UCPTE:

1. Helmsted — Berlin. Dio do istočnonjemačkoga grada Wolmirsteda završen je od listopada 1989. godine. Nekadašnje partijsko vodstvo DDR-a spriječilo je izgradnju i dovršetak istosmjernog prijenosa do Berlina.
2. Redwitz/Coburg — Remptendorf/Thüringen do kraja 1991. godine.
3. Mecklar/Fulda — Vieselbach/Thüringen do kraja 1991. godine.
4. Lübeck — Schwerin — Güstrow. Ovaj dalekovod planiran je za povezivanje zajednički građene elektrane 500 MW kraj Lübecka ili Rostoka i povećanju sigurnosti u sjevernom dijelu DDR-a.

Završetkom navedenih objekata bit će moguć paralelan rad, računajući na dovoljne rezervne kapacitete u zapadnom dijelu. Tada će se priključkom na mrežu UCPTE-a pojaviti još jedna mogućnost; elektrane u blizini istočne granice DDR-a na neki će se način osloboditi za paralelan rad preko postojećih vodova s mrežom SEV-a, pa će biti moguća isporuka u Češkoslovačku i Poljsku.

Sovjetska elektroprivreda, osim dijela povezanog na mrežu SEV-a, ima još dva međusobno nepovezana dijela; sjevernoeuropski i azijski dio, koji se pruža do Vladivostoka. Za rješavanje istih problema potrebne su najmanje dvadesetorostruke investicije od onih koje su predviđene za područje DDR-a, dakle oko jedan bilijun DM. U SSSR-u se godišnje planira povećanje snage elektrana od 15000 MW samo za zadovoljavanje porasta potrošnje, što odgovara, na primjer, svim postojećim postrojenjima Austrije. Realno će se moći ostvariti tek polovica planiranog — oko 8000 MW novih objekata godišnje, što znači da se manjak snage i s tim vezani problemi neće smanjivati, nego, dapače, povećavati. Zbog toga je povezivanje mreže SSSR-a i UCPTE-a neostvarivo u ovom stoljeću. Razmjena energije uz međusobnu sinhronizaciju je neostvariva u bliskoj budućnosti, pa do daljnjeg ostaju dvije već spomenute mogućnosti: izdvojeni rad ili istosmjerni prijenos.

Ako bi se ipak željela povezati europska i sovjetska mreža, moralo bi se pokrenuti nešto kao Marshallov plan za istočnoeuropsku elektroprivredu. Međutim, sanacija je potrebna i u ostalim energetskim sektorima Istočne Europe i SSSR-a. Jedina realna mogućnost financiranja tako ambicioznog plana jest isporuka plina, nafte, pa i električne energije na Zapad. Kada bi se iz temelja modernizirala energetika — osnovna infrastruktura za svaku industrijsku granu, omogućila bi se obnova cjelokupne privrede SEV-a i SSSR-a i konačno izgradnja nove, jedinstvene Europe.

Stromthemen, 1/91.

ŽC.



MASINOIMPEX

Poduzeće za vanjsku trgovinu
41000 Zagreb, Varšavska 9

Phone 041/457-111
Fax 041/424-090, 426-269
Telex 21177, 21254 MAEX YU

ASTRA MAŠINOIMPEX je poduzeće za vanjsku trgovinu, specijalizirano za export i import kompletnih objekata, postrojenja, opreme, repromaterijala, strojeva, dijelova i alata za sve grane industrije; obavlja i vanjskotrgovinsko zastupanje i posredovanje u prometu roba i usluga, turističku i ugostiteljsku djelatnost u poslovanju s inozemstvom, inženjerski inženjering, marketing i konzultersku djelatnost u vanjskotrgovinskom poslovanju.

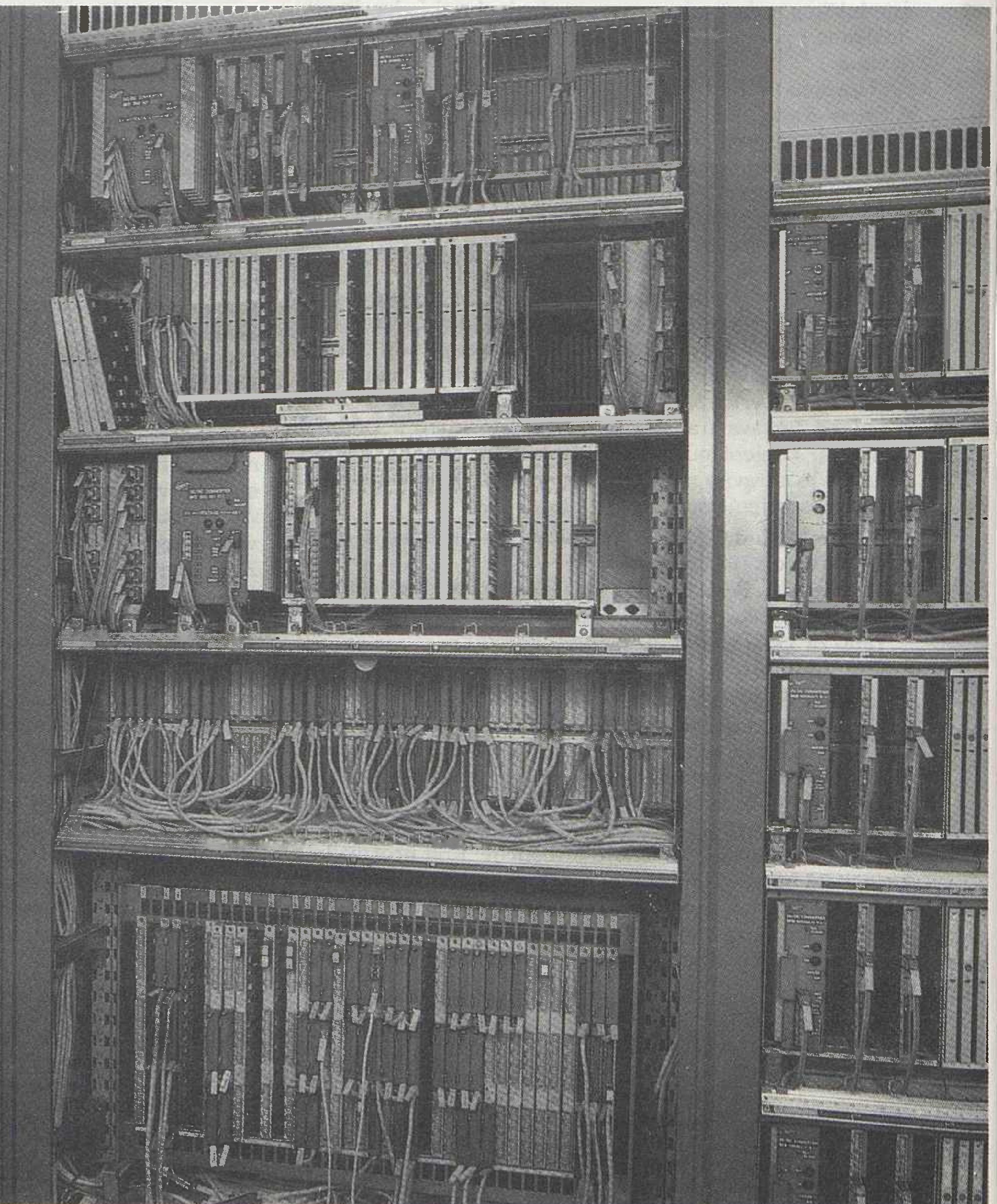
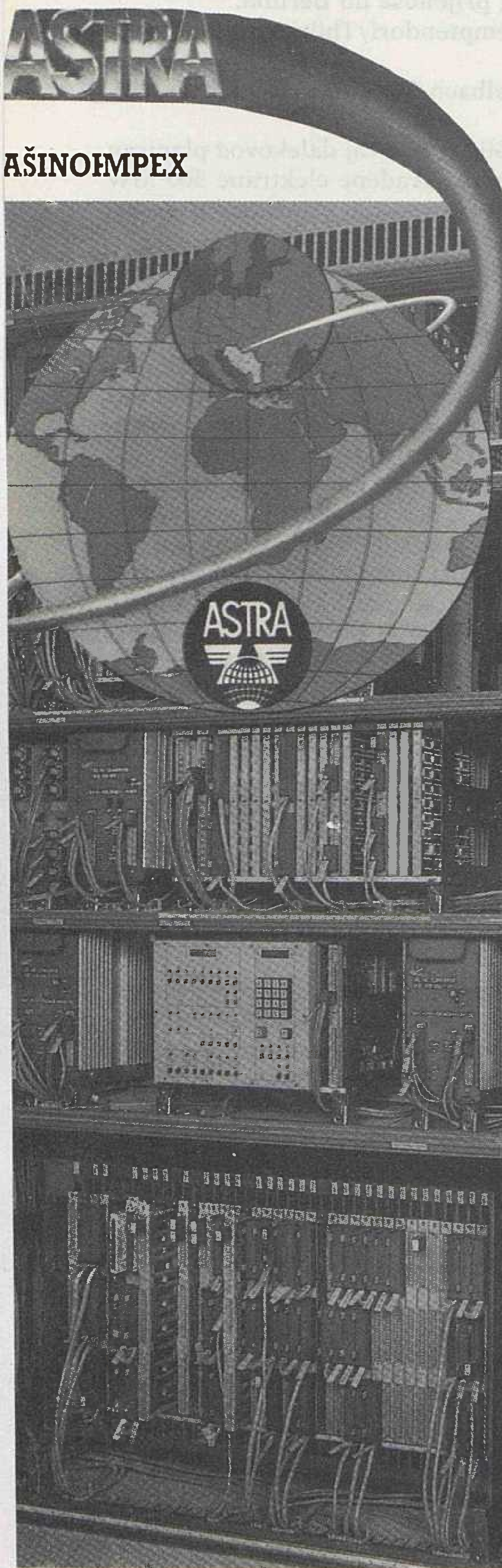
U nedostatku prostora nemoguće je nabrojiti sve važnije izvozne reference ASTRA MAŠINOIMPEXA u mnoge

države svijeta: plasman domaćih telefonskih i telegrafskih međugradskih centrala, postrojenja i opreme za prehrambenu i kemijsku industriju, strojeva i elektrostrojogradnje, strojeva za obradu drveta, tekstilnu i kožarsku industriju, automatskih alatnih strojeva i alata, proizvoda metaloprerađivačke industrije, stakla, keramike, porculana, kože, gume, tekstila i druge robe.

ASTRA MAŠINOIMPEX istodobno ima i značajnu ulogu u uvozu postrojenja, moderne opreme i repromaterijala potrebnog domaćoj proizvodnji. Našim posredstvom u Jugoslaviji su izgrađeni i modernizirani mnogi privredni objekti: rafinerije i petrokemijska postrojenja, kemijske i tekstilne tvornice, postrojenja za dobivanje i preradu obojenih metala, tvornice papira, stakla, za preradu plastičnih masa, oprema za željeznička transportna poduzeća, poštanske telefonsko telegrafске organizacije i

radioteleviziju, oprema za energetske objekte itd.

Osnovna značajka poslovnog programa ASTRA MAŠINOIMPEXA sastoji se u različitim modalitetima čvrstog partnerstva s brojnim domaćim izvoznim i uvoznim proizvođačima i tradicionalnoj povezanosti kroz privrednu suradnju s uglednim inozemnim partnerima. U našem poslovanju posebnu aktivnost usmjerujemo na složenije i više oblike privredne suradnje: kooperaciju i osnivanje pojedinih kapitalnih dioničarskih i mješovitih društava za izgradnju infrastrukturnih objekata i tvornica atraktivnih proizvoda po najsuvremenijim svjetskim tehnologijama. Naša uloga u osnivanju mješovitih društava sastoji se u povezivanju stranih i domaćih ulagača-osnivača na temelju osmišljenih poslovnih programa, te realizacija svih vanjskotrgovinskih i izvoznih i uvoznih zadataka.



ASTRA MAŠINOIMPEXOM NA INOZEMNOM TRŽIŠTU POSTIŽETE CILJ U SVAKOJ TRŽIŠNOJ KOMBINACIJI

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 40 (1991)

Zagreb 1991

Br. 3

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Dr. Niko *Malbaša*, Institut za elektroprivredu, Zagreb — Josip *Antić*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Distribucija Rijeka — Anđelko *Modrčin*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Rijeka — Anđelko *Dujmović*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Osijek — mr. Damir *Subašić*, dipl. inž., Ministarstvo energetike — 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«, Krno-slav *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.

Redakcija završena 1991 — 4 — 24

SADRŽAJ

<i>Subašić D.</i> : Kolika nadoknada za prihvaćanje odlagališta radioaktivnog otpada (Pregledni rad)	135
<i>Tonković Z.</i> : Propusnost jugoslavenske superponirane mreže u tekućem srednjoročju (Pregledni rad)	145
<i>Babić S.</i> : Utjecaj načina modeliranja generatora na rezultate proračuna prijelazne stabilnosti elektroenergetskog sistema (Originalni znanstveni rad)	155
<i>Pečvarac D.</i> : Elektroenergetske prilike na području grada Iloka i okolice (Prethodno priopćenje)	165
<i>Markovčić B.</i> : 100 godina trofaznog visokonaponskog prijenosa električne energije (Pregledni rad)	169
<i>Mučić Dž.</i> : Prilog razvoju novih postupaka optimizacije u projektiranju dalekovoda (Originalni znanstveni rad)	175
Vijesti iz elektroprivrede	189
Iz strane stručne literature	193
Savjetovanja i konferencije	196
Oglasi	199

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 240,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 600,00 dinara (za studente 120,00) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 90,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

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

40. godišnjica



Dr. **Zorko Cvetković**, dipl. inž., gl. urednik:

Četrdeset godina izlaženja nekog časopisa nije ni malo ni mnogo vremena. To je razdoblje postizanja zrelosti, u kojemu časopis nastoji zadržati stečene pozicije i uvesti povremena poboljšanja.

*Kako je u **Energiji** br. 1 iz 1986. detaljnije opisan razvoj časopisa u povodu njegove 35. godišnjice, ovom prilikom dajemo mogućnost članovima Izdavačkog savjeta da iznesu svoje dojmove o **Energiji**.*

Članovi Izdavačkog savjeta

Zdenka Jelić, prof., urednica

*Uređivati **Energiju** znači boriti se za opstanak i stalno se dokazivati.*

*Sudbina **Energije** oduvijek je ovisila o odnosu elektroprivrede prema časopisu, o tome hoće li odgovorni ljudi shvatiti njegovu važnost.*

Tako je bilo nekad, tako je i danas.

*Posljednjih godina Hrvatska elektroprivreda svojom brigom za **Energiju** dokazuje da je to zaista njezin časopis, kako u samom naslovu i piše. Stoga joj Uredništvo duguje zahvalnost za svoj uspjeh i brojne pohvale. Posebno zahvaljujemo članovima Izdavačkog savjeta, bez čije pomoći i razumijevanja ne bi bilo ni ovog jubileja.*

Valja spomenuti i Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike. Njihova su nam sredstva bila i priznanje i prijeko potrebna pomoć.

Ovom prigodom zahvaljujemo na suradnji i svim svojim suradnicima, autorima i dugogodišnjim oglašivačima.



Josip Antić, dipl. inž.:

***Energija** se svojim sadržajem i stilom gotovo nenađajljivo uklapa u elektroenergetski prostor Hrvatske, a vjerojatno ima veliko značenje i na širem geografskom području.*

ENERGIJE

Andelko Modrčin, dipl. inž.

***Energija**, časopis Hrvatske elektroprivrede, svojim je sadržajem i temama u toku četrdesetogodišnjeg izlazaženja prezentacijom visokovrijednih i originalnih radova dokazala svoju egzistentnost.*

*Cilj **Energije** uvijek je bilo usmjeravanje aktivnosti prema energetske i tehnološke budućnosti, popraćeno nastojanjima za očuvanjem čovjekove okoline.*

Mr. **Damir Subašić**, dipl. inž.

***Energija** mi je sve važniji izvor informacija potrebnih u svakodnevnom poslu. Ona mi pomaže ne samo u očuvanju razine stručnosti koju ozbiljno ugrožavaju rutinski poslovi, nego mi dobrom uređivačkom politikom omogućuje pregled stručnih i znanstvenih tema koje se u nas obrađuju te institucija i stručnjaka koji se tim temama bave.*

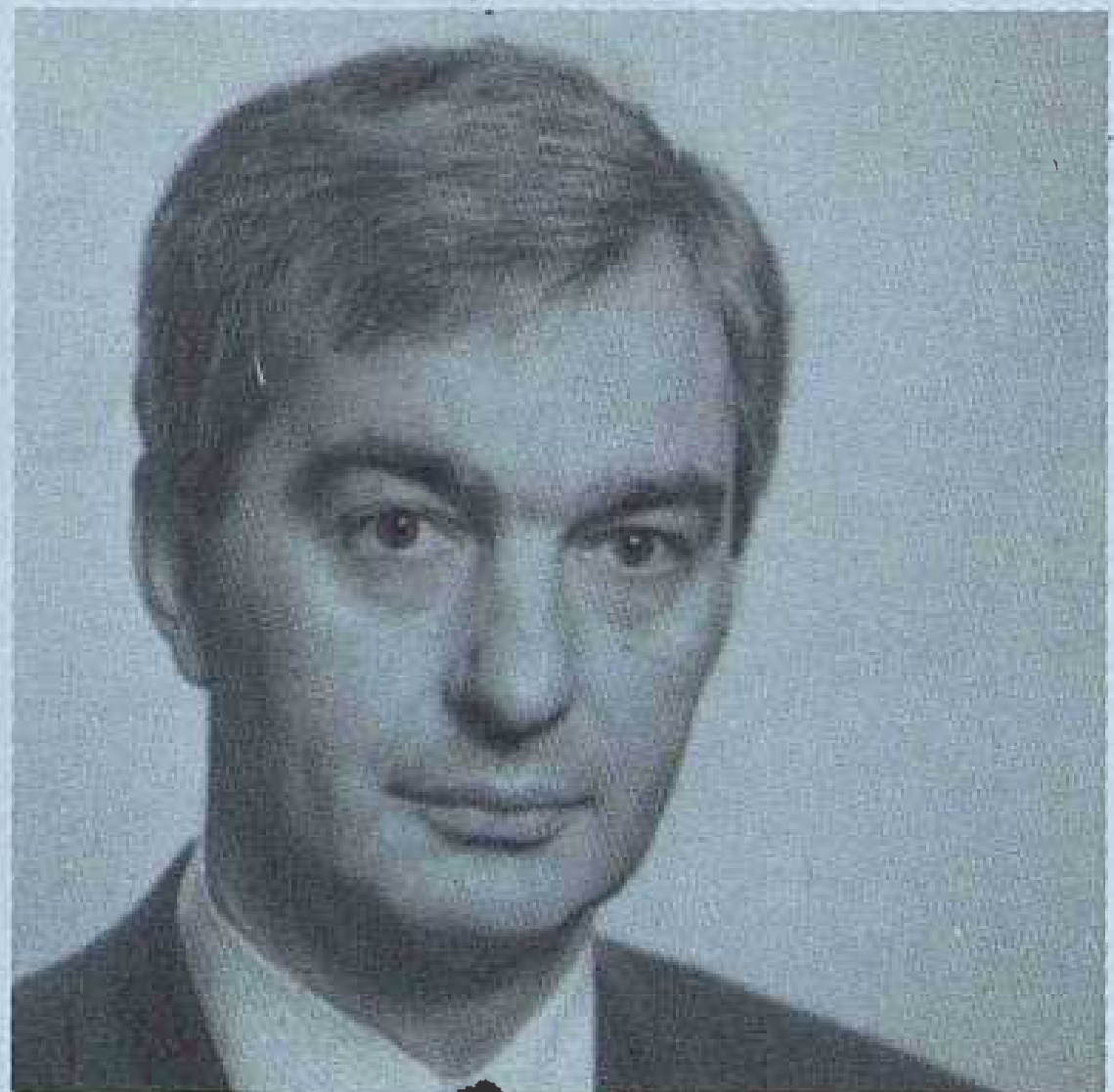
Mr. **Mladen Zeljko**, dipl. inž.

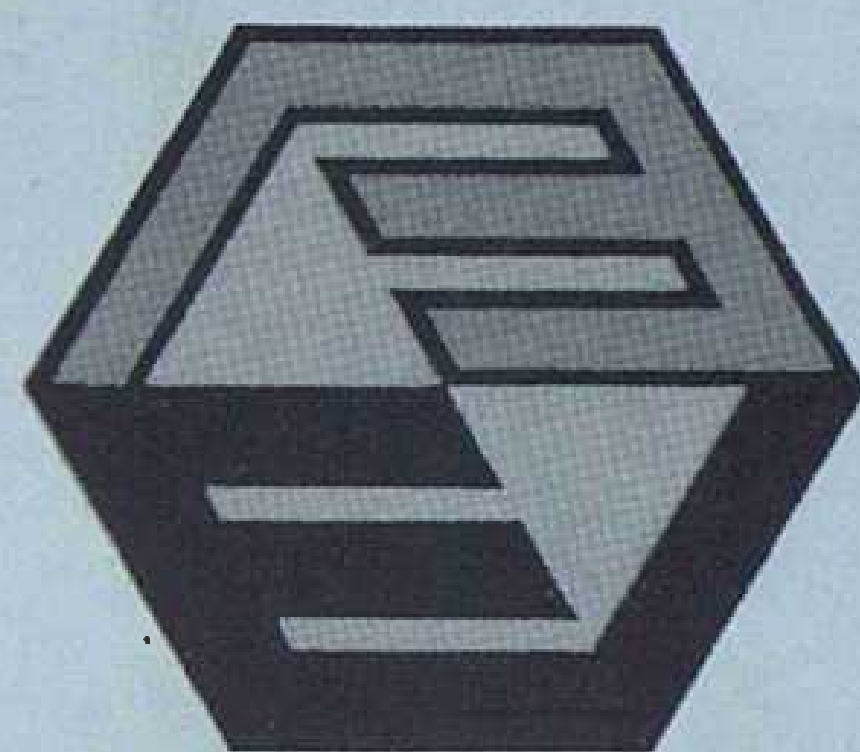
*U doba opće krize koja je zahvatila našu zemlju i u kojoj su znanstveni časopisi u velikim financijskim teškoćama, časopis **Energija** ne samo da se uspijeva održati, nego je jedan od malobrojnih koji redovito izlazi. Ta je činjenica dobar pokazatelj zanimanja autora i čitatelja. **Energija** je jedini časopis u nas koji na svojevrsan način uspijeva cjelovito obuhvatiti problematiku energije, ekologije i ekonomije, koje su međusobno povezane (popularno EEE). Veliko zanimanje stručnjaka — autora članaka osigurava dovoljan broj radova, što omogućuje **Energiji** da izborom najzanimljivijih od njih bude uvijek aktualna.*

Andelko Dujmović, dipl. inž.

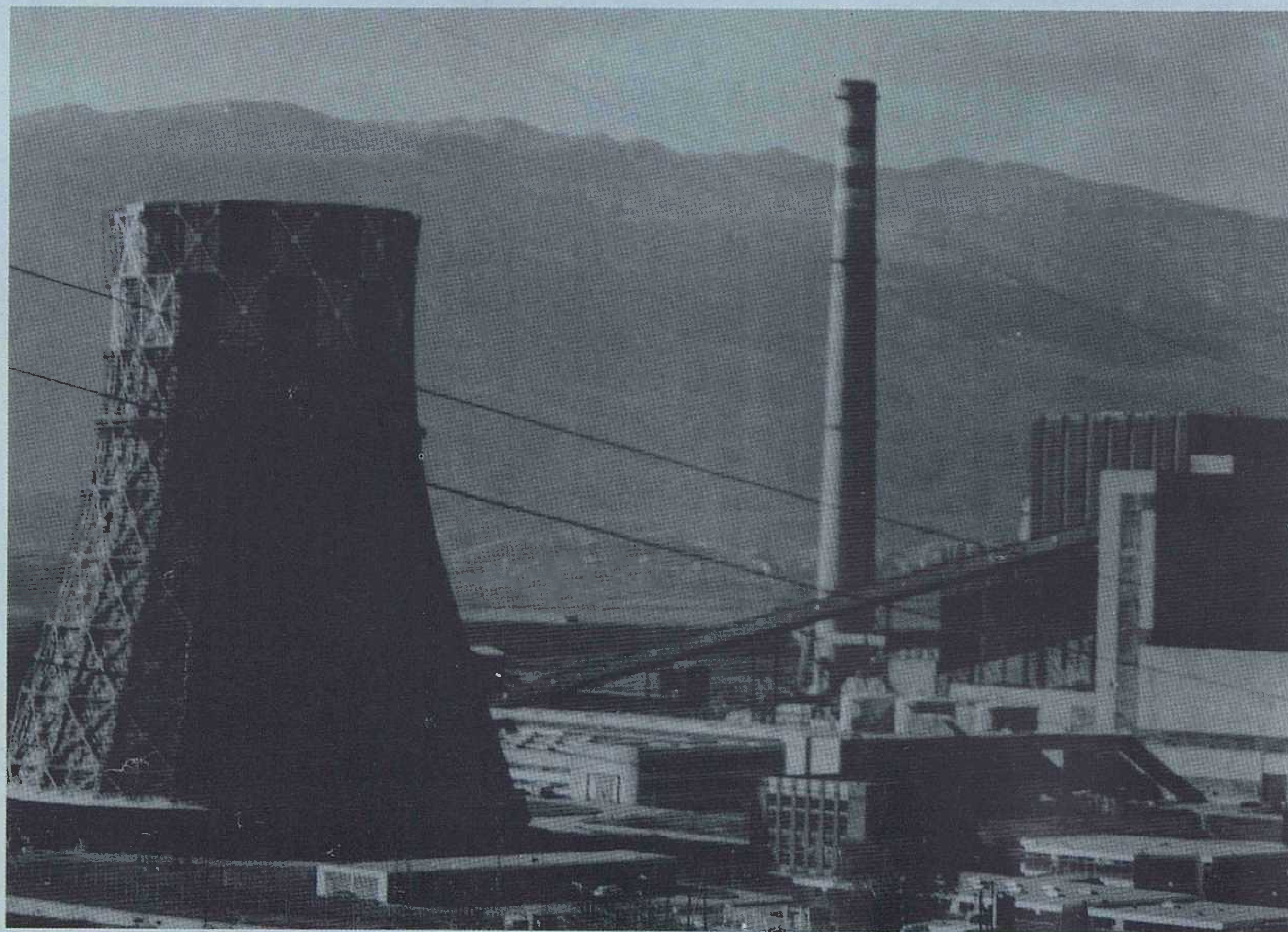
Za svaki put, pa i za onaj dug tisuću milja, potrebno je načiniti prvi korak. Taj je prvi korak davno učinjen, što više, otad je napravljeno mnogo, mnogo ustrajnih koraka.

Strpljenje, upornost i ambicija zalog su našeg zajedničkog htijenja da nastavimo istim putem, na korist i dobrobit Hrvatske elektroprivrede i Lijepa naše.





MONTING ENERGETIKA ZAGREB



**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

TE »GACKO« – Gacko: Kompletna montaža bloka 1 instalirane snage 1 × 300 mW, 1982. godine.
Rekonstrukcija kotla kapaciteta 990 t/h pare i kapitalni remont turbogeneratora 300 MW, 1989. godine.

KOLIKA NADOKNADA ZA PRIHVAĆANJE ODLAGALIŠTA RADIOAKTIVNOG OTPADA

Mr. Damir Subašić, Zagreb

UDK 621.039.7
PREGLEDNI RAD

Imajući na umu da je nadoknada dokazano važan element za prihvatljivost lokacije svakog kontraverznog objekta, u radu se analiziraju relevantni primjeri s ciljem da se predloži kakvu i koliku nadoknadu primijeniti u Hrvatskoj pri izboru i određivanju lokacije odlagališta otpada niske i srednje radioaktivnosti.

Ključne riječi: radioaktivni otpad, odlagalište radioaktivnog otpada, nadoknada za odlagalište.

1. UVOD

Lociranje kontroverznih objekata dokraja je zaoštren proces pun sporova, a često i sukoba. Nigdje to nije evidentnije nego pri lociranju odlagališta otpada, a ako se radi još o radioaktivnom otpadu (RAO), slika je kompletna. Svi su suglasni da se 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 toliko općenit da je u stručnoj literaturi dobio posebno ime — sindrom »NIMBY« — gdje skraćenica dolazi od Not In My Backyard (samo ne u mom dvorištu).

Bit spora nije u znanstvenim ili tehnološkim aspektima. Čak i najbolja, besprijekorna tehnološka rješenja ne uklanjaju probleme s prihvaćanjem lociranja. Po mnogim glavni je problem mala težnika koja se daje društvenim aspektima lociranja. Jedan od glavnih »društvenih« razloga neprihvatanja i protivljenja lokalnog stanovništva jest nepravda u raspodjeli dobiti i štete.

2. NADOKNADA

Lociranje kontroverznog objekta neizbježno uključuje nepravdičnost u raspodjeli štete i koristi. Općenito, korist od objekta proširena je na cijeli teritorij neke zajednice, a šteta (negativan utjecaj objekta) uglavnom je lokalno usmjerena. Zato je nadoknada lokalnoj zajednici (užoj teritorijalnoj životnoj sredini) za bilo koje opterećenje koje mora trpjeti na račun dobrobiti šire zajednice ključna za fer i pravičan proces lociranja.

Nadoknada nije: a) tehnička mjera kojom se umanjuje utjecaj tehnologije na okoliš ili se smanjuje rizik, b) ekološki porez (taksa), c) novčana ili neka druga kompenzacija za manjkave, neadekvatne tehnološke

loške mjere smanjenja rizika i utjecaja na okoliš, te d) mito za prihvaćanje lokacije.

Lokalnoj zajednici daje se nadoknada za sve neželjene utjecaje koji joj se donose i nameću lociranjem kontroverznog 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 lokalna zajednica čini prihvaćanjem liciranja kontroverznog objekta.

Uloga i značenje nadoknade u prihvaćanju — lociranju kontraverznih objekata nije više sporno. Glavni argumenti za potrebu primjene nadoknade izneseni su ovdje skraćeno, a detaljnije su dani i u posebnom radu [1]. Zbog toga se u nastavku više neće dokazivati potreba za primjenom nadoknade. Naglasak će biti na analizi primjera, i to onih koji su relevantni za prosudbu i odluku kako nadoknadu primijeniti kod nas u nastojanju da se locira odlagalište RAO. Posebno će se pažnja posvetiti vrsti odnosno formi nadoknade, kada je započeti primjenjivati i kako je vremenski rasporediti u cijelom vijeku odagališta. Za uspješnu primjenu nadoknade presudno je kako je ona utemeljena i kakve su garancije da će biti u potpunosti i do kraja provedena. Možda je ovo za nas najbitnije s obzirom na mnoga neispunjena obećanja, pa čak i obaveze preuzete i utvrđene na početku izgradnje mnogih objekata. Naravno, bitno je važno o kolikoj nadoknadi se radi, odnosno o njezinoj ukupnoj novčanoj protuvrijednosti ili bar o iznosu dijela koji je u obliku direktnih novčanih davanja.

3. ANALIZA INOZEMNIH PRIMJERA

3.1. Sjedinjene Američke Države

Postojeće vrlo intenzivne aktivnosti u SAD na pronalaženju lokacija za odlagališta RAO niske i srednje

aktivnosti karakterizira udruživanje po nekoliko država s ciljem da izgrade zajedničko odlagalište. Razlike u pristupu u korištenju nadoknade onih deset američkih država koje su prihvatile nova odlagališta vrlo su velike. Najbolje te razlike ilustriraju sljedeće riječi: »Ako usporedimo pristup Illinoisu s 'cadillacom', tada je pristup Californije 'Yugo'« [2].

3.1.1. Illinois

Zbog prethodnog, daljnja pažnja biti će posvećena državi Illinois, koja od svih američkih država ima najveću proizvodnju struje iz nuklearke što objašnjava »Cadillac-pristup«.

U skladu s državnim propisom [3] svaka od 13 nuklearke ima obvezu da kao i drugi stvaraoci RAO uplaćuje u poseban fond. Namjena fonda je da se 80% koristi za razvoj izgradnju i rad odlagališta RAO, a 20% za dugotrajnu brigu o odlagalištu nakon njegova prestanka rada, odnosno nakon njegova zapunjenja i zatvaranja. Član 15. propisa garantira odštetu stanovništvu u slučaju direktno pretrpljene štete od ispuštene radioaktivnosti. Pri postavljanju opravdanog zahtjeva za odštetom koji premašuju iznos koji u tom momentu postoji u fondu država Illionis preuzima odgovornost da iz budžeta namakne sredstva za tu namjenu.

Dodatno na odštetu nadoknada je utvrđena članovima 10. (e) i 10. (f). Pripada onoj jedinici lokalne uprave u kojoj se nalazi jedna od alternativnih potencijalnih lokacija predviđena za detaljna istraživanja. Također pripada i onim susjednim lokalnim jedinicama uprave kojima je alternativna lokacija bliže od 1,5 milje od granice. Iznos nadoknade limitiran je po lokaciji, pa je predviđena podjela među susjednim jedinicama uprave. Predviđene su dvije vrste novčanih nadoknada, od kojih je jedna nenamjenska. Za drugu, strogo namjensku, propisane su detaljne upute tko može i uz koje uvjete aplicirati, koji su uvjeti nadoknade i kako se dodjeljuje [4].

U dosadašnjoj primjeni ovih odredbi iskustvo je sljedeće:

Iznos namjenske nadoknade je 150 000 USD. Služi da lokalna zajednica njime može platiti usluge nezavisnih eksperata koji za tu lokalnu zajednicu verificiraju i nadziru cijeli proces istraživanja lokacije. Namjena je i financiranje troškova provođenja informiranja stanovnika te procjene socioekonomskog utjecaja odlagališta na lokalnu zajednicu [5]. Također je dio tih 150 000 USD namijenjen pokrivanju troškova osnivanja i rada lokalnih komisija (komiteta) građana za nadzor i pregled svih aktivnosti vezanih za odlagalište (Martinsville-Citizens Advisory Committee, Fairfield-Citizens Review Committee, a postoji još i na nivou države Citizens Advisory Group) [6].

Budući da su u Illinoisu za daljnje istraživanje odabrane alternativne lokacije (jedna u blizini malog grada Martinsvillea od 1 000 stanovnika, a druga kod mjesta Geff sa 350 stanovnika u blizini Fairfielda), sjedišta lokalne uprave dobile su osim navedene svote još po dodatnih 400 000 USD. Namjena tih sredstava nije određena.

U Martinsvilleu lokalna uprava (City Council) je ova nenamjenska sredstva potrošila na poboljšanje sistema vodoopskrbe, doprinose školama i okolnim distriktima (township), kupnju opreme vatrogascima, miliciji i prvoj pomoći, nabavili su kompjutorski gradski sistem, osnovali školski muzej, kupili neke zgrade i drugu imovinu, financirali aktivnosti za poticaj ekonomskog razvoja te karitativne akcije. Lokalna uprava Fairfielda potrošila je 400 000 USD uglavnom na poboljšanje cestovne mreže. Početkom 1989. godine ocijenjeno je da je prihvatljivo dodijeliti još dodatnih 150 000 USD lokalnim upravama za slične namjene [6].

U nastavku istraživanja i vrednovanja svake od alternativnih lokacija, lokalne uprave će dobivati svake godine po 200 000 USD. Kada bude izabrana konačna lokacija, nenamjenski će biti dodjeljivano po 800 000 USD godišnje sve do početka rada odlagališta [6].

Za vrijeme rada prihod lokalnoj zajednici će dolaziti iz dodatnog nameta na otpad pohranjivan u odlagalište [5]. Osim takvog direktnog znatnog novčanog davanja, uprava odlagališta ima obvezu da potiče ekonomski razvoj regije, a naročito da razvija komercijalne aktivnosti kompatibilne s odlagalištem. Vrlo velika pozornost pridaje se mogućnosti zapošljavanja lokalnog stanovništva. Zbog toga će se stipendirati školovanje i obuka lokalnog stanovništva da bi što više zaposlenih moglo biti iz neposredne okolice. Zasada se održavaju kratki seminari u školama sa svrhom da se prezentiraju mogućnosti daljnjeg školovanja i poslije toga zapošljavanja na odlagalištu.

Koriste se »domaći« materijali, tvrtke i obrtnici, a zamjetljiv je i pojačan promet u hotelima i restoranima. Većina pisanih materijala tiska se u lokalnim tiskarama, a lokalni fotografi rade na foto-dokumentaciji, dok su lokalne novine znatno povećale broj pretplatnika. Većina državnih fondova za izgradnju odlagališta drži se u lokalnim bankama. Ocjenjuje se da je ipak najznačajnije za lokalno stanovništvo mogućnost dugoročne zaposlenosti i dugoročne mogućnosti davanja usluga.

3.1.2. New York State

Posebним zakonom države New York [7] utvrđene u nadležnosti i obveze u izboru lokacije odlagališta RAO. Precizirano je da do početka rada odlagališta, sve troškove snose nuklearke, a nakon toga bit će utvrđena pristojba za sve korisnike. Članom 29-0509 predviđena je nadoknada, tj. naložena je izrada studije kojom se treba predložiti moguće forme i načini pomoći svim lokalnim jedinicama uprave koje će biti zahvaćena aktivnostima na izboru lokacije za odlagalište RAO.

Rezultat studije [8] je prijedlog sedam paketa raznih nadoknada, svaki s određenom namjenom. Prikazani su u tablici 1.

Prvi paket donosi lokalnoj jedinici uprave na čijem teritoriju je jedna od 6 potencijalnih lokacija po 50 000 USD. Namijenjeni su aktivnom uključenju u odlučivanja o izboru konačne lokacije, tj. za plaćanje neovisnih ekspertiza. Drugi paket omogućuje organi-

Tablica 1. Sumarni prikaz paketa mjera za ublažavanje negativnih efekata od odlagališta RAO u New York State (po vrijednosti USD iz 1987)

Namjena paketa mjera	Iznos po godinama (USD)	
	od 1. do 5. g. (planiranje i izgradnja)	od 5. do 35. g. (rad-odlaganje)
1. Financijska pomoć lokalnim zajednicama iz okolice alternativnih (maksimalno 6) lokacija	300 000	
2. Financiranje aktivnosti komisije koja zastupa interese lokalnog stanovništva	790 000	1 500 000
3. Nenamjenska nadoknada ciljana da unaprijedi kvalitetu života okolnog stanovništva		6 000 000
4. Puna financijska odgovornost države New York (samo za slučaj ako država ne bude vlasnik i operater odlagališta)		
5. Financijska pomoć za povećanje kapaciteta usluga i javnih službi zbog povećane potrošnje	200 000	
6. Fond za nadoknadu smanjenja cijena nekretnina (primjenjuje se samo do 2 milje od odlagališta)	500 000	
7. Prioritetno lokalno zapošljavanje i nabava lokalnih dobara i usluga		
Ukupno	1 790 000	7 500 000
Sveukupno	9 290 000	

ziranje lokalnog stanovništva, tj. osnivanje i rad stalnog tijela koje nadgleda sve aktivnosti u vezi s odlagališom, zastupa interese i prava lokalnog stanovništva, provodi javne rasprave i informiranje javnosti. Pozicija ovog tijela vrlo je jaka i ono može pokrenuti postupak prekida izgradnje ili odlaganja. Ovo tijelo zajedno sa zdravstvenim vlastima naručuje i organizira monitoring utjecaja odlagališta na okoliš. Treći paket nema strogu namjenu. Ideja je da se njime ublaže nemjerljivi utjecaji, tj. da se ide i preko mjerljivih utjecaja. Temelji se na plaćanju 1 USD po kubnoj stopi i plus 1 USD po kiriju odloženog RAO, pri čemu ukupna suma ne smije biti veća od 5% bruto-prometa odlagališta. Cifra od 200 000 USD godišnje je procjena. Izvanredno velika važnost četvrtog paketa očita je iz samog naziva paketa. Iznos petog paketa predviđen je na temelju generičke procjene i podložen je korekciji.

Osim kratko prikazanog u studiji [8], provedena je i analiza primjene nadoknade na 10 odlagališta otpada, 5 nuklearki i 5 drugih kontraverznih objekata u SAD. U većini slučajeva novčana pomoć koristi se za uključivanje lokalnog stanovništva u nador i odlučivanje o lociranju gradnji ili radu objekta unajmljivanjem neovisnih eksperata. Također se daju znatna novčana sredstva da se javne usluge i servisi u lokalnoj zajednici bar zadrže na razini zatečenoj prije do-

seljavanja radnika na tim objektima. Česta su plaćanja koja su u vezi s radom objekta, a gotovo svi razmatrani objekti poklonili su neki javni objekt ili slično na korištenje lokalnom stanovništvu.

3.2. Kanada

Primjer naknade iz Kanade odnosi se na nuklearnu elektranu Darlington 4 × 881 MWe koja je u izgradnji od 1981. godine. U ožujku 1977. godine potpisan je ugovor [9] između investitora Ontario Hydro (OH) i lokalne vlasti — gradskog vijeća Town of Newcastle (TN). Nakon nekoliko mjeseci potpisan je sličan ugovor [10] s regionalnom upravom The Regional Municipality of Durham (RD).

Prema ugovoru TN je obvezan da podržava izgradnju i da izda sve suglasnosti, uz uvjet da su svi regulatorni zahtjevi ispunjeni.

OH prihvaća da nadoknadi sve financijske troškove koje TN bude imao zbog naglog prirasta, a poslije završetka izgradnje i smanjenja stanovništva. Bit je ove obveze da OH snosi troškove izgradnje komunalne infrastrukture, servisa, te smještaja, i to prije nego što započne doseljavanje radnika i time omogućiti njihovu integraciju u TN. Troškove (maksimalno 80 000 CND — kanadskih dolara) pripreme i rukovođenje razvojnom strategijom za brzi rast stanovništva snosi također OH, kao i eventualno potrebne studije za procjenu svih efekata promjena koje izgradnja nuklearke donosi. Uvodi se praćenje (monitoring) socijalnog, ekonomskog i financijskog utjecaja izgradnje kako bi se moglo na vrijeme reagirati. Za tu svrhu OH otvara namjenski fond u maksimalnom iznosu 300 000 CND.

Ugovorom je predviđeno da OH plati sve troškove do maksimalno 50 000 CND koje je TN imo prije potpisa ugovora, ocjenjujući studiju utjecaja na okoliš i utjecaja na lokalnu zajednicu. Održavanje i poboljšanja cestovne mreže i mostova u ugovoru posebno su detaljno razrađena i padaju na teret OH.

Ispunjenje obveza OH provodit će se na sljedeći način. Za jedan dio cestovne mreže i mostova te za vodovodnu i kanalizacionu mrežu OH daje posebnu naknadu u iznosu 1 000 000 CND. Taj novac se vodi na posebnom, takozvanom »A računu elektrane«, i OH, koji u roku 60 dana plaća račune ispostavljene od TN za namjenske troškove. Sredstva su ukamaćena i godišnje se pripisuju glavnici (oko 9% godišnje). Ako se glavnica ne potroši, ostatak ne pripada TN, već ostaje OH. Ako ukupna svota nije dovoljna, OH plaća dodatno za sve troškove koje TN dokaže.

Također, na poseban račun, takozvani »B račun elektrane«, OH polaže 1 400 000 CND namijenjenih za plaćanje većine obveza po ugovoru. Sredstva se skidaju kao sa »A« računa i također ukamaćuju. Eventualni neutrošeni ostatak pripada TN, a ako sredstva nisu dovoljna, OH će doplatiti.

Bitno je uočiti da ugovorom nije precizirana ukupna visina naknade. Relativno čvrsto je fiksirana namjena sredstava, te nema nenamjenskih sredstava.

Drugi ugovor između OH, TN i RD [10] vrlo je sličan prvome i na neki način je samo aneks prvog ugovora.

Sklapanje ugovora OH, TN i RD uvjetovano je nadležnošću regionalne uprave RD za neka prava i ovlaštenja koja su prvim ugovorom utanačena. Radi se prvenstveno o regionalnoj nadležnosti na cestama, vodovodu i kanalizaciji. Poseban je interes regije iskazan u ugovoru za zaštitu vodocrpilišta, a također i za rashladni sistem elektrane, za koji i RD i TN mogu očekivati od OH maksimalno 10000 CND za troškove njihovih nezavisnih ekspertiza. Predviđeno ugovorom je i 150000 CND za poboljšanje glavne ceste u regiji koje OH treba platiti RD. Ovaj ugovor ne predstavlja znatnija nova opterećenja za OH je osim nekih iznimaka (glavna regionalna cesta i još neki) sve obveze se pokrivaju iz »A« ili »B« računa elektrane. Na »A« računu stanje početkom 1989. godine bilo je 2520000 CND, a dotada je ukupno isplaćeno 684000 CND (kamate su kroz 12 godina donijele 2204000 CND), dok je na »B« računu stanje bilo 988000 CND, a dotada je ukupno bilo isplaćeno 2232000 CND (kamate su donijele 1820000 CND) [11]. Izvan računa »A« i »B« plaćeno je do ožujka 1989. godine još dodatnih oko 500000 CND, uglavnom za ceste.

3.3. Velika Britanija

Posljednji u nizu pokušaja da se u Velikoj Britaniji izgradi odlagalište uključivao je raspravu i o tome da li i kako lokalnoj zajednici nadoknaditi negativne efekte prihvatanja odlagališta RAO [12]. Odgovori iz rasprave bili su vrlo različiti, pa čak i dijametralno suprotni [13]. Jedni su savjetovali »kratko udvaranje i veliki miraz«, a drugi jednostavno nisu vjerovali u istinitost nastojanja da se osigura korist. Nadoknada su smatrali nastojanjem da se stanovništvo podmiti. »Bilo što se osigura za lokalni razvoj i napredak osuđeno je na propast jer će to biti smatrano trojanskim konjem«, jedan je od karakterističnih komentara. Neki odgovori bili su konstruktivniji:

- puna naknada za smanjenje vrijednosti imovine unutar nekoliko milja od odlagališta
- oslobađanje od lokalnih taksi i poreza, te lokalno smanjenje cijene električne energije
- pomoć lokalnim dobrotvornim i sličnim organizacijama, te financiranje lokalnih kreditnih i skrbničkih zaklada
- financiranje lokalnih komunalnih i projekata zaštite i očuvanja okoliša
- povećanje lokalnih mogućnosti za zapošljavanje
- otvaranje tečajeva za tehničare, službenike i druge struke potrebne na odlagališta
- povećanje cijene odlaganja za neki postotak i subvencioniranje cijene komunalnih usluga u okolici odlagališta prikupljenim sredstvima.

Posebno je zanimljivo upozorenje da dugotrajno preliminarno istraživanje alternativne potencijalne lokacije može također negativno djelovati na lokalnu ekonomiju i stabilnost zajedničkog života. ovdje se misli prije svega na one alternativne lokacije koje ne budu izabrane, pa time neće ni biti u poziciji da dobi-ju znatniju naknadu u izgradnji i radu odlagališta. U javnoj raspravi bilo je spomenuto da će u izgradnji biti nekoliko stotina zaposlenih, a u radu odlagališta

oko 100. Taj detalj nije ostao bez komentara u odgovorima: »U drugim okolnostima takva zaposlenost bila bi dobrodošla.« Drugi su smatrali da dugoročno zaposlenje stotinjak ljudi neće bitno promijeniti sliku nezaposlenosti, ali će otjerati moguće investicije i time smanjiti šansu za razvoj. Nasuprot tome većina privatnih tvrtki mogućnost zaposlenja smatra vrlo bitnim pozitivnim efektom.

Primjena savjeta primljenih u odgovorima nije bila velika uglavnom zbog razvoja događaja. Naime, lista koja je na početku obuhvaćala 500 potencijalnih lokacija prvo je sužena na 39, a onda su odabrane dvije za detaljna terenska istraživanja [14]. Za nikoga nije bilo veliko iznenađenje što su te dvije lokacije pale baš na teren u neposrednoj blizini i u vlasništvu postojećih nuklearnih pogona Sallefilda i Dounreaya.

3.4. Njemačka

Iz bogatog iskustva u lociranju kontroverznih objekata u Njemačkoj može se lako izdvojiti niz vrlo zanimljivih i karakterističnih uspješnih i neuspješnih primjera. Bitna karakteristika većine tih pokušaja jest ustrajnost, tj. upornost, pa su rasprave i odlučivanja trajala godine i godine. Ponekad je ta upornost bila presudna jer je omogućila da se investitor u toku vremena dokaže kao »dobar susjed«, tj. da neke od naknada ne samo obećava nego da ih u toku vremena i realizira.

Rasprave o izgradnji zapadne piste aerodroma u Frankfurtu trajale su 24 godine, od čega 21 godina na sudu [15]. Glavni i najaktivniji protivnici izgradnje nisu bili iz okolice nego su dolazili iz svih krajeva Njemačke. Zbog toga nadoknade nisu bile značajne. Deset godina rasprava i suđenja trebalo je Mercedes-Benzu da izgradi cestu za testiranje [15]. Glavni protivnici i opet nisu bili iz lokalne zajednice, gdje je nezaposlenost velik problem. Zbog toga je lokalno i bilo malo protivnika.

Za odlaganje niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada u Njemačkoj se priprema napušteni rudnik Konrad [16]. Kada se 1975. prestala vaditi željezna ruda, neki predstavnici rudara samoinicijativno su pozvali federalne vlasti da počnu istraživati mogućnost odlaganja RAO u tom dijelu Njemačke. Nezaposlenost je u tom dijelu ozbiljan problem, a interes za posao koji mogu obavljati bivši rudari je velik. Suradnja lokalnih vlasti s investitorom usmjerena je na privlačenje druge industrije, što je dodatni faktor u prilog prihvatanju.

Lokacija Gorleben predviđena je za odlaganje visokoaktivnog otpada. Lokalno stanovništvo nije velik protivnik, a »došljaci« su i opet glavni demonstranti, i to uglavnom vikendom. Početkom 1980. godine istraživanje javnog mišljenja pokazalo je da je 75% stanovništva za izgradnju odlagališta [15]. Najveći doprinos promjeni mišljenja javnosti pripisuje se poboljšanjima zajedničkih uvjeta života lokalnog stanovništva koje je kroz silne godine investitor proveo u području lokacije. Formalno, za svoje na istraživanju zaposlene radnike, kao i za one kad odlagalište proradi investitor je izgradio (poboljšao) ceste, ško-

le, višenamjenske dvorane i bazene [15]. Istovremeno 80–90% poslova obavljaju lokalno stanovništvo ili lokalne tvrtke. Tijekom godina takve promjene u, za njemačke prilike, siromašnom i ruralnom kraju nisu ostale nezamijećene.

3.5. Francuska

Francuska je zemlja koja se, u ovoj problematici ne smije zaobići. Međutim, nasuprot osjećaju da bi se u pogledu nadoknada od francuskog iskustva moglo puno naučiti jest činjenica da prihvaćanje nuklearnih objekata u toj zemlji nije neki veliki i spektakularni problem. Zbog toga o nadoknadi nije puno pisano, pa se raspolaže s malo konkretnih podataka. Prvo francusko odlagalište La Manche, osnovano 1969. godine, gotovo je popunjeno. U izgradnji je drugo odlagalište Soulines u regiji Aube s kapacitetom milijun m³ na oko 100 ha terena. Očekuje se da će za 30 godina primati RAO približno 30000 m³ godišnje [14]. Lokacija je izabrana 1985. godine, izgradnja je počela 1987. godine, a početak rada, je predviđen 1991. godine. Za većinu zemalja neshvatljiva je lakoća i brzina razvoja projekta.

Prije izbora lokacije Soulines, ANDRA — vladina agencija za RAO — iskušala je volontaristički pristup, tj. pokušala je pribaviti lokaciju na osnovi dobrovoljnih ponuda [15]. Na osnovi poznate geologije u tri francuske regije ANDRA je uputila lokalnim vlastima poziv za dobrovoljno kandidiranje da se na njihovu terenu istraži mogućnost odlaganja RAO. Odgovor je bio vrlo velik. Od velikog broja kandidiranih u 1984. godini izabrano je 15 lokacija za istraživanja. Međutim, od tako uspješnog početka kraj je bio potpuno suprotan. Prema javnosti prezentiranom saopćenju ANDRA-e, sve popuđene lokacije su zbog tehničkih razloga (prirodnih nepovoljnih karakteristika) bile napuštene [15]. Međutim, čini se da je otpor lokalnog stanovništva bio presudan.

Po jednim ANDRA previše je inzistirala na ekonomskim beneficijama lokalnoj zajednici, tj. na nadoknada. Pregovaralo se gotovo isključivo u za javnost zatvorenim kontaktima s lokalnim političarima, pa je to stvorilo osjećaj da su političari odlučili da kandidiraju lokalnu zajednicu zbog mita. Takav dojam više nije bilo moguće nikako ispraviti ili promijeniti. Drugi smatraju da je davanje nadoknada za izgradnju velikih vladinih objekata uobičajena praksa koja u Francuskoj obično nije sumnjiva. Međutim, preveliko inzistiranje na beneficijama bez takta i osjećaja mjere, slično agresivnom reklamiranju za vrijeme rasprodaja, izazvalo je kontraefekt — otpor prihvaćanju. Za lokalni otpor smatra se bitnim i to što su ponude bile općenite, a ne za pojedine lokalne zajednice specifične, tj. razrađene prema njihovim interesima [15].

Bez obzira na stvaran uzrok neuspjeha, već sljedeće 1985. godine ANDRA je primijenila ekstremno drugačiji pristup. Izabrana je lokacija Soulaines u ruralnom dijelu Francuske oko 200 km istočno od Pariza. Lokalnoj zajednici ANDRA dala je nadoknadu, i to u obliku paušalnog iznosa od 30 mln FF (5 mln USD)

te garantirala redovni godišnji prihod više od 1,5 mln FF (250000 USD). Mnogi smatraju da su presudnija od novca bila obećanja i nadanja u zaposlenje na izgradnji i radu odlagališta.

Zanimljiv je i primjer planiranja proširenja kapaciteta i dosad velikog kompleksa za reprocesing isluženog nuklearnog goriva (Centre de la Manche). Svi su uvjereni da ozbiljnijeg protivljenja lokalnog stanovništva neće biti. Razlog je da je taj kompleks već izazvao ekonomski boom regije, siromašnog isključivo poljoprivrednog područja. Osim dobrog zaposlenja, nuklearni kompleks (uključujući i odlagalište RAO La Mache) stvorio je u lokalnog stanovništva osjećaj mogućnosti upravljanja vlastitom sudbinom jer lokalna vlast kroz pregovore s nuklearnim kompleksom je riješila ceste, škole i druge bitne elemente društvenog standarda.

3.6. Japan

Iako detaljniji podaci za Japan u pogledu nadoknada nisu bili raspoloživi, ipak je važno spomenuti da takva praksa postoji. Da bi se olakšalo lociranje elektrana, propisan je namet na prodajnu cijenu struje. Visina toga nameta iznosi oko 1 do 2% od proizvodne cijene električne energije. U fiskalnoj godini 1986. tako je nastao fond od 100 mlrd jena (oko 700 mln USD) [17]. Namjena je ovog fonda dijelom da potakne regionalnu — lokalnu proizvodnju energije, a dijelom da pomogne razvoj lokalne zajednice koje će prihvatiti lokaciju neke elektrane.

4. ANALIZA NAŠIH PRIMJERA

Izrazitih domaćih primjera i iskustava u primjeni nadoknade pri lociranju kontroverznih objekata nema, kao ni jasnih zakonskih odredbi o obvezi davanja nadoknade. Pažljiviji pregled ipak otkriva neke slične odredbe i praksu te rezultate studiranja ovog problema i rezultate anketiranja stanovnika Hrvatske poučne za cilj ovog rada.

4.1. Analiza dosadašnjih iskustava

U Republici Hrvatskoj je od kraja 1990. g. na snazi odluka o visini nadoknade općinama za prostore kojima se koriste elektrane [18]. Općine nadoknadu »mogu koristiti za zaštitu okoliša ili svoj razvoj«, o čemu su dužne voditi »posebnu evidenciju«. Tom su odlukom obuhvaćena tri tipa davanja uobičajena u svjetskoj praksi: pristojba za korištenje prostora (zemljarina), zatim davanja temeljena na općeprihvaćenim načelu »onečišćavač plaća« (ekološki porez), te nadoknada u smislu kako se u ovom radu shvaća, a namijenjena je lokalnoj zajednici. Taksa za korištenje prostora već je regulirana za sve korisnike, a Prijednog zakona o zaštiti okoliša [19] predviđa: »Onečišćivači i korisnici dobara okoliša dužni su plaćati stalan doprinos za očuvanje i unapređenje okoliša«, i to »u vidu namjenskih poreza«. Time dolazi ili će doći do reguliranja jedne te iste obveze s više propisa, što nije uređen sustav, koji uvijek vodi u nezadovolj-

stva i sporove (prevelika ili premala davanja). Treći tip davanja — nadoknada lokalnoj zajednici — zamaskiran je prethodnim dvama i nije eksplicitno spomenut niti obrazložen, pa ne služi svrsi. Takva su davanja uglavnom kontraproduktivna, jer izazivaju više nezadovoljstva nego što rješavaju postojeće probleme. Ako tome dodamo da novac završava u općinskoj kasi i da vrhovništvo općine njime raspolaže, razloga za nezadovoljstvo stanovništva uz elektranu koje trpi sve negativne efekte više je nego bez te nadoknade. Konkretni primjer nepromišljeno usmjerene nadoknade su »odštetna« (?) davanja iz 1976. godine za akumulaciju Buško blato. Općina je novce trošila za pogrešan razvoj, tj. uglavnom za saniranje lokalnih privrednih gubitaka, a stanovništvo uz akumulaciju još uvijek protestira, demonstrira i nakon 15 godina provaljuje u općinske prostorije tražeći pravdu, sa spoznajom da su ih investitor i općinari izigrali, tj. prevarili. Taj primjer i mnogo sličnih te neodgovarajuća odluka o visini naknade (18) nimalo ne obećava ubuduće lakše prihvaćanje lociranja hidroelektrana, a termoelektrane ili nuklearke ne treba ni spominjati.

Nejasno definirana namjena nadoknade otežava pravednu raspodjelu, pa je već nastao spor između dvije susjedne općine. Taj spor ujedno je i ozbiljno upozorenje na važan problem — raspodjelu nadoknade po administrativnim jedinicama lokalne uprave.

Sumirajući prethodno, može se zaključiti da, iako se radi o značajnim iznosima (oko 13 mln USD godišnje), zbog neprecizno određene svrhe i namjene i zbog nepostojanja pažljivo sročene obrazloženja taj novac može biti i prepreka daljnjem razvitku elektroprivrede. Za potrebu ovog rada to je vrlo lijep i poučan negativan primjer koji upozorava.

Drugi zanimljiv primjer jest nadoknada za korištenje zemljišta koju plaća NE Krško. Pravna osnova za ovu dodatnu zemljarinu jest posebna odluka općine Krško [20], a primjenjuje se samo za poduzeća koja se koriste radioaktivnim materijalom. Tako NE Krško plaća dodatnu zemljarinu 15 puta veću od standardne, i to za cjelokupno izgrađeno i neizgrađeno zemljište oko 22 ha. Ta nadoknada dogovorena je i uvedena 1988. godine kao uvjet za izdavanje nove lokacijske dozvole. Kako o utvrđivanju dodatne zemljarine nema dokumenta, po interpretaciji predstavnika NE Krško te slovenske i hrvatske elektroprivrede oni su nova davanja »razumjeli kao jedan oblik 'rente' koju plaćaju da se osiguraju uvjeti za rad NE Krško u približno jednakim godišnjim iznosima prema čvrstoj valuti« [21]. U 1988. i 1989. godini iznos nadoknade bio je oko 3,5 mln USD u dinarima po tekućem tečaju. Međutim u 1990. godini, primjenom odluke [20], nadoknada je utvrđena u dinarskoj protuvrijednosti od 8,2 mln USD, a za 1991. godinu u dinarskoj protuvrijednosti od 11,4 mln USD, tj. rasla je po godišnjoj stopi od otprilike 100%.

Vlasnici NE Krško ne prihvaćaju takav rast nadoknade, te je zatražena pomoć Izvršnog vijeća Skupštine Republike Slovenije. Očekuje se da će sredinom 1991. godine odredbama novog slovenskog zakona o prostornom uređenju i korištenju prostora biti ek-

splicite propisana nadoknada. Time će i spor o visini nadoknade između općine Krško i NE Krško biti riješen.

Važno je je uočiti da je ovo još jedan domaći primjer gdje se nadoknada ne naziva pravim imenom i gdje se zbog toga improvizira. Zbog toga se pojavljuju, istina nešto stidljivije, i drugi problemi, u prvom redu u vezi s udaljenosti do koje se nadoknada daje (da li ona baš koincidira sa općinskim granicama?) te problemi raspodjele nadoknade unutar općine Krško. To posljednje je posebno zanimljivo kada se ima na umu da su nadoknade i ostala davanja NE Krško potrošena za uređenje srednjega gradskog trga, komunalne infrastrukture, za izgradnju zgrade uprave za unutrašnje poslove, autobusnog kolodvora, automatske telefonske centrale, uređaja za primanje kabelske televizije, te za druge uglavnom općekorisne zahvate. Nezadovoljstva ipak upućuju na neravnomjernu raspodjelu, odnosno na određeno usmjerenu ili dirigiranu raspodjelu.

Analiza utjecaja izgradnje i rada NE Krško na okolinu društvenu zajednicu mogla bi dati interesantne i vrlo korisne sociološke nalaze. Indikativna je, međutim, jasno izražena nespремnost da se takva analiza financira od republičkih, općinskih i elektroprivrednih čimbenika iz Slovenije, pa čak i iz NE Krško i Hrvatske elektroprivrede. Takva analiza mogla bi ukazati kolik je ukupan doprinos NE Krško lokalnom razvoju koji dolazi od direktnih davanja, ali i od indirektnih utjecaja NE Krško na lokalno gospodarstvo. Samo na takvim podlogama mogla bi se pravedno, tj. argumentirano utvrditi visina nadoknade u obliku direktnih novčanih davanja koja lokalnoj sredini pripadaju dodatno na idnirektne prihode — poticaje njezina razvoja.

4.2. Stavovi javnosti o nadoknadi

Kao dio kompleksnog posla određivanja lokacija elektroenergetskih objekata u Republici Hrvatskoj provedeno je istraživanje javnog mnijenja. Ono je obuhvatilo i ocjenu koristi i štete od takvih objekata. Rezultati [22] upućuju da 41,8% ispitanika smatra da izgradnja nekog energetskeg postrojenja donosi široj zajednici korist, ali ne i lokalnoj zajednici. Pitani o osobnoj koristi ispitanici su bili jasni da takvu korist ne očekuju (tablica 2).

Pitani da ocijene utjecaj odlagališta RAO na razvoj pojedinih djelatnosti i izazvane posljedice 75% ispitanika smatraju da će pasti vrijednost zemljišta, a samo 19% smatra da odlagalište znatno utječe na poboljšanje životnog standarda (tablica 3).

Od ispitanika se tražilo da odgovore da li bi prihvatili izgradnju nekog elektroenergetskog postrojenja ako bi za to dobili novčanu naknadu. Odlagalište RAO bi uz taj uvjet prihvatilo svega 3,7%, a 86,4% ne bi (78,8% zastupa ekstremni stav odbijanja).

Oko 74% ispitanika smatra da bi stanovništvo u okolini nekog postojećeg odlagališta RAO trebalo dobiti neke povlastice kao naknadu za moguću opasnost.

Za ovaj rad bitno je uočiti da, pošto javnost ne vjeruje u bilo kakvu korist od prihvaćanja odlagališta

Tablica 2. Procjene osobnih koristi od eventualne izgradnje odlagališta RAO

	Slazem se	Ne slazem se
1. Povećat će se ulaganja u infrastrukturu	48.6%	22%
2. Nabolje će se promijeniti način života	22.3%	44.5%
3. Povećat će se moj osobni standard života	18%	52.3%
4. Moći ću promijeniti svoj posao	15.8%	55.1%
5. Izgradnja će pozitivno utjecati na moj posao	14%	60.7%
6. Moj posao u turizmu će napredovati	9.5%	64.2%
7. Ostvarit ću znatnu materijalnu dobit od prodaje nekretnina	8.4%	67%
8. Moj posao u poljoprivredi će uznapredovati	7.1%	65%

Tablica 3. Ocjena utjecaja odlagališta RAO na razvoj i posljedice

Posljedice	Ispitanici koji utjecaj odlagališta RAO ocjenjuju »velikim«
1. Zdravstvene posljedice	79.9%
2. Smanjenje vrijednosti zemljišta	75.2%
3. Manja sloboda kretanja stanovništva	67.2%
4. Smanjenje broja stanovnika	66.5%
5. Otvaranje novih radnih mjesta	27.9%
6. Brži razvoj kraja	22.7%
7. Viši standard za stanovništvo	19.4%

RAO, nadoknada se mora zakonom propisati (garantirati). S time se mora javnost upoznati prije bilo kakvih kontakata sa stanovništvom u okolici potencijalne lokacije, i to po mogućnosti putem osmišljenoga programa medijske prezentacije.

4.3. Studija oblika i visine naknade za odlagalište RAO

Studija gornjeg naslova [23] dovršena potkraj 1990. godine trebala je prezentirati model mogućih oblika nadoknade s teritorijalnim i funkcionalnim dosegom takvih davanja. Preliminarna verzija ovoga rada u ci-

jelosti je korištena — inkorporirana u toj studiji. Dovođenje ovog rada nakon završetka studije omogućilo je da se u njemu iznesu spoznaje stečene u radu i verificiranju studije te neka nova saznanja. Također i da se izraze shvaćanja dijelom i suprotna stavovima autora studije.

Studijom se predlaže da lokalne zajednice do 2 km od udaljenosti od odlagališta trebaju dobiti npr. 45% od ukupne nadoknade, one na udaljenostima od 2 do 5 km daljnjih npr. 30% a preostalih 25% ostalo stanovništvo sa područja šire zajednice (npr. općine). Maksimalan doseg do kojega se može postavljati zahtjev za nadoknadom je 20 km.

Na temelju analize iskustva drugih 20 km je znatno prevelik radijus koji bi trebalo smanjiti na 5 km i time postići pravedniju raspodjelu nadoknade.

Visina nadoknade predložena u studiji prikazana je u tablici 4.

Budući da je u studiji visina nadoknade predložena na temelju visine nadoknade za NE Krško u 1988. i 1989. godini (oko 3,5 mln USD), tj. bez oslanjanja na svjetska iskustva i imajući na umu da je nadoknada za NE Krško znatno veća nego nadoknade za neke druge nuklearke u svijetu [8], te imajući na umu rezerve koje su u ovom radu na nadoknadu NE Krško već iznesene, predložena je prevelika nadoknada. To je očito i ako se sumiraju nadoknade za cijeli radni vijek odlagališta jer kumulativno iznose 168% od investicije.

Pitanje je da li se nadoknada treba davati i pojedincima direktno kako se to u studiji predlaže. Međutim, posebno je problematična jedna od zaključnih rečenica u studiji koja glasi: »Visina i oblik nadoknade ne može se regulirati propisima, već je to rezultat pregovora između Investitora i lokalne zajednice koji je za svaku konkretnu lokaciju specifičan i različit«. Usvajanje ovog prijedloga znači da bi o nadoknadi počeli razgovor (pogađanja?) onda kada se uspostavi pregovarački kontakt sa lokalnim stanovništvom, a ne da ona otvori mogućnost pregovaranja, što se čini najvažnijim korakom uopće. Ako se prihvati pogađanje, javlja se problem javnosti tog procesa, legitimnosti i ovlaštenja pregovarača, te sumnja u povoljnost konačnog rezultata (iznosa). Nadoknada mora biti unaprijed utvrđena i nepodložna cjenkanju, jer se time iskazuje njezina utemeljenost i pravednost, a izbjegava dosadašnja praksa odlučivanja moćnika daleko od uvida i kontrole javnosti.

Tablica 4. Prijedlog visine nadoknade za odlagalište RAO

Vrste nadoknade	Iznos naknade			
	u tisućama		u % od vrijednosti	
	Din	USD	odlagališta RAO (25 mln USD)	god. proizv. NE Krško (188 mln USD)
Jednokratna naknada	30000	2500	10	1,3
Godišnja naknada za vrijeme istražnih radova i javne rasprave do dobivanja građ. dozvole (oko 3 godine)	2400(×3)	200(×3)	0,8	0,11
Godišnja naknada od dobivanja građ. dozvole do zatvaranja odlagališta (oko 2 g. izgradnje i 50 g. rada)	9000(×52)	750(×52)	3,0	0,4
Ukupno	505200	42100	168%	22%

5. ZAKLJUČAK

Da bi se olakšalo prihvaćanje lociranja odlagališta RAO, nužno je predvidjeti nadoknadu stanovništvu u okolici (do 5 km) lokacije za sve negativne utjecaje i posljedice koji će od tog lociranja trpjeti.

Nadoknada mora biti javno i jasno proklamirana, tj. ne smije biti nikakvih dilema u pogledu njene utemeljenosti i opravdanosti. Najbitnija komponenta nadoknade moraju biti direktna i novčana davanja, koja se trebaju sastojati od jednokratnog davanja kod prihvaćanja lokacije (npr. 2,5 mln USD), te od godišnjih davanja nešto viših u vrijeme pripreme izgradnje i izgradnje (npr. 350 000 USD) i nešto nižih u radnom vijeku odlagališta (npr. 200 000 USD).

Namjena novčane nadoknade jest unapređenje kvalitete života lokalnog stanovništva, ali ne smije biti striktno određena. Izuzetak je da jednim dijelom mora služiti za plaćanje nezavisnih ekspertiza za vrijeme izgradnje i rada odlagališta u svrhu pružanja vjerodostojnih podataka o sigurnosti i utjecaju objekata na okoliš.

Iznos nadoknade mora biti fiksni i ne smije biti podložan cjenkanju. Treba biti obznanjen prije nego što se utvrde — izaberu potencijalne lokacije. Nužna je odgovarajuća medijska promocija nadoknade. Najvažnije od svega je čvrsta, po mogućnosti zakonska garancija da za prihvaćanje lokacije pripada nadoknada. Time se postiže za lokalno stanovništvo poželjna ravnopravna startna pozicija prema investitoru. Tako je nadoknada nešto što društvo (država) ocjenjuje potrebnim i poštenim, a nije mito o čijem davanju i/ili visini odlučuju moćnici iz investitorovog tima. Najbolje rješenje za sadašnju situaciju u Hrvatskoj je da novi Zakon o otpadu, koji je u pripremi, propiše nadoknadu načelno, a da prije obznanjivanja potencijalnih lokacija Javno poduzeće za zbrinjavanje RAO koje je u osnivanju utvrdi konkretan iznos i vrstu nadoknade. Svrha je ovog rada da zajedno s drugim podlogama olakša konkretno određivanje nadoknade i njezinu primjenu.

LITERATURA

- [1] DAMIR SUBAŠIĆ, »Uloga i značaj nadoknade u lociranju kontraverznih objekata«, *Energija* 39, 1990, No 5, 355-360.
- [2] MICHAEL BLACKER, »Waste Management 89«, *Nuclear News*, April 1989.
- [3] The Illinois Low-Level Radioactive Waste Management Act, Revised-September 1989, Chicago Senate-Assembly, Chicago, Il., USA.
- [4] Guidelines for Award of Grants to Units of Local Government, Central Midwest Compact Commission for Low-Level Radioactive Waste Management, Adopted 21st May, 1988, Springfield, Il., USA.
- [5] TERRY R. LACH, DALE HUFFINGTON, »Progress in Siting a New Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility in Illinois«, *Waste Management 88 Conference*, 1988, Tucson, USA.
- [6] THOMAS A. KERR, »Achieving Local Support for Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility in Illinois«, *Waste Management 89 Conference*, 1989, Tucson, USA.
- [7] Low-Level Waste Management Act, New York Senate-Assembly, 1986, Albany, New York State, USA.
- [8] Recommendations for State Assistance to Localities Affected by the Siting of a Low-Level Radioactive Waste Management Facility, New York State Department of Environmental Conservation, April 1987, Albany, New York State, USA.
- [9] Ontario Hydro and the Corporation of the Town of Newcastle, Agreement, 22nd March, 1977.
- [10] Ontario Hydro and the Corporation of the Town Newcastle and The Regional Municipality of Durham, Agreement, 8th August, 1977.
- [11] Darlington GS A, Town of Newcastle, Region of Durham, Community Impact Fund-Period Ending: March 29, 1989, File: NK38-11800P.
- [12] The Way Forward-A Discussion Document, United Kingdom NIREX Limited, November 1987.
- [13] Responses to The Way Forward, Environmental Risk Assessment Unit, School of Environmental Science, University of East Anglia, Norwich, November 1988.
- [14] SIMON REPPON, »The Quest for Disposal Site in Europe«, *Nuclear News*, February 1990.
- [15] KATHRYN VISOCKI, »Incentives, Compensation and Other Trick: Will They Help in Establishing New Waste Disposal Site?«, *Waste Management 87 Conference*, 1987, Tucson, USA.
- [16] CARTEN SALANDER, »Radioactive Waste Disposal in the Federal Republic of Germany«, *Nuclear News*, February 1990.
- [17] International Energy Agency — OECD, Energy, Policies and Programmes of IEA Countries — 1988 Review, p. 328, Paris, 1989.
- [18] Odluka o visini naknade općinama za korištenje prostora kojega koriste objekti za proizvodnju električne energije na njenom području, *Narodne novine broj 50*, Zagreb, 1990.
- [19] Prijedlog za donošenje zakona o zaštiti okoliša, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva Republike Hrvatske, Zagreb, veljača 1991.
- [20] Odlok o spremembi in dopolnitvi odloka o nadomestili za uporabu stavbnih zemljišč v občini Krško, *Uradni list R. Slovenije*, št. 17, Ljubljana, 1987.
- [21] Izvještaj o nadoknadi za upotrebu zemljišta na lokaciji NE Krško, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb, 5. ožujak 1991.
- [22] Stavovi javnosti spram energetske pitanja i objekata, Urbanistički institut Hrvatske u suradnji sa Filozofskim fakultetom Zagreb, OOUR Humanističke i društvene znanosti — Zavod za sociologiju, Zagreb, lipanj 1989.
- [23] Studija o oblicima i visini naknade društveno političkim zajednicama i pojedincima vezanim za lokaciju trajnog odlagališta srednje i nisko radioaktivnog otpada, Elektroprojekt, Poduzeće za inženjering p. o. Zagreb, lipanj 1990.

HOW MUCH COMPENSATION FOR THE ACCEPTANCE OF RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITES

Bearing in mind that compensation has proved to be an important element in the acceptance of controversial facilities, relevant examples are analyzed in order to propose the type and amount of compensation, which should be applied in Croatia concerning the selection and definition of low and medium radioactive waste disposal sites.

HOEHE DER ENTLOHNUNG FUER DIE ANNAHME DER RADIOAKTIVEN DEPONIE

Die Entlohnung jedes kontroversen Objektes ist bekanntlich ein wichtiges Element. In der Arbeit analysiert man relevante Beispiele um festzustellen was für eine Entlohnung man für Kroatien bei der Auswahl und Bestimmung der Lokation der Deponie für niedrige und mittlere Radioaktivität anwenden sollte.

КАКОВО ВОЗМЕЩЕНИЕ ЗА ПРИНЯТИЕ ОТВАЛА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Принимая во внимание, что возмещение за принятие размещения любого спорного предмета, как доказано, является важной основой, в работе анализируются важные примеры с целью предложения размера и вида возмещения в Хорватии при выборе и определения размещения отвалов отходов низкой и средней радиоактивности.

Naslov pisca:

Mr. Damir Subašić, dipl. inž.
Ministarstvo energetike i
industrije
Republike Hrvatske
41000 Zagreb, Iblerov trg 9,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1991-04-11

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

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

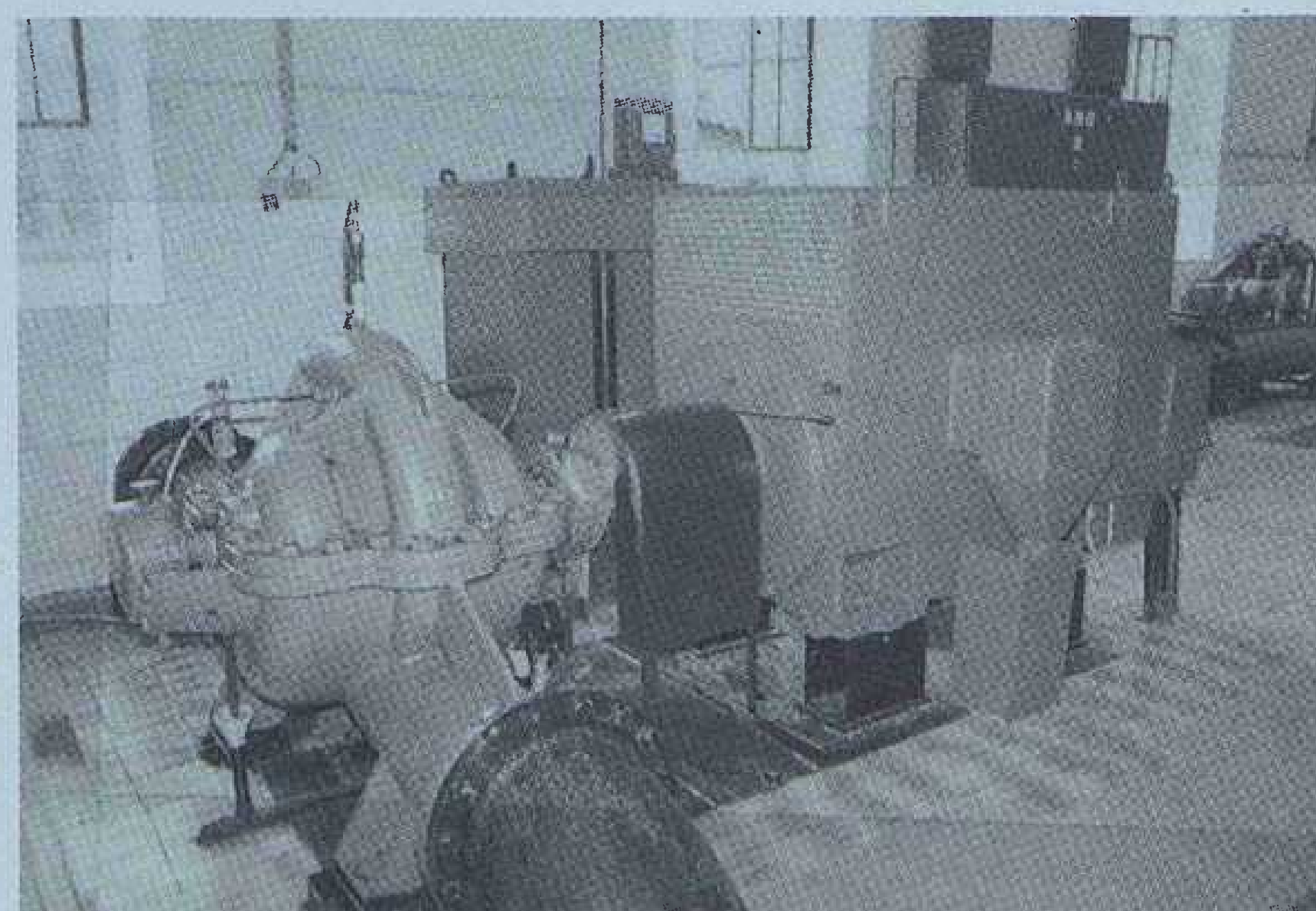
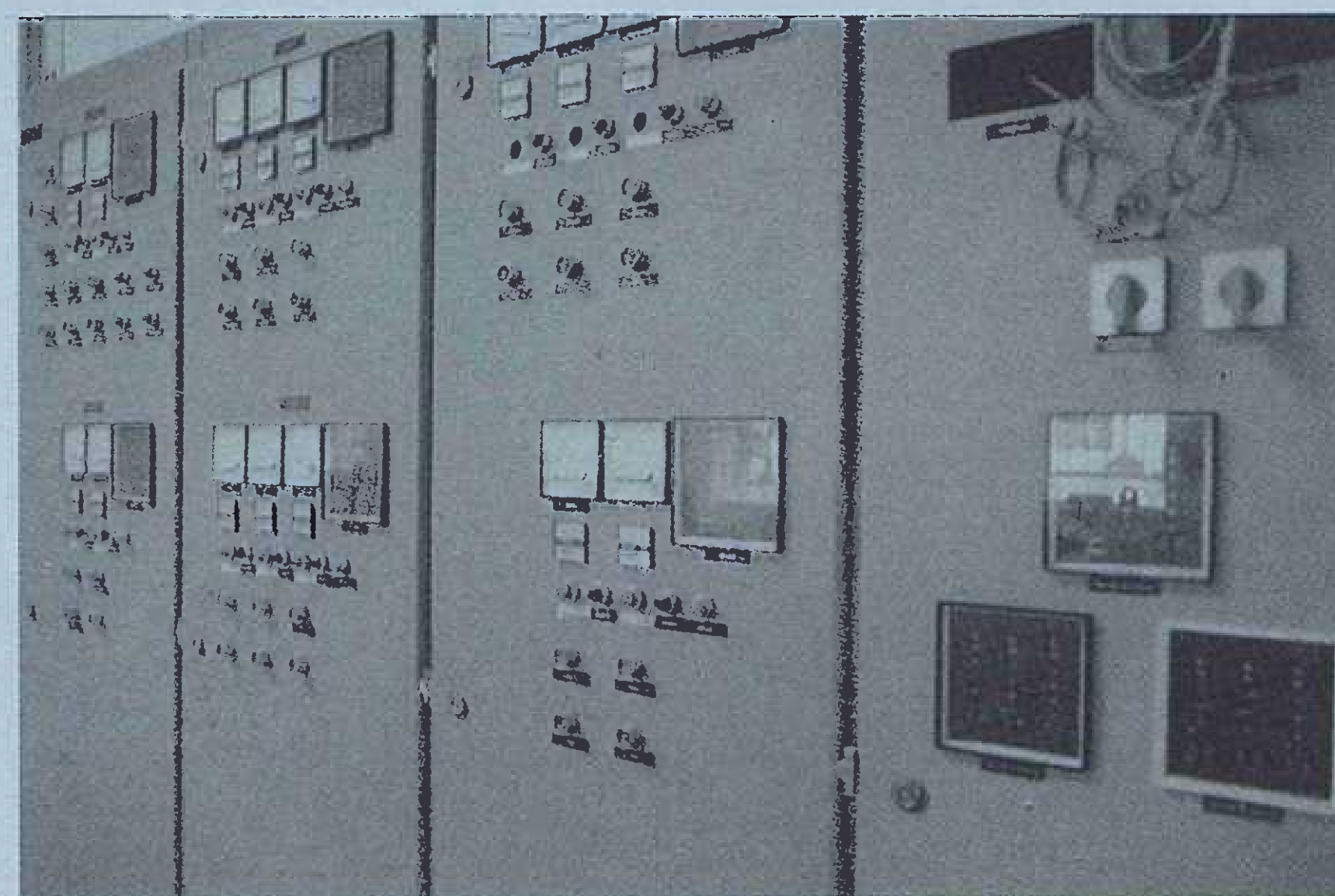
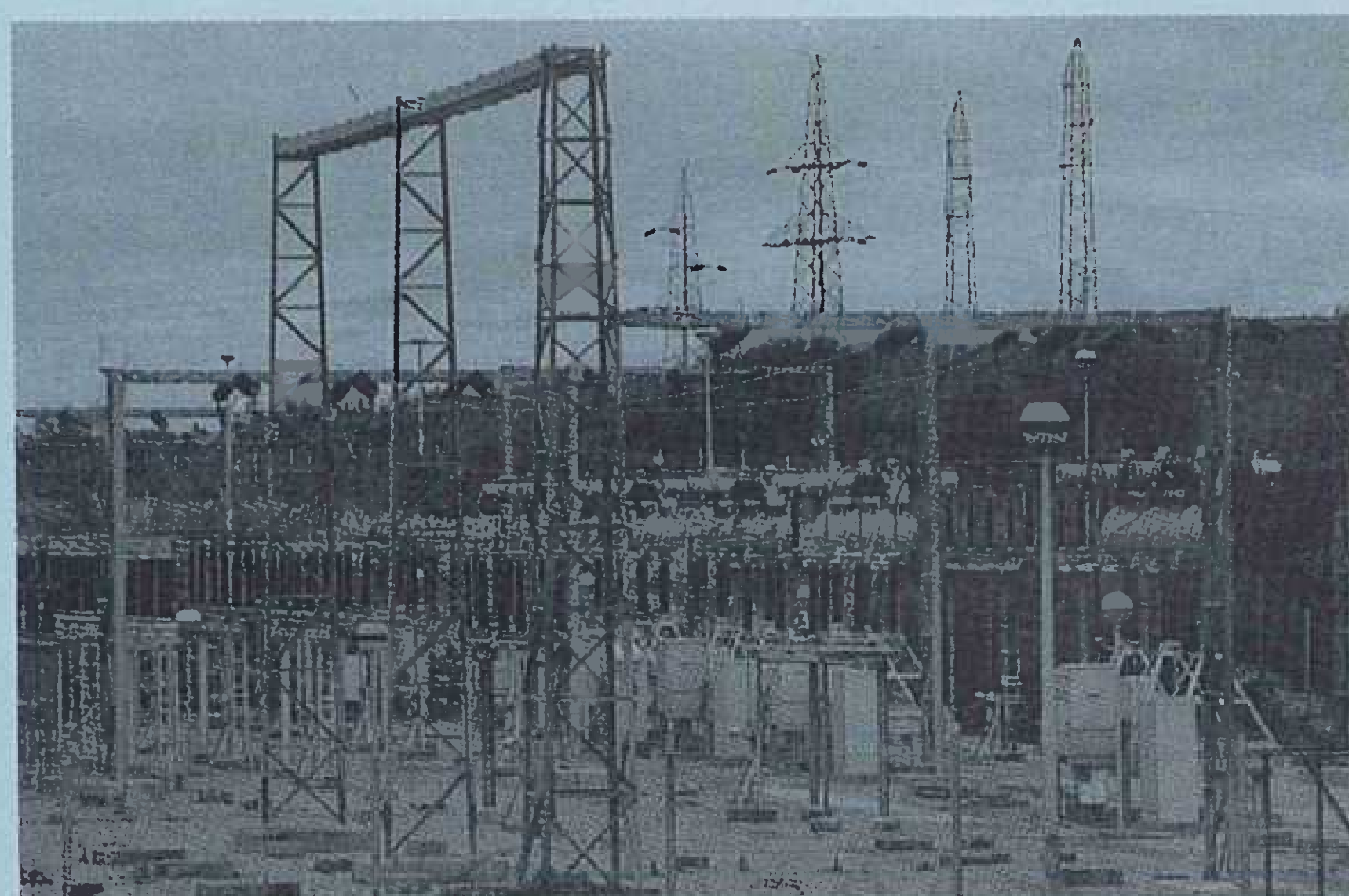
Tel: 057/24-440
057/24-844
27-236

Obavljajući djelatnost prometa roba i usluga u trgovini 117-tom granom »Elektromaterijal« opskrbljuje slijedeće najznačajnije potrošače: Elektroprivredu, brodograđevnu i ostalu industriju, građevinska, montažerska, PTT i ostala poduzeća i korisnike, kao i trgovinu na malo.

Organizirani smo u tri sektora, u okviru kojih su specijalizirane poslovnice.

Izvan sjedišta poduzeća posluju tri vanjske radne jedinice sa skladištima, komercijalnim i ostalim pratećim službama i to u: Zagrebu, Zadru i Podravskoj Slatini te razgranatom putničko-predstavničkom mrežom po cijeloj zemlji.

Imajući u vidu bogatstvo asortimana, dnevno prisutnog na našim skladištima, veliko iskustvo u obavljanju ove značajne funkcije u društvenoj reprodukciji, kao i solidnost u dosad povjerenim poslovima, želja nam je da i ubuduće uživamo Vaše povjerenje.



PROPUSNOST JUGOSLAVENSKE SUPERPONIRANE MREŽE U TEKUĆEM SREDNJOROČJU

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.316.1
PREGLEDNI RAD

Razmatra se prijenosna mreža 400 kV i 220 kV u razdoblju 1990–1995 godina s ciljem utvrđivanja prijenosnog kapaciteta i tranzitnih mogućnosti. Daje se prijedlog pojačavanja mreže, i drugi relevantni zaključci.

Ključne riječi: superponirana mreža, prijenosni kapacitet, kompenzacija.

Jugoslavenska superponirana mreža napona 400 kV i 220 kV promatra se u razdoblju 1990–1995. u uvjetima maksimalne potrošnje iz aspekta potrebnih pojačavanja po kriterijima ispada jedne grane, kao i ispada jedne grane uz neraspoloživost najvećeg izvora u deficitarnom području. U studiji razvoja mreže, čija je izrada u toku¹, istraživanje posljedica takvog dvstrukog događaja može se interpretirati kao simulacija povećanih tranzita mogućih u »normalnom pogonu« (sve grane mreže u pogonu, izvori angažirani prema predviđenoj bilanci), i u ovom izlaganju želimo upoznati s najmarkantnijim rezultatima interesantnim za neposrednu budućnost.

1. MAKSIMALNA POTROŠNJA JUGOSLAVIJE

Započinjajući rad na stadiju prijenosne mreže, trebalo je najprije odrediti razvoj maksimalnog opterećenja. Polazni prijedlog razrađen je preuzimanjem očekivane varijante razvoja ukupne potrošnje Jugoslavije iz [1] i korespondentnog maksimalnog opterećenja prema internim pratećim materijalima:

Tablica 1.

	1990.	1995.	2000.	2010.
TWh	80,0	95,9	115,0	157,0
MW	13000	15443	18366	24666

Dalje su ovi globali, zbog lakše verifikacije i prilagođavanja modelu elektroenergetskog sistema, raščlanjeni po republikama: odbijanjem gubitaka (prepostavljenih 3%) dobivena je očekivana neto-potrošnja Jugoslavije a zatim je zadržavajući direktne potrošače na postignutoj razini potrošnje (opredjeljenjem

¹ »Studija razvoja prijenosne mreže Jugoslavije do 2000. godine s osvrtom na 2010. godinu«, koju zadatkom ZJE zajedno rade zagrebački Institut za elektroprivrdu, beogradski Elektrotehnički institut »Nikola Tesla«, i ljubljanski Elektroinštitut »Milan Vidmar«.

da se neće razvijati intenzivni potrošači električne energije, odnosno da će se eventualni razvoj kompenzirati racionalizacijama i prestrukturiranjem) određena distributivna potrošnja:

Tablica 2.

	MW			
	1990.	1995.	2000.	2010.
Ukupna potrošnja	13 000	15 443	18 366	24 666
Gubici	390	463	551	740
Neto-potrošnja	12 610	14 980	17 815	23 926
Direktni potrošači*	2 195	2 195	2 195	2 195
Distribucija	10 415	12 785	15 620	21 731

* Bosna i Hercegovina 490 MW, Crna Gora 250 MW, Hrvatska 450 MW, Makedonija 330 MW, Slovenija 320 MW, Srbija 90 MW, (Kosovo 120 MW), (Vojvodina 145 MW).

Za raspodjelu ovog rezultirajućeg totala distributivne potrošnje Jugoslavije po republikama analizirani su — preko energija — njihovi udjeli u sumi Jugoslavije u razdoblju 1968–1989. (dis), kao i udio ukupnih potrošnji (uk), te omjeri distributivne i neto-potrošnje za svaku republiku (dis/neto); promatrano je (a) cijelo razdoblje i (b) posebno posljednje desetljeće 1981–1989.

Tablica 3.

	%					
	(dis/neto)		(dis)		(uk)	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Bosna i Hercegovina	68,9	67,1	12,8	13,6	14,0	15,3
Crna Gora	39,5	35,2	2,1	2,2	4,2	4,8
Hrvatska	76,8	78,0	22,4	21,1	21,8	20,5
Makedonija	53,2	57,5	5,7	5,9	8,0	7,7
Slovenija	71,3	73,6	15,2	13,9	15,8	14,2
Srbija, v. p.	89,4	93,2	30,9	28,7	26,4	23,8
— Kosovo	70,1	72,9	2,8	3,3	3,0	3,5
— Vojvodina	81,0	84,1	10,8	11,4	9,5	10,2
Jugoslavija	74,9	76,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tablica 4.

	1990.					1995.					MW
	dist.	dir.	neto	gub.	ukupno	dist.	dir.	neto	gub.	ukupno	
	Bosna i Hercegovina	1 437	490	1 927	58	1 985	1 764	490	2 254	68	2 322
Crna Gora	229	250	479	14	493	281	250	531	16	547	
Hrvatska	2 187	450	2 637	79	2 716	2 685	450	3 135	94	3 229	
Makedonija	615	330	945	28	973	754	330	1 084	33	1 117	
Slovenija	1 448	320	1 768	53	1 821	1 777	320	2 097	63	2 160	
Srbija, v. p.	3 020	90	3 110	93	3 203	3 708	90	3 798	114	3 912	
— Kosovo	344	120	464	14	478	422	120	542	16	558	
— Vojvodina	1 135	145	1 280	38	1 318	1 394	145	1 539	46	1 585	
Jugoslavija	10 415	2 195	12 610	378	12 988	12 785	2 195	14 980	449	15 429	

	2000.					2010.					MW
	dist.	dir.	neto	gub.	ukupno	dist.	dir.	neto	gub.	ukupno	
	Bosna i Hercegovina	2 156	490	2 646	79	2 725	2 999	490	3 489	158	3 594
Crna Gora	344	250	594	18	612	478	250	728	22	750	
Hrvatska	3 280	450	3 730	112	3 842	4 564	450	5 014	150	5 164	
Makedonija	922	330	1 252	38	1 290	1 282	330	1 612	48	1 660	
Slovenija	2 171	320	2 491	75	2 566	3 021	320	3 341	100	3 441	
Srbija, v. p.	4 530	90	4 620	139	4 759	6 302	90	6 392	192	6 584	
— Kosovo	515	120	635	19	654	717	120	837	25	862	
— Vojvodina	1 702	145	1 847	55	1 902	2 368	145	2 513	75	2 588	
Jugoslavija	15 620	2 195	17 815	534	18 349	21 731	2 195	23 926	718	24 644	

Kritičkim korištenjem svih tih proporcija i zanemarujući faktor istodobnosti formuliran je *inicijalni prijedlog* maksimalnog opterećenja republika po planskim vremenskim presjecima. Zbog neizvjesnosti ostvarenja planiranih potrošnji u promatranim razdobljima koristili smo uvjetnost pojma »nazivna godina« (tabl. 4).

2. MAKSIMALNA POTROŠNJA PO REPUBLIKAMA

Na temelju prijedloga razvoja očekivane potrošnje formuliranog u tablici 4. (koji se nam je poslužio i kao neka naša orijentacija) dale su republičke elektroprivrede svoje prognoze koje sažimamo u tabl 5.

Tablica 5.

	1990.					1995.					MW
	dist.	dir.	neto	gub.	ukupno	dist.	dir.	neto	gub.	ukupno	
	Bosna i Hercegovina	1 382	460	1 842	58	1 900	1 725	445	2 170	68	2 238
Crna Gora	175	270	445	12	457	210	295	505	17	522	
Hrvatska	2 026	450	2 476	74	2 550	2 613	450	3 063	91	3 154	
Makedonija	656	310	96	31	997	843	328	1 171	33	1 204	
Slovenija	1 346	320	1 666	50	1 716	1 596	320	1 916	57	1 973	
Srbija, v. p.	(3 157)	(90)	(3 247)	(100)	3 347	(3 637)	(100)	(3 737)	(116)	3 853	
— Kosovo	(472)	(120)	(592)	(18)	610	(638)	(140)	(778)	(24)	802	
— Vojvodina	(1 007)	(155)	(1 162)	(36)	1 198	(1 171)	(172)	(1 343)	(42)	1 385	
Jugoslavija	(10 221)	(2 175)	(12 396)	(379)	12 775	(12 433)	(2 250)	(14 683)	(448)	15 131	

	2000.					2010.					MW
	dist.	dir.	neto	gub.	ukupno	dist.	dir.	neto	gub.	ukupno	
	Bosna i Hercegovina	2 132	430	2 562	75	263	3 200	450	3 650	100	3 750
Crna Gora	240	310	550	20	570	330	350	680	24	704	
Hrvatska	3 172	450	3 622	108	3 730	4 298	450	4 748	142	4 890	
Makedonija	1 054	382	1 436	34	1 470	1 639	382	2 021	58	2 079	
Slovenija	1 804	320	2 124	64	2 188	2 107	320	2 427	73	2 500	
Srbija, v. p.	(4 272)	(11)	(4 382)	(136)	4 518	(5 683)	(130)	(5 813)	(180)	5 993	
— Kosovo	(860)	(10)	(1 020)	(32)	1 052	(1 408)	(200)	(1 608)	(50)	1 658	
— Vojvodina	(1 382)	(96)	(1 578)	(49)	1 627	(1 816)	(240)	(2 056)	(64)	2 120	
Jugoslavija	(14 916)	(2 358)	(17 274)	(518)	17 792	(21 321)	(2 522)	(23 843)	(692)	24 535	

Za Srbiju v. p. (Kosovo i Vojvodinu) dobivena je samo ukupna potrošnja — pa je njena struktura približno raščlanjena (na temelju dosadašnjih studijskih predviđanja i ostvarenja) da se dobije red veličine distributivne potrošnje.

Iz ovih republičkih očekivanja proizlaze sljedeće stope porasta snage po promatranim planskim presjecima (koje prikazujemo za komparaciju):

Tablica 6.

	%					
	1995/1990.		2000/1995.		2010/2000.	
	distr.	ukupna	distr.	ukupna	distr.	ukupna
Bosna i						
Hercegovina	4.53	3.33	4.33	3.34	4.14	3.58
Crna Gora	3.71	2.7	2.71	1.77	3.24	2.13
Hrvatska	5.22	4.34	3.95	3.41	3.08	2.74
Makedonija	5.14	3.85	4.57	4.07	4.51	3.53
Slovenija	3.47	2.83	2.48	2.09	1.56	1.34
Srbija, v. p.	(2.87)	2.86	(3.27)	3.24	(2.90)	2.87
— Kosovo	(6.21)	5.63	(6.15)	5.58	(5.74)	4.65
— Vojvodina	(3.06)	2.94	(3.37)	3.27	(2.77)	2.68
Jugoslavija	(4.00)	3.44	(3.71)	3.29	(3.64)	3.27

Prema ovim očekivanjima rasta potrošnje uzete su posljednje recenzirane republičke studije razvoja prijenosne mreže i prema odnosima potrošnji preuzimana su ili prilagođavana (reducirana) opterećenja po čvorištima superponirane mreže za formiranje jedinstvenog modela jugoslavenskog sistema.

3. PROIZVODNJA

Budući da su izvori u [1] ocijenjeni neprikladnim za aktualnu studiju razvoja mreže dobivena su sagledavanja novih izvora anketom razvojnih službi republičkih elektroprivreda; prema tim odgovorima bit će raspoloživo do 2000. ili moguće raspoloživo do krajnjeg horizonta promatranja (navodimo samo izvore priključene na superponiranu mrežu):

1990 – 1995.

Bosna i Hercegovina: TE Ugljevik II (300 MW),
Hrvatska: TE Plomin (210 MW),
Srbija: TE Kolubara B1 i B2 (2 × 350 MW);

1995 – 2000.

Bosna i Hercegovina: HE Buk Bijela (510 MW), TE Tuzla VI (330 MW), TE Gacko II (300 MW),
Crna Gora: HE Andrijevo (130 MW),
Hrvatska: dano je više lokacija za izgradnju do 500 MW,
Srbija: TE Kosovo A (+100 MW), B3 i B4 (2 × 350/ili 600/MW), C (2 × 300 MW);

2000 – 2010.

Bosna i Hercegovina: HE Glavatičevo (180 MW), TE Tuzla B1 (i B2) (500 / +500/ MW), TE Kakanj VI (G8: 230 MW),
Crna Gora: TE Pljevlja II (210 MW), HE Komarnica (168 MW),
Hrvatska: dano je više opcija,

Srbija: TE Kolubara B3 i B4 (2 × 350 MW), TE Drmno 3 (350 MW), TE Kosovo C (3 × 300 MW), TE Nikola Tesla B3 (620 MW), HE Žur (248 MW), HE Veliko Tegare (360 MW).

TE Kosovo B širilo bi se za potrebe izvoza »Elektroprivrede Srbije«.

Prema tim odgovorima su *novoangažirani* izvori u osnovnim (polaznim, normalnim, nultnim) stanjima sistema za potrošnje iz tablice 5:

1995: TE Kolubara B1 i B2, TE Drmno 2 (postojeće već u 1990. ali neraspoloživo),
TE Ugljevik II,
TE Plomin (u mreži 220 kV),

2000: TE Kosovo C1 i C2,
TE Tuzla VI, TE Gacko II,

2010: TE Plomin 300 MW, TE Sisak 300 MW,
TE Kakanj VI (G8),
TE Pljevlja 2,
TE Kolubara B3 i B4, TE Drmno 3, TE Nikola Tesla B3,
TE Kosovo C3 i C4, HE Žur,
a angažirane su i HE Buk Bijela i PHE Čapljina.

4. IZVOZI

Novi izvori planirani su za podmirivanje očekivanog porasta republičkih potrošnji i razmjena unutar Jugoslavije, no kao *parametar razvoja (i eksploatacije) mreže pojavljuje se i realno planiranje izvoza.*

Za desetljeće do 2000. »Elektroprivreda Srbije« već je ugovorila izvoz električne energije u Italiju sa snagom 120 MW; do 1995. planiraju se nove isporuke sa snagom oko 300 MW, i dalje povećavanje do 2000. za novih 600–800 MW.

»Elektroprivreda Bosne i Hercegovine« računa u 2000. izvoziti u Austriju električnu energiju sa snagom 400 MW, a u 1995. postoji mogućnost i da »Hrvatska elektroprivreda« izvozi 200 MW u Italiju (po 100 MW iz TE Sisak i TE Rijeka).

Ovi izvozi imat će bitne reperkusije na dio mreže u kompetenciji »Hrvatske elektroprivrede« — i budućim aktivnostima nastojat ćemo *valorizirati ovaj novi status mreže.*

5. BILANCA

Za planiranje prijenosne mreže pretpostavljeno je osnovno stanje sistema sa izvozom 120 MW sa »Istoka« u Italiju (ugovoreno za razdoblje 1990–2000).

Podsjetimo: rajon »Istoka« je Srbija, Crna Gora i Makedonija, rajon »Centra« je dio Hrvatske (Slavonija, Dalmacija) i Bosna i Hercegovina, rajon »Zapada« je dio Hrvatske (istarsko-riječko područje i sjeverozapadna Hrvatska) i Slovenija.

U angažiranju izvora računalo se sa slijedećim zakupima/injekcijama van republičkih granica:

Tablica 7.

	1990.	1995.	2000.	MW
Slovenija:	TE Tuzla (100) TE Ugljevik (93) NE Krško (316) ¹	TE Ugljevik 2 (186) NE Krško (316) ¹	TE Ugljevik 2 (186) NE Krško (316) ¹	
Hrvatska:	NE Krško (316) TE Tuzla (182) TE Gacko (90) TE Kakanj (46) HE Dubrovnik (86) TE »N. Tesla« (280)	NE Krško (316) TE Tuzla (150) ² TE Gacko (92) TE Kakanj (46) HE Dubrovnik (86) TE »N. Tesla« (280)	NE Krško (316) TE Tuzla (150) ² TE Gacko (90+92) TE Kakanj (46) HE Dubrovnik (86) TE »N. Tesla« (280) TE Kosovo (1 × 300) ²	
Makedonija:	TE Kosovo (100)	TE Kosovo (100)	TE Kosovo (1 × 300) ²	

¹ dio za Hrvatsku,² instalirana snaga; u TE Tuzla uzeto na pragu raspoloživo 138 MW a u TE Kosovo 276 MW.

Za Crnu Goru nije dosljedno poštovan dogovor o bilanciranju HE Piva u elektroenergetskom sistemu Srbije i uzvratnoj kompenzaciji 100 MW.

Za Hrvatsku uzeta je za mrežu najnepovoljnija varijanta (da bi se dobile veće razmjere »Istok« – »Centar«).

Prema tome, u osnovnim stanjima jugoslavenskog elektroenergetskog sistema je razmjena »Istok« – »Centar« (u svim presjecima: za Hrvatsku i izvoz)

280 + 120 MW u 1990. i 1995. te 556 + 120 MW u 2000, a isporuke Bosne i Hercegovine (za Hrvatsku i Sloveniju) su

404 + 193 MW u 1990, 360 + 186 MW u 1995. i 452 + 186 MW u 2000.

Dio razmjene Hrvatske sa Slovenijom i sa Bosnom i Hercegovinom zatvara se kroz mrežu 110 kV (u bosanskohercegovačkoj i u hrvatskoj studiji mreže modelirana je i međurepublička mreža 110 kV, što ima utjecaja na bilancu i opterećenja čvorišta na razini superponirane mreže).

Za varijantu očekivane potrošnje 2010. pretpostavljeni su sljedeći zakupi:

Tablica 7.a

	MW
Slovenija:	TE Ugljevik 2 (186) NE Krško (316) ¹ (uvoz: 50 MW)
Hrvatska:	NE Krško (316) TE Tuzla (150) ² TE Gacko (90+92) TE Kakanj (46) HE Dubrovnik (86) TE Kosovo C (2 × 300) ²
Makedonija:	TE Kosovo C (2 × 300) ²

¹ dio za Hrvatsku,² instalirana snaga; u TE Tuzla uzeto na pragu raspoloživo 138 MW a u TE Kosovo 552 MW.

U varijanti očekivane potrošnje 2010. je razmjena »Istok« – »Centar« u osnovnom stanju 552 MW (bez izvoza), a isporuke Bosne i Hercegovine (za Hrvatsku

i Sloveniju) 452 + 186 MW kao i trećina angažirane snage HE Buk Bijela (za Crnu Goru) 120 MW.

6. RAZMJENE

Budući da je potrošnja maksimalno bilancirana unutar republičkih granica, prema postojećoj praksi sastavljanja voznih redova, *prijenosna je mreža slabo opterećena u »normalnom pogonu«* – kako to pokazuju tokovi snaga u karakterističnim presjecima mreže (mjereno na vodovima koji prolaze preko republičke odnosno pokrajinske granice ili između rajona) na tablici 8.

Razlike između »aritmetičke« bilance i ovih mjerenja na superponiranoj mreži posljedica su utjecaja razmjene i mrežom 110 kV kao i procjene gubitaka. U nazivnoj 1990. je »Istok« u višku praktički samo za hrvatski zakup snage TE Nikola Tesla (280 MW) – uz izvoz (120 MW), a višak Bosne/Hercegovine su zakupljene snage za Hrvatsku (404 MW) i Sloveniju (193 MW). Deficit Hrvatske se bilančno pokriva zakupljenim izvorima izvan republičkih granica (1000 MW). Slovenija je na mreži uravnotežena što je posljedica prebijanja polovice snage NE Krško (hrvatski dio: 316 MW) i slovenskog zakupa snage u Bosni i Hercegovini (193 MW) i izvoza na granici (120 MW). Ustanovljeni odnosi zadržavaju se uglavnom i u nazivnoj 1995; u presjeku nazivne 2000. povećava se bilanca razmjena »Istok« – »Centar« prvenstveno zbog hrvatskog deficita, a u kasnijoj perspektivi može se očekivati njeno smanjenje (prema sadašnjim opredjeljenjima izgradnje izvora unutar republičkih granica, a i angažiranjem HE Buk Bijela još sve više skraćuju i snižavaju prijenosi).

U tako izbalansiranom sistemu ispad jedne grane ne izaziva poteškoća, pa tek kriterij (n – 2) daje neke informacije, pri čemu je drugi istovremeni događaj neraspoloživost najvećeg izvora na »Zapadu«. Zadržimo se samo na mreži 400 kV i na *centralnom pitanju, kako se čini, u tekućem desetljeću: pojačanju veze »Istok« – »Centar«* (odnosno rezervi voda »Mladost« – Ernestinovo) te korespondentnoj izgradnji u »Centru«.

Tablica 8.

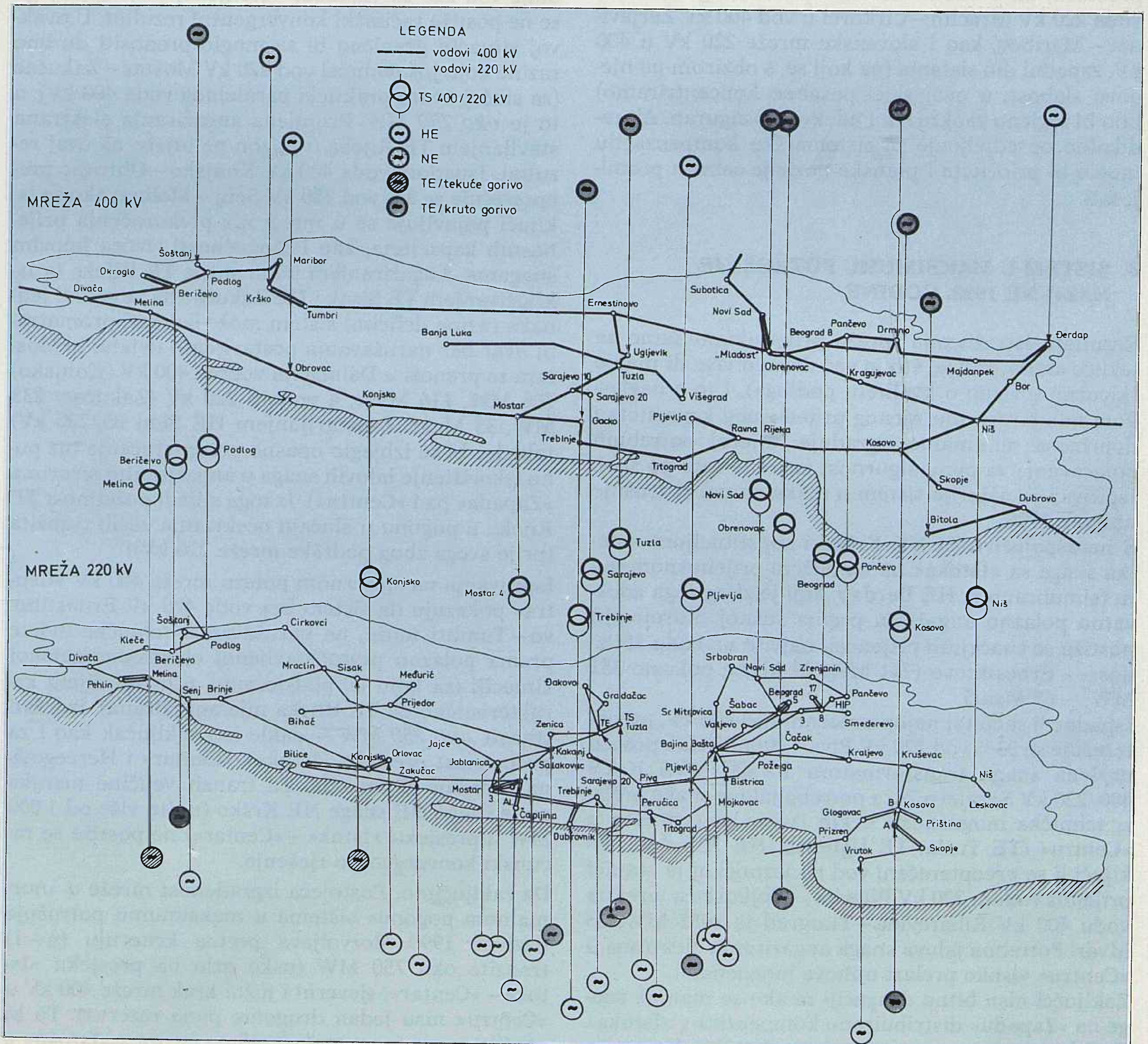
	1990.		1995.		2000.		2010.	
	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
Bosna i Hercegovina	512	-118	461	30	470	1	795	305
Crna Gora	100	-1	-3	-6	265	-75	22	-4
Hrvatska	-884	75	-766	-15	-1103	-151	-1220	-500
Makedonija	-103	-178	-98	-102	-261	-26	-500	-94
Slovenija	-12	-202	-64	-133	-47	-77	70	94
»Istok« – »Centar«	395	-130	381	-195	697	-98	380	-242
Kosovo	244	57	209	-38	477	-81	889	423

7. MREŽA

Na sl. 1 prikazane su kvaziaksonometrijski polazne mreže 400 kV i 220 kV kao zaista superponirane (stanje: 1990). Svaka mreža dana je sa svojim elektranama

ma a međusobno su povezane transformacijama 400/220 kV.

Ovakvom vizualizacijom pokušali smo zorno predočiti *neke tranzitno utjecajne specifičnosti* sistema: longitudinalni karakter mreže, paralelne pravce 400 kV i 220 kV, njihovu slabu i električki nepovoljnu po-



Slika 1.

vezanost (na »Zapadu« tri TS 400/220 kV /i četvrta van državnih granica, logikom pogona: Redipuglia/, u »Centru« 5, na »Istoku« 7), nepovoljnu strukturu (neizvjesnost hidrologije i tekućeg goriva) i raspodjelu izvora — tako da duge dionice 400 kV ostaju bez kontrole (potencirano eksploatacijskom problematikom: reverzibilne hidroelektrane), itd. A iz prakse pogona slijedi generalno asimetrična opterećenost sjevernog i južnog kraka petlje 400 kV: eksponirajući sjevernu magistralu a uzrokujući probleme s naponima i jalovim snagama na južnoj, uz statiranje transverzale u »Centru«.

U promatranom tekućem srednjoročju očekuju se krajem ove godine u pogonu vod 400 kV Maribor – Kainachtal, a neposredno će ga slijediti vod 400 kV Tumbri – Melina; krajem razdoblja mogla bi biti pri kraju TS 400/110 kV Žerjavinec (Zagreb – istok).

Rekonstrukcijom u daljoj perspektivi (dinamikom ovisnom o općem razvoju u »alpsko-jadranskom« prostoru, ali i onom »Istoka« proširenog Grčkom) voda 220 kV Mraclin – Cirkovci u vod 400 kV Žerjavinec – Maribor, kao i slovenske mreže 220 kV u 400 kV, zapadni dio sistema (na koji se, s obzirom na njegovu slabost, u ovoj skici posebno koncentriramo) bilo bi logično zaokružen i adekvatno siguran. Ali radikalno opredjeljenje za sistematsku kompenzaciju moglo bi prioritete i planske pozicije sasvim promiješati.

8. SISTEM U MAKSIMUMU POTROŠNJE NAZIVNE 1990. GODINE

Rezultate istraživanja mreže prikazujemo samo za tekuće srednjoročje, što je već davano više ili manje skicozno (ovisno o kvalitetu podloga), i to s naglaskom na utvrđivanju njenog prijenosnog kapaciteta i doprinosa minimalne izgradnje; utjecaj potrebnih pojačavanja za punu sigurnost jasan je sam po sebi. Ispitivan je najprije sistem u maksimumu potrošnje nazivne 1990.

S neraspoloživošću NE Krško i supstitucijom manjka snage sa »Istoka« na najdužem prijenosnom putu (simulirano iz HE Đerdap, koji je zbog toga adekvatno polazno angažiran prema sušnoj hidrologiji) postižu se značajniji prijenosi; najviše na vodu »Mladost« – Ernestinovo (741 MW, 29 Mvar; polazno 351 MW, –65 Mvar).

Ispadne li sada taj najopterećeniji vod 400 kV, preopterećuje se 23% vod 220 kV Piva – Buk Bijela i prelazi nazivna snaga transformatora 1 × 400 MVA u TS 400/220 kV Sarajevo 20, a potreba jalove snage prelazi tehničke mogućnosti nekih izvora angažiranih u »Centru« (TE Tuzla, TE Ugljevik, HE Zakučac). Isključili li se preopterećeni vod na termičkoj je granici prijenos vodom 220 kV Pljevlja – Mojkovac a teret na vodu 400 kV Ribarevina – Titograd je 1082 MW, 83 Mvar! Potrebna jalova snaga angažiranih elektrana u »Centru« visoko prelazi njihove mogućnosti.

Zaključci nisu bitno drugačiji ni ako se manjak snage na »Zapadu« distribuirano kompenzira s »Istoka« (ispitivano napr. u odnosu impedancija: trećina iz HE Đerdap dvije trećine iz kosovskog bazena).

Ovaj rezultat ukazuje na mogućnosti granično sigurne razmjene između »Istoka« i »Centra« po kriteriju $(n-1)$ u najnepovoljnijem slučaju: maksimalno do one razine na kojoj još zadovoljava vod 220 kV Piva – Buk Bijela u slučaju ispada najopterećenije grane na tom pravcu (vod 400 kV »Mladost« – Ernestinovo) — dakle *oko 750 MW* (i u pogledu *termičke granice* ovog voda kao i po raspoloživoj *jalovoj snazi* u angažiranim izvorima »Centra«). U ovoj konstataciji nisu valorizirane mogućnosti sekcioniranog pogona HE Piva.

Ispitajmo situaciju u »Centru«; najprije na južnom potezu. Dogodi li se kvar na vodu 400 kV Mostar – Konjsko pri neraspoloživosti NE Krško (i uobičajenom polaznom angažiranju izvora: specifično je samo to, zbog kreiranja što nepovoljnijih okolnosti, da među njima nema TE Rijeka), i supstituciji manjka snage s »Istoka« (prenoseći 468 MW, 21 Mvar), preopterećuje se 40% vod 220 kV Mostar – Zakučac (i dalje vod 220 kV Zakučac – Konjsko, 8%): bez njega se ne postiže računski konvergentni rezultat. U ovoj situaciji granično bi se moglo prenositi do one razine koju još podnosi vod 220 kV Mostar – Zakučac (za slučaj kvara praktički paralelnog voda 400 kV): a to je *oko 750 MW*. Promjena angažiranja elektrana stavljanjem TE Rijeka u pogon ne utječe na ovaj rezultat. Ispadom voda 400 kV Konjsko – Obrovac preopterećuje se 3% vod 220 kV Senj – Melina; ako se isključi pojavljuje se u mreži niz prekoračenja prijenosnih kapaciteta, kao i mogućnosti izvora jalovim snagama. Angažiranjem pune snage TE Rijeka (a isključivanjem TE Sisak i HE Zakučac da se zadrži jednaka razina deficita) sistem može izdržati promatrani kvar bez narušavanja postavljenih uvjeta: iz Mostara se prenosi u Dalmaciju vodom 400 kV (Konjsko) 706 MW, 116 Mvar, a vodom 220 kV (Zakučac) 233 MW, 35 Mvar. Zaustavljanjem HE Senj (G/220 kV) također bi se izbjeglo opasno preopterećenje (uz puno iskorištenje jalovih snaga u angažiranim izvorima »Zapada« pa i »Centra«). Iz toga slijedi poželjnost TE Rijeka u pogonu u slučaju očekivanja većih tranzita (prije svega zbog podrške mreže 220 kV)!

Ispitivanja na sjevernom potezu mreže 400 kV »Centra« pokazuju da sistem bez voda 400 kV Ernestinovo – Tumbri može, ne narušavajući tehničke uvjete prema polazno pretpostavljenoj elektroenergetskoj situaciji (za koju je, podsjećamo, u ovom dijelu karakteristično da TE Rijeka nije angažirana), izdržati tranzit *oko 750 MW* — dakle isti zaključak kao i za propusnost presjeka »Istok« – »Centar« i Hercegovina – srednja Dalmacija. Za tranzit veličine manjka pune snage NE snage NE Krško (nešto više od 1 000 MW u presjeku »Istok« – »Centar«) ne postiže se računski konvergentno rješenje.

Da zaključimo. Postojeća izgrađenost mreže u »normalnom pogonu« sistema u maksimumu potrošnje nazivne 1990. dozvoljava prema kriteriju $(n-1)$ tranzite *oko 750 MW* (usko grlo na presjeku »Istok« – »Centar«, sjeverni i južni krak mreže 400 kV u »Centru« nisu jedan drugome puna rezerva). To bi značilo *mogućnost maksimalnog izvoza s »Istoka« u Italiju reda veličine 500 MW* (na koji se još superpo-

nira bilančni zakup Hrvatske u TE »Nikola Tesla« i gubici).

9. SISTEM U MAKSIMUMU POTROŠNJE NAZIVNE 1995. GODINE

U superponiranoj mreži nazivne 1995. pojavljuju se nova čvorišta koja su rezultat integralnih analiza u republičkim elektroprivredama:

TS 400/110 kV Krško,
TS 400/110 kV Žerjavinec,
TS 400/110 kV Doboj,
TS 400/110 kV Bihać,
TS 400/110 kV Ribarevina,
TS 400/110 kV Beograd 20,
TS 400/110 kV Svetozarevo,
TS 220/110 kV Plomin,

i vodovi 300 kV (uz one za priključak novih čvorišta ili dionice nastale njihovom interpolacijom):

Maribor – Kainachtal,
Melina – Tumbri,
B. Luka – Bihać.

Vod Pljevlja – Ribarevina stavljen je pod 400 kV, a novo čvorište u mreži 400 kV nastaje i ulaskom TE Kolubara u pogon.

Mrežu u tekućem srednjeročju karakteriziraju (i hendikepiraju u minimalnim režimima) dva približno jednako dugačka radijalna kraka iz Tuzle: za Višegrad i za Banju Luku (što se možda moglo i drugačije rješavati, da se malo ogradimo od te unutarrepubličke izgradnje). U pogonu je nova dvosistemska inerkonekcija 400 kV s Austrijom, koja se još neće moći koristiti punim intenzitetom zbog slabosti austrijske mreže (pa je posebnim udešenjem zaštite ograničena ukupna razmjena /vodom 220 kV i 400 kV/ s austrijske strane na najviše 1 100 MVA). Njegovo puštanje u pogon za očekivati je krajem 1991. No ipak je to nova potpora podsistema »Zapada« (s tendencijom učvršćenja po izgradnji voda Beč – Kainachtal) koja može biti od velikog značenja u eventualnom zatvaranju NE Krško (u pitanjima *jalove snage*, koje bi bilo *alarmantnije* od onih djelatne!). Vjerojatno će puštanje tog voda u pogon ubrzo slijediti vod Tumbri – Melina: treba naglasiti da je to *sigurnosni* vod (pa ga se ne bi trebalo valorizirati na temelju njegove uloge u redovnom pogonu).

Elektroenergetska situacija (promatrano s obzirom na karakteristične presjeke mreže) slična je kao i nazivne 1990. Izvoz je i dalje 120 MW, pa su slični i zaključci u vezi s mrežom.

Priključak HE Višegrad na naponu 400 kV (u nazivnoj 1990. priključena je na 110 kV) omogućava alternativu osiguravanja voda 400 kV »Mladost« – Ernestinovo u minimalnoj izgradnji: umjesto udvostručenja s istim incidencijom kao trivijalnog rješenja (koje tretiramo kao varijantu maksimalne izgradnje) – interpolacija voda 400 kV Pljevlja – Višegrad (oko 60 km), kojim se *osigurava injekcija* HE Višegrad a puni *smisao dobiva* i vod Ribarevina – Pljevlja na naponu 400 kV.

To pojačanje omogućava povećanje prijenosa s »Istoka« za nešto manju snagu od one NE Krško.

U slučaju ispada voda 400 kV »Mladost« – Ernestinovo pri neraspoloživosti NE Krško opterećen je vod 220 kV Piva – Buk Bijela nešto ispod termičkog praga (92%), a na granici je prijenos vodom 220 kV B. Bašta – Pljevlja – njegovim isključenjem preopteretio bi se vod 220 kV B. Bašta – U. Požega. Angažirana jalova snaga većine izvora je na gornjoj granici (a kod TE Kosovo A, HE Dubrovnik i HE Višegrad i veća). S modeliranom injekcijom 150 MW na 400 kV u Divači (uz izvoz 120 MW: praktički, dakle, s neutraliziranjem »tereta« Divače) sve su jalove snage angažirane prema mogućnostima izvora.

Prema tome, prijenosne su mogućnosti mreže pojačane vodom 400 kV Pljevlja – Višegrad u presjeku »Istok« – »Centar« prema kriteriju $(n-1)$ *oko 900 MW*: 280 MW (za Hrvatsku) + 120 MW (izvoz) + 628 MW (neraspoloživost NE Krško) – 150 MW (potpora u Divači) + gubici.

Bez pojačavanja mreže moglo bi se u slučaju ispada voda 400 kV »Mladost« – Ernestinovo tranzitirati s »Istoka« na »Zapad« još 300 MW više od bilance bez narušavanja postavljenih tehničkih uvjeta: *oko 720 MW* mjereno na vodovima.

Znači da novi vod 400 kV Pljevlja – Višegrad povećava propusnost presjeka »Istok« – »Centar« za nešto više od 200 MW! To je donja granica povećanja jer je promatran prijenosno najteži slučaj: supstitucija manjka snage najdužim putem.

Realno potrebna izgradnja adekvatna promatranom sigurnom prijenosu pune snage NE Krško (i veće) bilo bi pojačavanje još jednim vodom 400 kV »Mladost« – Ernestinovo (oko 150 km), paralelnim postojećem. Ovakva mreža (dakle s jednim vodom 400 kV »Mladost« – Ernestinovo preostalim u pogonu: praktički se to svodi na puni graf polazne mreže) omogućava u presjeku »Istok« – »Centar« supstituciju neraspoložive snage NE Krško na najdužem putu i još daljnjih 300 MW izvoza sa »Istoka« bez narušavanja tehničkih uvjeta sistema (tj. s raspoloživom jalovom snagom u angažiranim izvorima): 280 MW (za Hrvatsku) + 120 MW (izvoz sa »Istoka« u Italiju) + 628 MW (NE Krško van pogona) + 300 MW (dodatni izvoz sa »Istoka«) + gubici.

U »Centru« mreža bi – za elektroenergetsku situaciju prema polaznom »normalnom« stanju (razlika prema nazivnoj 1990: angažirane TE Rijeka i TE Plomin kojima se kompenzira porast potrošnje) – mogla granično zadovoljavati: ispod voda 400 kV Mostar – Konjsko u slučaju neraspoloživosti NE Krško izaziva 3% preopterećenja voda 220 kV Mostar – Zakučac; ako se izbací, angažirana je u TE Rijeka gotovo upola veća jalova snaga od granično moguće. S uvozom oko 180 Mvar (simulirano injekcijom u Divači na 400 kV) pada angažiranje svih jalovih snaga u granice tehničkih mogućnosti. Dakle, s obzirom na vezu Hercegovine i srednje Dalmacije maksimalni je mogući prijenos nešto manji od povećanja za punu snagu NE Krško, *oko 950 MW* – kada se opterećenje voda 220 kV Mostar – Zakučac približava termičkoj granici (s pretpostavljenim angažiranjem elektrana i

njihovom raspoloživom jalovom snagom; uvjet je da TE Rijeka bude u pogonu: inače se ne postiže konvergentni rezultat, kao ni u ispitivanjima ranijeg presjeka).

Ispadom voda 400 kV Ernestinovo – Žerjavinec pri neraspoloživosti NE Krško angažirana jalova snaga u izvorima »Centra« i »Zapada« je na gornjoj granici a u nekima i veća (naročito opet TE Rijeka). S potporom oko 350 Mvar u Divači na 400 kV svodi se angažiranje jalovih snaga u realne mogućnosti; s raspoloživim jalovim snagama u angažiranim elektranama moguće je mrežom »Centra« bez voda 400 kV Ernestinovo – Žerjavinec prenijeti oko 840 MW. Ta veličina prijenosa logično dozvoljava i ispad voda 400 kV Mostar – Konjsko bez značajnih posljedica.

U alternativnom ispadu voda 400 kV Konjsko – Obrovac nema nikakvih narušavanja postavljenih uvjeta: prijenos vodom Ernestinovo – Žerjavinec je 666 MW, 26 Mvar.

Za potpuno autarkični sistem s mrežom koja omogućava, uz bilančnu razmjenu, izvoz 120 MW i supstituciju snage najvećeg agregata u deficitarnom dijelu sistema (NE Krško) na najnepovoljnijem putu trebalo bi pojačati »Centar« vodom 400 kV Bihać – Tumbri, kojim se ujedno osigurava dvostrano napajanje čvorištima B i H na potezu Tuzla... Tumbri (Doboj, Banja Luka, Bihać).

Ispadne li pri neraspoloživosti NE Krško dionica 400 kV Tuzla – Doboj, napon u Doboju je havarijski dozvoljenih 375 kV (no to upućuje na pravac potrebnih pojačavanja za naredni presjek potrošnje: potpore pravca Tuzla... Tumbri pravcem Sarajevo... B. Luka/Doboj). Ostali promatrani kvarovi nisu više kritični.

Dakle, u *minimalnoj izgradnji* sistema, u polazno pretpostavljenom elektroenergetskoj situaciji trebalo bi pojačati presjek »Istok« – »Centar« vodom 400 kV Pljevlja – Višegrad: time se, po kriteriju $(n - 1)$, povećava propusnost na oko 900 MW (od oko 720 MW). Osim toga, ponovimo, predloženi vod osigurava plasman snage HE Višegrad (3×105 MW) i zatvara dionicu 400 kV Pljevlja – Ribarevina u petlju. Mreža »Centra«, zbog limita raspoloživih jalovih snaga, dozvoljava po istom kriteriju prijenose do oko 840 MW.

Za punu sigurnost prijenosa veličine neraspoloživosti NE Krško po kriteriju $(n - 1)$ u izoliranom sistemu (*maksimalna izgradnja*) trebalo bi drugi vod 400 kV »Mladost« – Ernestinovo i Bihać – Tumbri, a Pljevlja – Višegrad zbog osiguravanja injekcije HE Višegrad.

Ovakav razvoj je i *prejudiciran* radijalnim krakovima u postojećoj konfiguraciji mreže 400 kV, kao i predvidivom elektroenergetskom situacijom tekućeg srednjoročja.

Imajući u vidu razložnost dalekovoda Pljevlja – Višegrad u nazivnoj 1995. no anticipirajući opravdanost konačnog udvostručenja pravca »Mladost« – Ernestinovo (najkasnije na krajnjem horizontu promatranja nazivne 2010.) trebalo bi istražiti da li predloženi dalekovod graditi s pojačanim snopom ili možda kao dvosistemski (kompatibilno kojem bi se onda projektiralo drugi vod magistrale iz »Mladosti«).

10. INTEGRATIVNA ULOGA PRIJENOSNE MREŽE U ELEKTROEVROPI

Detaljniji uvid u tranzitni kapacitet jugoslavenske superponirane mreže dat će tek analiza tranzita u evropski integriranom jugoslavenskom sistemu. S otvaranjem evropskog energetskog tržišta i mreža dobiva novo značenje kao zajedničko dobro (»common carrier«), i u tom se je smislu već prepoznava i kompleksno valorizira. Za jugoslavensku mrežu to je novi kvalitet, a posebno u njezinu slovenskom i naročito hrvatskom dijelu (najduže dionice, najmanja mogućnost podrške jalovom energijom, slaba redundancija u mreži 220 kV). Bez obzira na asimptotsku tendenciju anuliranja salda *energetske razmjene* raste uloga mreže zbog potrebe *razmjene snaga* (bilančnih i havarijskih).

U ovom radu, kao nusproduktu analize razvoja prijenosne mreže, istražili smo sumarno na *jednoj* elektroenergetskoj situaciji *jednosmjerne* prijenosne mogućnosti glavnog pravca jugoslavenske mreže.

Rad se nastavlja na punom modelu »Zapada« (mreža 110... 400 kV) ispitivanjima *režima maksimalnih opterećenja mreže* (a ne sistema u maksimumu potrošnje kao u [1] — jer tada mreža ne mora biti naročito eksponirana!), zatvaranjima u Sudelovu kontekstu² s utjecajima eventualnog uključenja Mađarske.

Iskorištavanje raspoloživog kapaciteta izgrađene mreže, kao i one s minimalnim pojačavanjima limitira mogućnost podrške tranzita jalovom snagom pa je na modelu sistema nazivne 1995. rađena pilotska studija potrebne veličine systemske kompenzacije. Primijenjen je kriterij dvostrukog događaja (kao i u ispitivanjima tranzitibilnosti ili prijenosnosti, ako se tako može imenovati), koji se i preporuča za takva ispitivanja [2]. Imaginarne komponente opterećenja čvorišta superponirane mreže na širem zagrebačkom području malo su adaptirane (jalove snage) zbog imitacije ljetne situacije, NE Krško je u pogonu, nisu angažirane TE Sisak i TE Rijeka (tekuće gorivo) a manjak snage se podmiruje sa »Istoka«, u remontu je vod 400 kV Tumbri – Melina, ispada glavni napojni vod zagrebačkog područja Ernestinovo – Žerjavinec (ili Tumbri, ako Žerjavinec ne bi bio dovršen): imajući u vidu i situaciju u »Centru« rezultira da bi za potpunu nezavisnost »Zapada« jugoslavenskog sistema od UCPTA trebalo oko 200 Mvar. No ovaj orijentacijski rezultat — a naglasili bismo, zbog mogućnosti i drugačijih iznosa u tako usmjerenim ciljnim ispitivanjima, da je *jalova snaga vrlo senzibilna veličina* — treba provjeriti uključivanjem mreže 110 kV koja kapilarno snažno povezuje čvorišta superponirane mreže na »Zapadu« (no degradirano na zagrebačkom području sekcioniranjem), i u nekoliko presjeka dijagrama potrošnje.

² Sudel — južno krilo UCPTA (Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité — Zajednica za koordinaciju proizvodnje i prijenosa električne energije) koje čine Austrija, Italija, Jugoslavija, Grčka i, neformalno, Albanija.

LITERATURA

- [1] Strategija dugoročnog razvoja Elektroprivrede Jugoslavije u periodu do 2010. godine s osvrtom na 2020. godinu; Institut za elektroprivredu, Zagreb + Energoprojekt, Beograd, 1990.
- [2] J. F. CHRISTENSEN sa grupom autora: »Planning against voltage collapse«, Electra, br. 111, Pariz, ožujak 1987, str. 55 – 75.

TRANSITMÖGLICHKEIT DES JUGOSLAWISCHEN SUPERPONIERTEN NETZES VON 1990 – 95

Man spricht über das Uebertragungsnetz 400 kV und das 220 kV von 1990 – 1995, mit dem Ziel – Feststellen der Uebertragungs – kapazität und der Transitmöglichkeiten. Es wird ein Vorschlag zur Verstärkung des Netzes gemacht. Es wurden auch andere relevante Beschlüsse angeführt.

ПРОВОДИМОСТЬ ЮГОСЛАВСКОЙ СОЕДИНЕННОЙ СЕТИ В СРЕДНЕГОДОВОМ ТЕЧЕНИИ

Рассматриваются сети линий электропередачи 400 кВ и 220 кВ в периоде с 1990 года по 1995 год с целью установления мощности передачи и транзитных возможностей. Предлагается консолидировать сети и прочие относительные выводы.

CAPACITY OF THE YUGOSLAV GRID NETWORK IN THE CURRENT MIDTERM

A 400 kV and 200 kV transmission network is considered for the purpose of determining transmission capacity and transit possibilities. Network reinforcement as well as other relevant conclusions are suggested.

Naslov pisca:

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

Uredništvo primilo rukopis:
1991-04-12

geotechnica



Međunarodni specijalizirani sajam s kongresom posvećen geološkim znanostima i tehnici

Köln, od 18. do 21. rujna, 1991.

Zemlja je zajednička svima!

Po prvi puta se priprema sveobuhvatna prezentacija ponude za područje geoloških znanosti i tehnologije.

Otprilike 300 poduzeća sa 5 kontinenata prezentirat će aparate, uređaje i tehnološke procese u vezi sa sljedećim područjima: građevinarstvom, rudarstvom, istraživanjem tla, geologijom, geokemijom, geodezijom, geologijom i geofizikom, hidrologijom, vodoprivredom, kartografijom, astronomijom, ekologijom, tehnologijom obrade otpadaka, analizom čovjekove okoline i s tim vezanom tehnologijom.

Istodobno se održava i kongres pod pokroviteljstvom zaklade Alfred-Wegener.

Teme:

- Geobiosfera u mijeni
- Iskorištavanje geobiosfere
- Istraživanje i izvještavanje »o sistemu zemaljske kugle«
- Pretvaranje svih naučnih saznanja u praksu u službi zaštite čovjekove okoline

Predavači će biti vrhunski naučni radnici i stručnjaci a preko 1.000 sudionika dat će tom interdisciplinarnom kongresu takav »štimung«, da će postati putokazom za intaktnu budućnost naše zemaljske kugle.

Izvolite zapamtiti termine, a informacije tražite kod:

O kongresu:

Cologne Congress Management GmbH,
Postfach 180 180, W-5000 Köln 1,
Bundesrepublik Deutschland
Telefon: 221/23 64 13, Telefax: 221/24 94 47

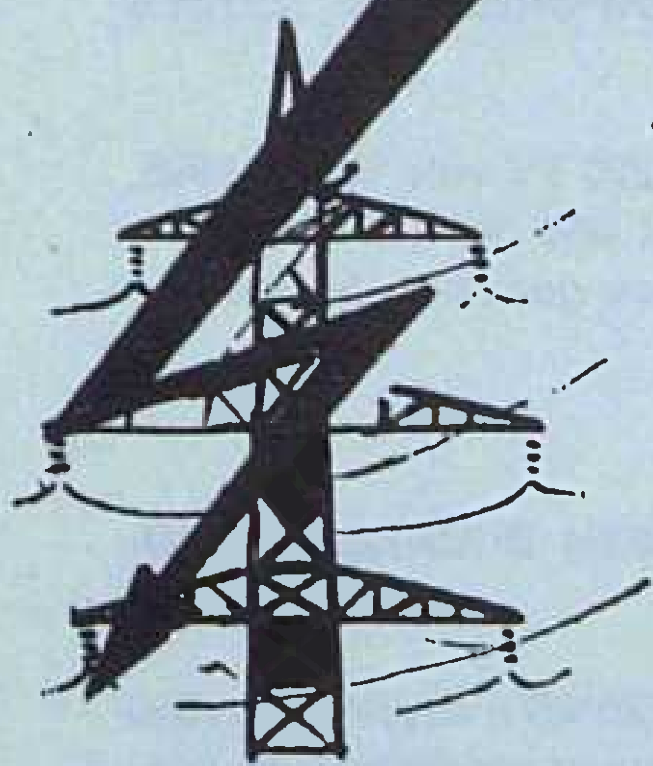
O sajmu:

»EP '64« (Agencija za marketing Vjesnik),
Trg Petra Preradovića 6,
Prof. JASNA BRANDT, 41000 Zagreb,
Tel. 041/465-363, Telex: 21590 vsk am yu,
Fax: 041/465-455



Idejni nosilac:
Alfred-Wegener-Stiftung, Bonn

Köln Messe



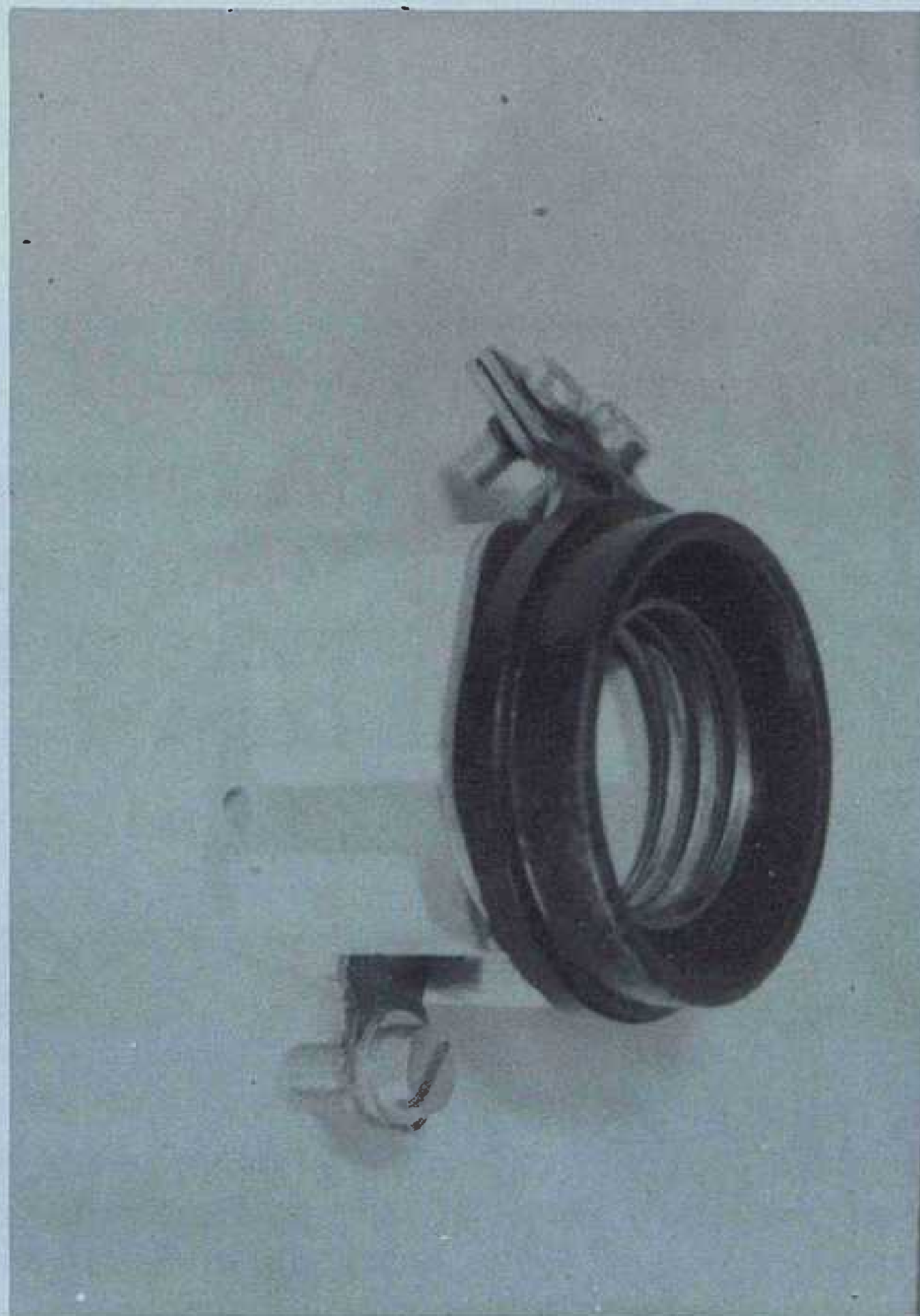
STRUJA

ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P. O.
tel. centrala: 420791, 420786
direktor: 273-909

ZAGREB
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

UTJECAJ NAČINA MODELIRANJA GENERATORA NA REZULTATE PRORAČUNA PRIJELAZNE STABILNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Dr. Srđan Babić, Zagreb

UDK 621.313.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je na sustavu generator-prijenosni vod-sabirnice krute mreže na šest matematičkih modela generatora analiziran utjecaj modeliranja generatora na rezultate proračuna prijelazne stabilnosti elektroenergetskog sistema.

Ključne riječi: generator, prijelazna stabilnost, matematički modeli, točnost proračuna.

1. UVOD

Suvremena su digitalna elektronička računala takvih mogućnosti da pojedine elemente elektroenergetskog sistema možemo danas u programima predstaviti s modelima najvišeg stupnja točnosti (s obzirom na postojeću teoriju), kako u studijama za planiranje gradnje elektroenergetskog sistema, tako i pri proračunima postojećih ili mogućih pogonskih stanja u sadašnjosti. Uz već veoma usavršene metode numeričke matematike, u stanju smo danas postići veliku točnost elektroenergetskih proračuna, jer ne trebamo više računati, kao nekad, s pretpostavkama koje nemaju opravdanja. Odatle, valjda, podosta rašireno mišljenje, pa i među iskusnim inženjerima, da je općenito za elektroenergetske proračune, pa i posebice za studije stabilnosti, najuputnije koristiti najdetaljnije matematičke modele, jer ćemo tada biti najsigurniji da su nam rezultati koje smo proračunom dobili vjerodostojni. Smijemo li, međutim, takvo stajalište a priori prihvatiti?

Razumljivo je samo po sebi da je za najtočniji proračun prvi uvjet korištenje najdetaljnijeg matematičkog modela. No, da li je to i dovoljno? Svakako nije, jer ne smijemo smetnuti s uma da uz to moramo raspolagati s vrijednostima svih parametara sistema koji model traži (ili barem onima koji bitno utječu na konačan rezultat, što za svaku pojedinu studiju moramo unaprijed znati), a što je model detaljniji, to više parametara treba poznavati. K tome, dobijene vrijednosti parametara moraju biti i dovoljno točne.

Onima koji se uže bave s problematikom stabilnosti elektroenergetskih sistema dobro je poznato da je do mnogih podataka potrebnih za proračun (barem dovoljno točnih) teško doći, pa katkad čak i do onih najobičnijih. Posebice se to odnosi na generatore i turbine, te njihove regulacijske sustave. A baš je utjecaj parametara tih elemenata na ishod elektromeha-

ničke prijelazne pojave pri njihanju rotora generatora često presudan.

Dok će nam za novije izvedbe generatora dati proizvođači opreme najčešće sve, ili barem većinu, podataka koje trebamo, to nije slučaj za mnogo brojnije starije generatore u pogonu. Potkrijepimo to tvrdnjom E. W. Kimbarka u raspravi uz članak [2], koja se odnosi na analizu događaja u sistemu nakon poznatog raspada elektroenergetskog sistema u sjeveroistočnom dijelu SAD i u jugoistočnom dijelu Kanade, koji se zbio 1965. godine (a koji je iz više razloga ušao i u udžbenike). Kimbark kaže: »Imali smo kod nekih strojeva poteškoća da dobijemo čak i relativno uobičajene podatke, kao što su poprečne sinhronne reaktancije generatora, ili stropni naponi uzbudnika.« Kada znamo da se danas vrše analize stabilnosti i tako velikih elektroenergetskih sistema što se protežu čak i u okvirima granica pojedinih država, pa i više država zajedno, a da pritom treba proračunom obuhvatiti sve osnovne elemente elektroenergetskog sistema, onda je očito da trebamo brojne podatke o sistemu i da je problem njihova prikupljanja važno pitanje.

Vrijednosti parametara koje ne dobijemo morat ćemo pretpostaviti. Premda granične vrijednosti parametara obično iz iskustva znamo, njihovo nam pretpostavljanje unosi neizvjesnost u rezultat proračuna, to veću što smo morali pretpostaviti veći broj parametara. U svakom slučaju — ako i raspoložemo programom za računalo koji se osniva na veoma detaljnom matematičkom modelu problema koji obrađujemo — morat ćemo svratiti pozornost na moguće pogreške pri proračunu.

Što je matematički model detaljniji, on općenito zahtijeva poznavanje većeg broja parametara. To pak povlači za sobom i više truda i više vremena za prikupljanje podataka, što već samo po sebi poskupljuje cijenu studije. K tome, troškove za studiju dalje

povisuje i to što svaki detaljniji model treba nerazmjerno dulje vrijeme za računsko odvijanje pojedinih proračuna nego jednostavniji model (za pojedinu studiju stabilnosti vrše se obično brojni proračuni, pa i taj utjecaj na ukupnu cijenu studije nije zanemariv).

Sve u svemu: zahtjev za određenim stupnjem točnosti matematičkog modela mora biti opravdan! Upotrijebimo li predetaljan matematički model, bit će račun nepotrebno dug, kao što će i cijena za pripremu studije biti previsoka, pa će i ukupna cijena za studiju biti neopravdano visoka; upotrijebimo li, suprotno, nedovoljno točan matematički model, doći će u pitanje vjerodostojnost zaključaka što ih izvlačimo iz dobijenih rezultata. Štoviše, težnja za prevelikom točnošću rezultata može imati i suprotan učinak u slučaju kada je nepoznat veći broj parametara što bitno utječu na rezultat proračuna (pa smo njihove vrijednosti pretpostavili) ili kad su dobiveni podaci nedovoljno točni. To znači da možemo izvući sasvim oprečne zaključke od onih koji se mogu u stvarnosti očekivati.

Smatramo li, dakle, da je u svakom slučaju najpreporučljivije koristiti najdetaljnije matematičke modele za stabilnost, očito je da smo zaboravili na svrhu, odnosno na cilj studije koju trebamo obraditi, te da ne vodimo brigu ni o ulozi što ju pojedini parametri imaju u konačnom rezultatu.

Netko će možda primijetiti da se ovo o čemu govorimo općenito odnosi i na sve ostale elektroenergetske proračune (tokovi snaga, kratki spoj itd.), a ne samo na proračune stabilnosti. To je istina, ali je kod proračuna stabilnosti ovaj problem izraženiji. Proračuni stabilnosti, naime, traže detaljnije modeliranje dijela sistema unutar elektrana, uz to što se postavlja i pitanje primjerenijeg modeliranja opterećenja u elektroenergetskom sistemu, na temelju poznatih statičkih i dinamičkih karakteristika tereta (koje su za kombinirano opterećenje potrošačkog područja obično nepoznate). Znači da je osim istraživanja utjecaja opterećenja na stabilnost elektroenergetskog sistema, veoma značajno i istraživanje utjecaja modeliranja generatora na rezultate proračuna prijelazne stabilnosti, što je i predmet već mnogih radova objavljenih u literaturi, pa i ovog članka.

Da nam ne bi zamutili sliku i otežali zaključivanje utjecaji što ih na vladanje generatora pri njihovom vanjski dijelovi elektroenergetskog sistema (izvan elektrane), nadomjestit ćemo vanjski dio sistema sabirnicama krute mreže. Zapravo, cijeli vanjski dio sistema modelirat ćemo impedancijom, te iznosom i kutom fazora napona (prema referentnoj osi) na sabirnicama krute mreže. Takav se postupak koristi i u praktičnim studijama, kada istražujemo kako se u pogledu stabilnosti vlada neki generator, koji radi paralelno s ostalim generatorima u sklopu elektroenergetskog sistema, kada su ovi ostali generatori ukupno mnogo veće snage od ispitivanog, a prijenosna mreža je dobro razvijena i velike prijenosne moći, te se promatra učinak na stabilnost samo kratkog spoja u neposrednoj blizini promatranog generatora.

Osnovni model generatora, koji će nam pri ispitivanjima poslužiti kao referentni, te ćemo s njim uspoređivati ostale modele, sedmog je reda (Model I); taj je model opisan s potpunim Parkovim jednadžbama za pet namotaja, te s dvije jednadžbe koje opisuju vrtnju rotora. Postupnim uvođenjem nekih pretpostavki kojima se modeli pojednostavnjuju, svest ćemo Model I na jednostavnije modele II–VI. Među njima je Model VI najjednostavniji i drugog je reda; opisuju ga dvije diferencijalne jednadžbe prvog reda, na koje svodimo jednadžbu njihanja (koja je drugog reda). Ukupno ćemo, dakle, primijeniti šest matematičkih modela generatora na uzorku od deset sinhronih generatora.

Vrijeme promatranja prijelazne pojave je pri analizi prijelazne stabilnosti relativno kratko (2–5 s), pa prevladavajući utjecaj na oblik krivulja njihanja imaju fizikalna svojstva samog stroja. Utjecaj regulacijskih sustava uzбудnika i turbine bi u praktičnim studijama stabilnosti uzeli u obzir na primjereni način, ali ovdje nije taj utjecaj predmet našeg interesa. Zato s tim utjecajem nećemo računati.

Pogonsko stanje promatranog sustava prije pojave poremećaja odgovorati će nazivnim vrijednostima parametara pogonskog stanja generatora. Poremećaj za koji ćemo obaviti sve proračune bit će trolinjski kratki spoj na sabirnicama krute mreže, koji će zatim nestati sam od sebe. Vrijeme trljanja kvara, za koje će se uspoređivati pojedini matematički modeli, bit će najčešće kritično vrijeme trajanja kvara.

2. SVRHA STUDIJA STABILNOSTI I IZBOR MATEMATIČKOG MODELA

Da bismo predusreli moguće pojave nestabilnosti u elektroenergetskom sistemu, proračunavamo stabilnost već u fazi planiranja gradnje novih elektroenergetskih postrojenja. Zbog istog razloga ti se proračuni rade i za analizu pogonskih stanja u postojećem elektroenergetskom sistemu (»za sadašnjost«). Kad se studije stabilnosti rade i za prošlost, kad se analiziraju zbivanja pri raspadu elektroenergetskog sistema koji se uistinu zbio (kako bismo izvukli pouke za budućnost). Premda se još za sada ne obavlja kontrola stabilnosti u toku pogona, pri upravljanju radom elektroenergetskog sistema (»on-line«), ima nagovještaja da će i do toga uskoro doći, pa će se i na taj način utjecati na poboljšanje sigurnosti pogona. Za svaku pojedinu studiju stabilnosti nije ni svrsishodno, a ni ekonomično koristiti matematički model istog stupnja točnosti. Drugim riječima, tijesna je veza između stupnja točnosti matematičkog modela što ćemo ga upotrijebiti za neku studiju i njezine svrhe.

Zahtjevi u pogledu potrebne točnosti studija stabilnosti koje se provode u fazi planiranja gradnje novih elektroenergetskih postrojenja i vodova su veći što je razdoblje za koje unaprijed gradnja planira kraće. Pri »dugoročnom« planiranju, za razdoblje od 10 do 20 godina unaprijed (ili čak i više), rade se samo orijentacijski proračuni stabilnosti, jer su još mnogi po-

daci o sistemu veoma približni, a neki i sasvim nepoznati. Razumljivo je da u tom slučaju treba upotrijebiti najpribližniji matematički model za stabilnost. Štoviše, prijelaznu stabilnost možda još ne treba u toj fazi planiranja gradnje uopće analizirati, već se o stabilnosti može zaključivati na temelju rezultata izvršenih proračuna tokova snaga. Pokazatelj stabilnosti nam može biti u tom slučaju, primjerice kut među nponoma na krajevima najznačajnijih prijenosnih veza.

Pri »srednjoročnom« planiranju, za 2 do 10 godina unaprijed, podaci su o budućem sistemu već poznati prilično detaljno. Matematički model bi s tog gledišta trebao biti mnogo detaljniji nego u prethodnom slučaju. No ovdje se može postaviti još dodatno pitanje: s kojim se stupnjem točnosti modela trebamo zadovoljiti, bez obzira na raspoloživost podataka, koja je u ovom slučaju znatno veća. Možda treba razmotriti da li se isplati usredotočiti veću pozornost na traženje varijanti koje će s obzirom na sve zahtjeve koji se postavljaju pri planiranju imati manje slabih strana nego da previše detaljnom analizom prijelazne stabilnosti ispitamo premalen broj varijanti. Pritom bi one koje u cjelini imaju manje slabih strana, mogli previdjeti. U svakom slučaju, međutim, kad je planiranje već u fazi u kojoj se korigiraju parametri opreme i kad se već traže načini za poboljšanje stabilnosti kako bi se osigurala željena prijenosna moć vodova, te kada se već određuju granice stabilnosti za normalni pogon i za pogon nakon poremećaja, ne smije model za analizu stabilnosti biti prejednostavan.

Najtočniji modeli među onima koji se upotrebljavaju pri planiranju gradnje sistema trebaju biti u konačnoj fazi planiranja, pri projektiranju pojedinih elemenata postrojenja i mreža, kako bi se mogli specificirati zahtjevi u vezi s relejnom zaštitom, automatizacijom postrojenja i sistema, regulatorima uzbude itd. Kako su zahtjevi u pogledu zaštite ili automatike u vezi s brzinom njihova djelovanja ili u vezi s grančnim vrijednostima pri njihovom udešavanju itd., treba tada s matematičkim modelom obuhvatiti sve faktore koji mogu utjecati na što primjereniji izbor. Modeli različitog stupnja točnosti dolaze u obzir i pri analizi prijelazne stabilnosti postojećeg sistema ili za neposrednu budućnost. Parametri sistema su u tom slučaju uglavnom poznati, pa se u načelu mogu proračuni izvesti uzimajući u račun sve faktore koji mogu utjecati na rezultat studije uz željenu točnost proračuna. Treba, međutim, imati na umu da studije što se obavljaju za sadašnjost imaju vrlo različite ciljeve. Zato mogu potrebe za točnošću biti različite: veće ili manje, počevši od proračuna kojima je cilj poboljšanje područja udešenja relejne zaštite ili udešenja automatskih regulatora uzbude, itd., sve do analize pretpostavljenih pogonskih stanja, koja nisu razmatrana u fazi planiranja sistema, a koja su najednom postala zanimljiva s pojavom neplaniranih pogonskih stanja, izazvanih, primjerice s prevelikim brojem generatora ili prijenosnih vodova izvan pogona. Zato se — kad je riječ o studijama što se odnose na sadašnjost ili blisku budućnost — teško odlučiti o

stupnju točnosti i zahtjevima u tom pogledu. Premda se te studije mogu izvesti s veoma detaljnim modelima (ako se to želi), ovdje je u načelu mnogo važnije da budemo sigurni, da su analizirani svi vjerojatni poremećaji, nego da umjesto toga točno proračunamo nedovoljan broj pogonskih situacija.

Konačno, kod studija što se vrše da bi se analizirao tok zbivanja pri raspadu elektroenergetskog sistema koji se stvarno dogodio nema dvojbe kad je u pitanju izbor matematičkog modela. Za te se studije odabire najdetaljniji (mogući) matematički model. To omogućava činjenica da su ulazni podaci za proračun tada u velikoj mjeri poznati, a također se može i dobro procijeniti kojim dijelovima elektroenergetskog sistema i kojim pogonskim stanjima treba posebno obratiti pažnju (na što upućuje nastali poremećaj). Zato ne treba analizirati velik broj varijanti, što je olakšavajuća okolnost pri upotrebi matematičkog modela koji je veoma detaljan po pojedinostima što su uključene u proračun.

Sva u svemu: točnije rezultate možemo dobiti samo korištenjem detaljnijih matematičkih modela za stabilnost i upotrebom točnijih tehnika računanja — i suprotno. To je, međutim, samo načelno i uvjetno rečeno. Praktične studije iziskuju još razrješavanje mnogih nedoumica. Na kraju svega treba razložno odvagati potrebu za matematičkim modelom određenog stupnja točnosti, s obzirom na ekonomičnost traženja podataka i na ukupne troškove za izradu studije.

3. UPOTRIJEBLJENI MATEMATIČKI MODELI

Pri modeliranju sinhronih generatora danas se za studije stabilnosti elektroenergetskog sistema koriste dva različita pristupa. Prvi potječe iz tradicionalne analize stabilnosti (gdje su kao pomoć pri računanju služili izmjenični mrežni analizatori) u kojoj jednačbe matematičkog modela odgovaraju fazorskoj slici sinhronog stroja; drugi pristup počiva na općoj teoriji sinhronih strojeva, kojoj su temelji postavljeni u radovima Blondela (1923), Dohertya i Nicklea (1926) i R. H. Parka (1929. i 1933). Ovdje ćemo u upotrijebljenim matematičkim modelima koristiti potonji pristup, dakle opću, tzv. »dvoosnu teoriju« sinhronih strojeva i Parkove jednačbe (u nešto modificiranom obliku).

Parkovom transformacijom nadomještamo tri fazna statorska namota a , b i c trofaznog sinhronog stroja, s dva ekvivalentna fiktivna fazna namota: s namotom d s osi u tzv. »d-osi« ili »uzdužnoj osi« i s namotom q s osi u tzv. »q-osi« ili »poprečnoj osi« (položaj uzdužne osi se podudara s magnetskom osi rotora, a poprečna je os okomita na nju). Parkovim jednačbama još je obuhvaćen i učinak uzbudnog namota (u d-osi), te dvaju fiktivnih svitaka: svitka D u d-osi i svitka Q u q-osi; sa svicima D i Q je nadomješteno djelovanje prigušnih štapova stroja pri njihovom rotoru ili prigušno djelovanje koje izazivaju vrtložne struje što teku rotorom od punog čelika.

Primjenjujući ortogonalnu Parkovu transformaciju [1], dobivamo sljedeći niz općenitih Parkovih jednadžbi za napone i ulančane tokove sinhronog stroja:

a) Naponske jednadžbe:

$$\begin{aligned} v_d &= -\frac{d\psi_d}{dt} - r i_d - \omega \psi_q \\ v_F &= \frac{d\psi_F}{dt} + r_F i_F \\ 0 &= \frac{d\psi_D}{dt} + r_D i_D \\ v_q &= -\frac{d\psi_q}{dt} - r i_q + \omega \psi_d \\ 0 &= \frac{d\psi_Q}{dt} + r_Q i_Q \end{aligned} \quad (1)$$

(b) Jednadžbe za ulančane tokove:

$$\begin{aligned} \psi_d &= L_d i_d + k M_F i_F + k M_D i_D \\ \psi_F &= k M_F i_d + L_F i_F + M_R i_D \\ \psi_D &= k M_D i_d + M_R i_F + L_D i_D \\ \psi_q &= L_q i_q + k M_Q i_Q \\ \psi_Q &= k M_Q i_q + L_Q i_Q \end{aligned} \quad (2)$$

(c) Jednadžba za elektromagnetski moment stroja:

$$T_e = i_q \psi_d - i_d \psi_q \quad (3)$$

(d) Jednadžba njihanja:

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\omega_R}{2H} (T_m - T_e) \quad (4)$$

Kako ćemo ovdje promatrati samo slučajeve s uravnoteženim električnim veličinama u sve tri faze, izostavili smo jednadžbe nultog sustava.

Iz niza jednadžbi (1) – (4) izvodi se matematički model sinhronog stroja sedmog reda, koji će nam ovdje poslužiti kao osnovni model (»Model I«), s kojim ćemo uspoređivati jednostavnije matematičke modele. Osnovni model ćemo dobiti svođenjem (1) – (4) na oblik:

$$\left[\frac{dx}{dt} \right] = [f]([x], [u], t) \quad (5)$$

gdje je:

[x] – stupčani vektor varijabli stanja
[u] – stupčani vektor uzбудnih veličina
[f] – sustav nelinearnih funkcija.

Više je mogućnosti za izbor varijabli stanja. Ovdje ćemo izabrati:

$$[X]^t = [i_d \ i_q \ i_F \ i_D \ i_Q] \quad (6)$$

U jednadžbama (1) – (6) su upotrijebljene sljedeće oznake:

v_d komponenta u d osi napona na stezaljkama generatora
 v_F napon uzbude
 v_q komponenta u q osi napona na stezaljkama generatora
 i_d komponenta struje armature generatora u d osi
 i_D struja u prigušnom krugu u d osi
 i_F struja uzbude

i_q komponenta struje armature generatora u q osi
 i_Q struja u prigušnom krugu u q osi
 ψ_d komponenta ulančenog magnetskog toka armaturnog namota u d osi
 ψ_q komponenta ulančenog magnetskog toka armaturnog namota u q osi
 ψ_D ulančeni magnetski tok prigušnog kruga u d osi
 ψ_F ulančeni magnetski tok uzbudnog namota
 ψ_Q ulančeni magnetski tok prigušnog kruga u q osi
 r otpor armaturnog namota
 r_D otpor prigušnog kruga u d osi
 r_F otpor uzbudnog namota
 r_Q otpor prigušnog kruga u q osi
 ω kružna frekvencija
 L_d induktivitet armaturnog namota u d osi
 L_D induktivitet prigušnog kruga u d osi
 L_F induktivitet uzbudnog namota
 L_q induktivitet armaturnog namota u q osi
 L_Q induktivitet prigušnog kruga u q osi
 M_D međuinduktivitet armaturnih namota i prigušnog kruga u d osi
 M_F međuinduktivitet armaturnih namota i uzbudnog namota
 M_Q međuinduktivitet armaturnih namota i prigušnog kruga u q osi
 M_R međuinduktivitet uzbudnog namota i prigušnog kruga u d osi
 k $\sqrt{3/2}$
 T_e elektromagnetski moment vrtnje
 δ fazni pomak q osi s obzirom na referentnu os; kut opterećenja
 ω_R sinhrona brzina vrtnje
 T_m moment vrtnje pogonskog stroja
 H konstanta tromosti rotirajućih masa.

3.1. Matematički model sedmog reda sustava generator – impedancija – sabirnice krute mreže (»Model I«)

Ovaj matematički model, u kojem su struje u namotajima varijable stanja (vidi (6)), dobiva se iz jednadžbi (1) – (4). Napišemo li najprije derivacije ulančenih tokova (danih s izrazima (2)), koje zatim uvrstimo u (1), dobit ćemo, nakon preuređenja napisanih izraza, te pišući u sažetom obliku, sljedeću vezu između napona i struja:

$$[v] = - [R] + \omega [N] [i] - [L] \left[\frac{di}{dt} \right] \quad (7)$$

Pojedine matrice u (7) su:

$$[R] = \begin{bmatrix} r & & & & \\ & r_F & & & \\ & & r_D & & \\ & & & r & \\ & & & & r_Q \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[N] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & L_q & kM_Q \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -L_d & -kM_F & -kM_D & 0 & 0 \\ 0 & M_F & M_D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

model. U najjednostavnijem modelu preostanu dvije diferencijalne jednačbe prvog reda, koje, zapravo, nadomještaju jednačbu njihanja rotora, koja je u izvornom obliku nelinearna diferencijalna jednačba drugog reda.

3.2. Jednostavniji matematički modeli

Model II. Uvode se dodatne pretpostavke uz one za koje je izveden model sedmog reda: zanemaruje se učinak prigušnih krugova u d i q osi. Matrična diferencijalna jednačba tog modela dobije se iz (14) izostavljanjem trećeg i petog retka i stupca. Model II je stoga petog reda.

Učinak prigušnih krugova pri njihanju rotora može se, međutim, obuhvatiti i tim modelom, i to tako da uvrstimo primjerenu (veću) brojčanu vrijednost koeficijenta prigušenja D .

Model III. Kao u modelu sedmog reda, uzimamo i ovdje u obzir pri njihanju učinak prigušnih krugova u d i q osi. Zanemarujemo, međutim, učinke članova $(d\psi_d/dt)$ i $(d\psi_q/dt)$, tzv. napona transformacije, što ih nalazimo u naponskim jednačbama statora u (1). Te jednačbe tada postaju:

$$\begin{aligned} v_d &= \tau i_d - \psi_q \\ v_q &= -r i_q + \psi_d \end{aligned} \quad (15)$$

Daljnje su pretpostavke da je u (14) $\omega = \omega_n$ (ω_n je sinhrona brzina vrtnje), te da je $L''_d = L''_q$. Ovaj matematički model također je petog reda.

Model IV. Poput modela III i ovdje se zanemaruju naponi transformacije u naponskim jednačbama statora i pretpostavlja se da je u tim jednačbama $\omega = \omega_n$. K tome se još zanemaruje i učinak prigušnog namota u d -osi. Matematički model je stoga četvrtog reda.

Budući da homogeni cilindrični rotor djeluje poput prigušnog namota u q -osi, ovaj je model primjeren takvom tipu sinhronog stroja.

Od rotorskih krugova su ovim modelom obuhvaćeni uzbudni krug (u d -osi) i ekvivalentni prigušni krug u q -osi. Budući da u ovim krugovima prevladavaju prijelazni učinci, to su, znači, u ovom modelu zanemareni suptranzijentni efekti.

Model V. U odnosu prema prethodnom modelu ovaj se razlikuje utoliko što je još zanemareno i djelovanje prigušnog kruga u q -osi (eliminirana su, dakle, oba prigušna kruga). Od rotorskih krugova preostao je sada samo uzbudni namot (d -osi). Ostale su pretpostavke od prije: zanemareni naponi transformacije i pretpostavljeno $\omega = \omega_n$ u naponskim jednačbama statora. Model je, dakle, trećeg reda.

Model VI. Ovaj je model najjednostavniji. Opisan je s dvije diferencijalne jednačbe (nelinearne) prvog reda. Uz iste pretpostavke kao u prethodnom modelu ovdje je pridodana i pretpostavka da je glavni ulančeni tok konstantan u toku promatrane prijelazne pojave. Model je drugog reda.

4. NUMERIČKI PODACI ZA PRORAČUN STABILNOSTI

Upotreba složeniji matematičkih modela generatora iziskuje poznavanje numeričkih vrijednosti većeg broja parametara stroja. Često je do svih vrijednosti parametara teško doći (tada nam ne preostaje drugo nego da ih pretpostavimo). Ovdje smo iskoristili podatke o strojevima što se nalaze u [1]. Kako su za mnoge strojeve i ovdje podaci nepotpuni, izabrali smo samo one strojeve za koje su dane sve ili gotovo sve vrijednosti parametara što nam trebaju za proračun (gdje nisu zadani svi podaci, pretpostavili smo im vrijednost, no to je bila najviše po jedna vrijednost za pojedini stroj).

Brojčane podatke kojima smo se služili navodimo ovdje u tablici 1. Radi mogućnosti usporedbe navodimo i oznake za strojeve iz [1] (slovo H pred rednim brojem generatora je oznaka za hidrogenerator određenog rednog broja, isto tako je slovo F oznaka za generator u elektrani na fosilno gorivo, a slovo N za generator u nuklearnoj elektrani). Vrijednosti parametara uz koje je znak $+$ pretpostavili smo. Ukupno smo deset generatora podvrgli ispitivanjima: tri hidrogeneratorska, pet turbogeneratorska za elektrane na fosilno gorivo i dva turbogeneratorska za pogon u nuklearnim elektranama. Odabrali smo generatore čije se nazivne snage nalaze unutar širokih granica (od nekoliko desetaka do više od tisuću MVA).

Pogonsko stanje što prethodi poremećaju odabrali smo tako da odgovara radu generatora s nazivnim vrijednostima parametara pogonskog stanja.

Poremećaj u sistemu koji izaziva elektromehaničku prijelaznu pojavu jest trolni kratki spoj na sabirnicama krute mreže, koji traje neko vrijeme i zatim nestaje sam od sebe.

Analizu provodimo uspoređujući kritična vremena isklapanja kvara (određujemo ih pokušavanjem) i uspoređujući oblike krivulja njihanja u početnom i kasnijem razdoblju prijelazne pojave.

5. REZULTATI ANALIZE S KOMENTARIMA

Kritična vremena isklapanja kvara (u milisekundama), dobivena za osam strojeva s matematičkim modelima različitog stupnja točnosti navedena su u tablici 2.

Najtočnije vrijednosti kritičnih vremena isklapanja (model I) ujedno su i najdulje. To je razumljivo jer su modelom sedmog reda obuhvaćene i suptranzijentne pojave (posljedica su djelovanja prigušnih krugova), što kod ostalih modela nije slučaj.

Odstupanja u postotku kritičnih vremena dobivenih s jednostavnijim modelima od vrijednosti dobivenih s modelom sedmog reda navedena su u tablici 3. Primjećujemo da su kod hidrogeneratorska kritična vremena dobivena s modelom II kraća otprilike samo 6-11% od vrijednosti što su dobivene s modelom I. Kod turbogeneratorska su, međutim, razlike veće (između 24 i 34%), s iznimkom generatora N3 (11%). Kritična vremena što su dobivena s modelom III ne

Tablica 1. Podaci o generatorima

Oznaka stroja	F1	FS	F11	F13	F18	H4	H9	H15	N3	N6
Naz. snaga MVA	25.00	160.00	270.00	384.00	590.00	35.00	86.00	158.00	500.00	1280.00
Naz. napon kV	13.80	15.00	18.00	24.00	22.00	13.80	13.80	13.80	18.00	22.00
Naz. cos (ρ)	0.80	0.85	0.85	0.85	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90	0.95
x_d (pu)	1.250	1.700	1.700	1.798	2.110	1.000	1.050	0.920	1.782	2.020
x'_d (pu)	0.232	0.245	0.256	0.324	0.280	0.260	0.320	0.300	0.444	0.358
x''_d (pu)	0.120	0.185	0.185	0.260	0.215	0.235	0.258	0.220	0.283	0.237
x_q (pu)	1.220	1.640	1.620	1.778	2.020	0.620	0.670	0.510	1.739	1.860
x'_q (pu)	0.715	0.380	0.245	1.051	0.490	0.620	0.670	0.510	1.201	0.565
x''_q (pu)	0.120	0.185	0.147	0.255	0.215	0.264	0.306	0.290	0.277	0.237
x_l (pu)	0.134	0.110	0.155	0.193	0.155	0.170	0.140	0.130	0.275	0.205
x_i (pu)	0.120	0.115	0.140	0.237	0.215	0.260	0.312	0.255	0.280	0.215
x_0 (pu)	0.021	0.100	0.060	0.132	0.150	0.090	0.130	0.120	0.195*	0.195
τ_{dO} (s)	4.750	5.900	4.800	5.210	4.200	7.100	4.000	5.200	6.070	9.100
τ'_s (σ)	0.035	0.035*	0.027	0.033	0.022	0.035	0.044	0.024	0.035	0.035*
τ'_{qO} (s)	0.210	0.076	0.100*	0.042	0.062	0.040*	0.033	0.034	0.152	0.059
τ_a (s)	0.177	0.240	0.297	0.450	0.140	0.200	0.286	0.360	0.310	0.180
W_R (MWs)	125.40	634.00	1115.00	1006.50	1368.00	254.00	233.00	502.00	1990.00	4690.00
H (s)	5.016	2.621	4.129	2.621	2.318	7.257	2.710	3.177	3.980	3.664
τ_a (pu)	0.0014	0.0031	0.0016	0.0014	0.0046	0.004	0.006	0.002	0.0041	0.0019

Tablica 2. Kritična vremena isklapanja kvara t_{kr} (ms) dobivena s različitim matematičkim modelima generatora

	Generator							
	H4	H9	H15	F1	F13	F18	N3	N6
Model I	406	247	276	414	316	265	262	329
Model II	382	228	247	313	207	196	233	233
Model III	371	220	236	308	199	188	231	223
Model V i VI	178	119	159	66	39	26	64	39

razlikuju se bitno (2–3%) od onih što smo ih dobili s modelom II, uz napomenu da su vrijednosti s modelom III kraće (netočnije). Samo u jednom slučaju zabilježili smo međusobno jednake vrijednosti (stroj N6). Što se pak tiče modela V i VI, valja reći da oni daju tako kratka kritična vremena prema točnim vrijednostima da je očito da te modele ne smijemo koristiti u studijama prijelazne stabilnosti sustava generator – sabirnice krute mreže. Sve u svemu određujemo li samo kritična vremena, preporučljivo je računati s modelom sedmog reda. Nemamo li sve potrebne podatke, možemo upotrijebiti i model II ili III, te računati s tim da su stvarna kritična vremena dulja za dvadesetak posto. Promotrimo li krivulje

njihanja u njihovu uzlaznom dijelu neposredno nakon pojave kvara, uočiti ćemo i razlog tome: kod modela I izrazito je sporiji rast kuta opterećenja u toku prvog njihaja nego kod ostalih modela. Štoviše, u nekim se slučajevima može primijetiti i dosta izražen povratni njihaj neposredno nakon pojave kvara (npr. na slici 5a). Što je matematički model jednostavniji, to je nagliji rast kuta opterećenja u toku prvog njihaja, što se odražava u kraćem kritičnom vremenu.

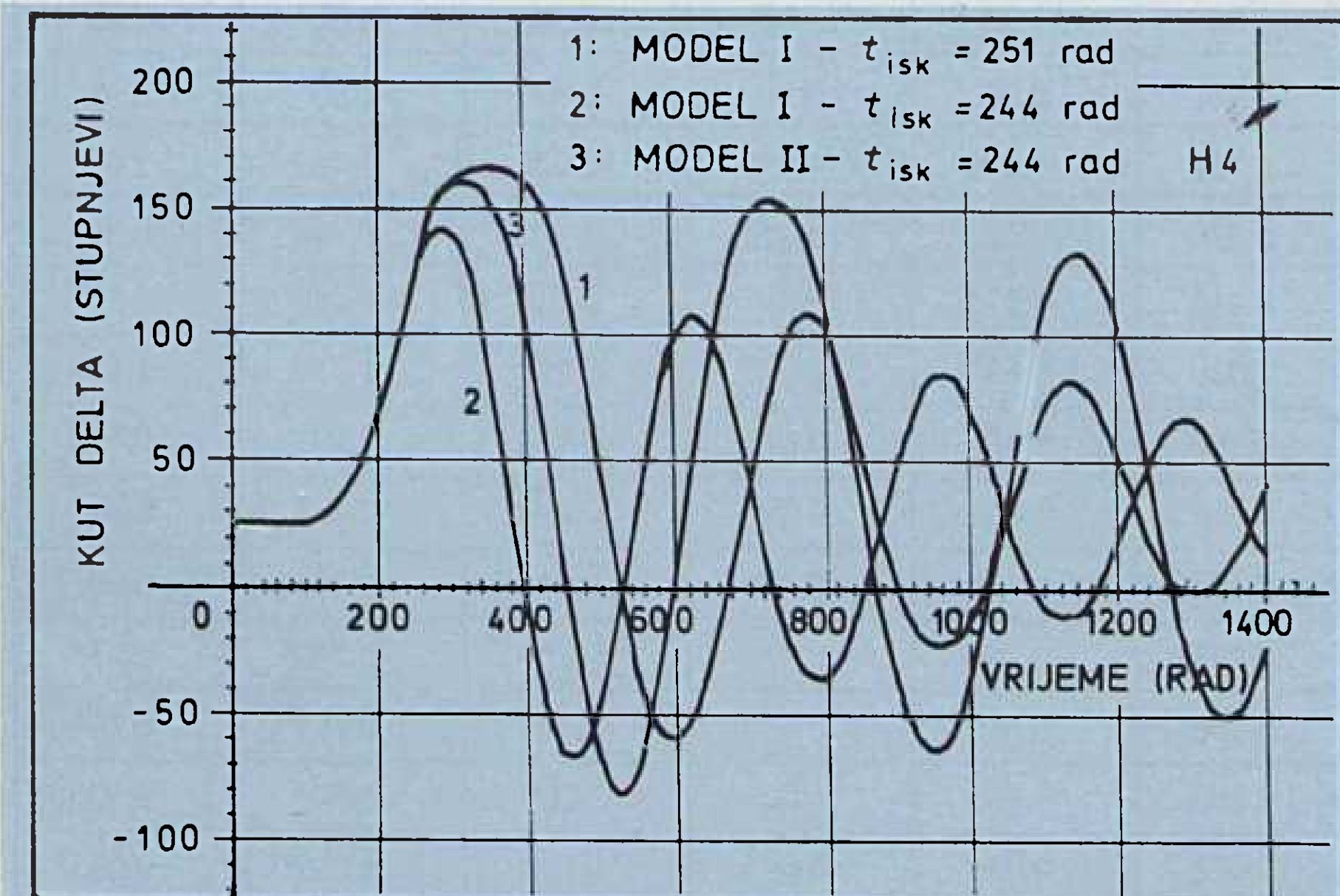
Sa stajališta prijelazne stabilnosti zanimljivo je, međutim, promatrati i dalji tok prijelazne pojave (do npr. 2–3 s), kako bismo uočili učinke pojedinih pretpostavki na oblik krivulje njihanja u njenom kasnijem dijelu.

Usporedimo li oblike krivulja njihanja što su dobiveni s modelima I i II za vremena isklapanja kvara koja odgovaraju njihovim kritičnim vremenima, moramo obratiti pozornost na znatno slabije prigušenje pri računanju s potonjim modelom (sl. 1). Budući da se modeli razlikuju samo u tome da li je ili nije li uzeto u obzir djelovanje prigušnih krugova, to se, uspoređujući oblike krivulja njihanja, uočava kako se na njihov oblik odražava zanemarenje efekata tog prigušenja. Za dulje promatranje prijelazne pojave,

Tablica 3. Relativna odstupanja (%) kritičnih vremena isklapanja kvara t_{kr} , dobivenih s jednostavnijim modelima, od vrijednosti dobivenih s modelom sedmog reda (model I)

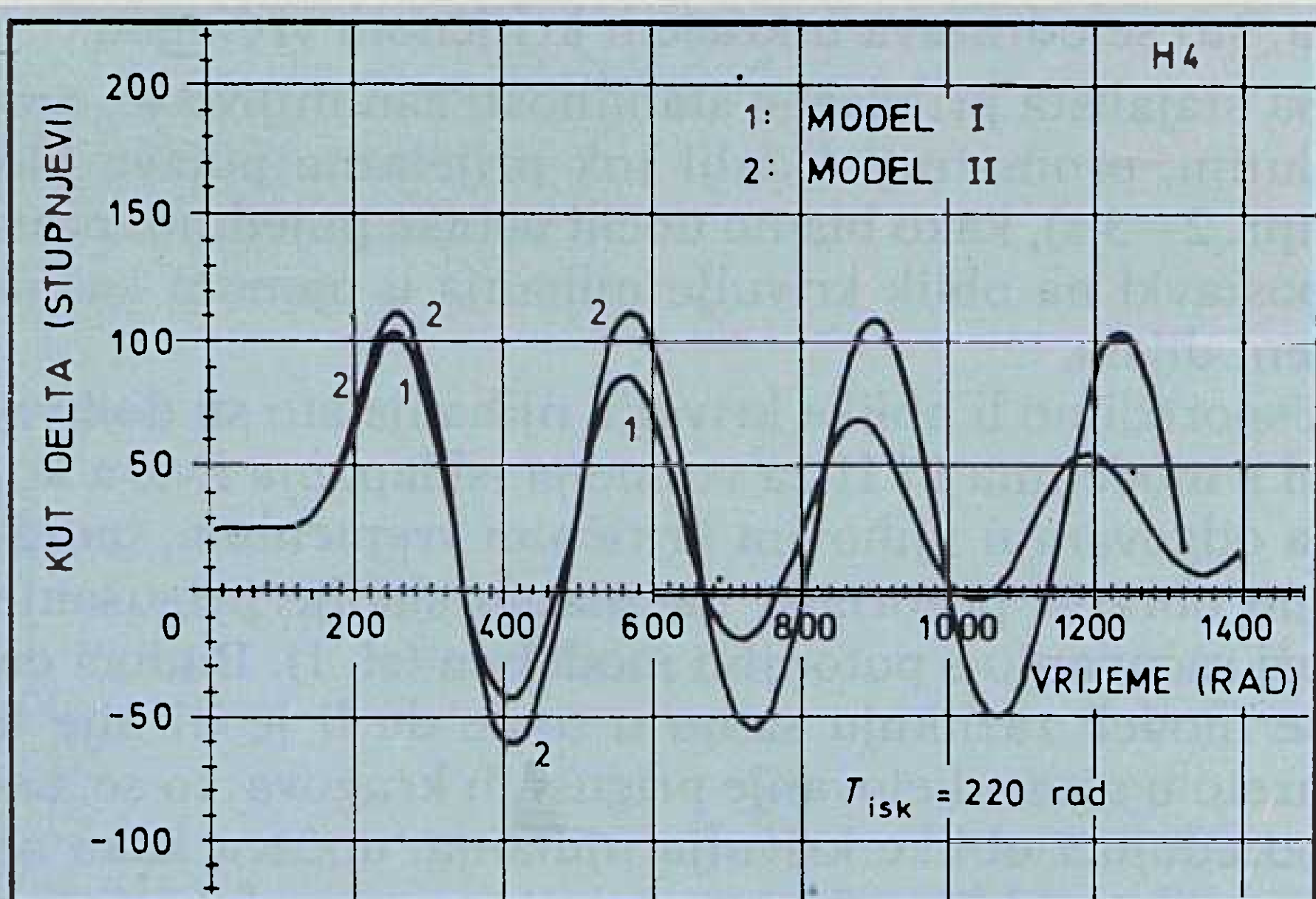
	Generator							
	H4	H9	H15	F1	F13	F18	N3	N6
Model II	–5,9	–7,5	–10,8	–24,4	–34,4	–26,0	–11,1	–32,3
Model III	–8,5	–10,7	–14,4	–25,6	–36,9	–29,0	–12,1	–32,3
Model V i VI	–56,2	–51,6	–42,3	–83,9	–87,4	–90,0	–75,5	–87,9

nije dakle model II preporučljiv (ako prigušne učinke spomenutih krugova ne uvedemo u račun pomoću koeficijenta prigušenja, što međutim nije sigurno s obzirom na neizvjestnost pri njihovu predviđanju).



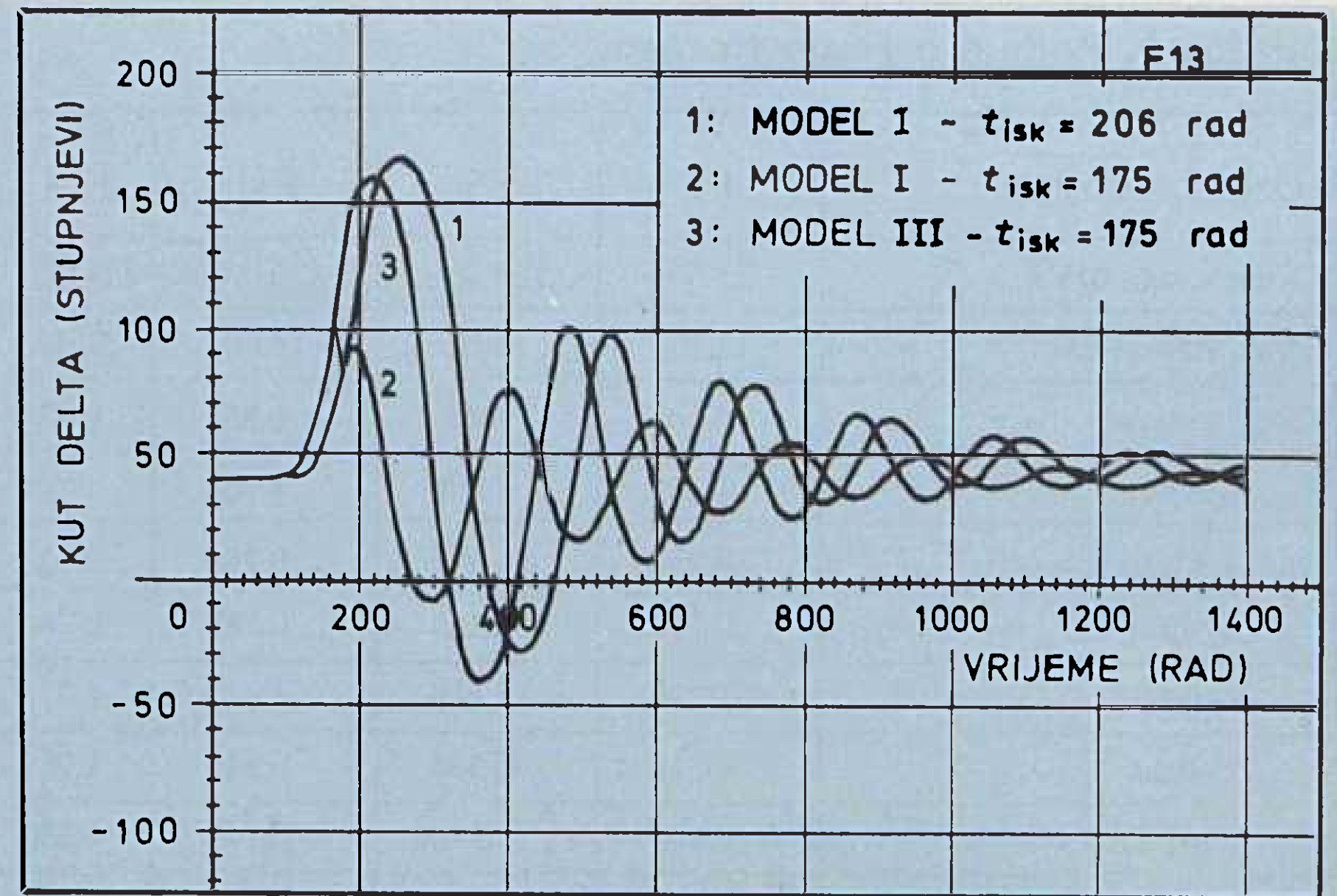
Slika 1.

Isto je tako zanimljivo usporediti krivulje njihanja što se dobiju pri kraćim vremenima isklapanja kvara od kritičnih. Naravno, amplitude provog njihaja tada će biti niže u odnosu prema amplitudama pri kritičnom vremenu isklapanja, ali će se opet i u daljem toku prijelazne pojave javiti znatnije razlike među amplitudama pojedinih (odgovarajućih) njihaja što su dobiveni s modelom I, odnosno s modelom II (sl. 2). Pri svakom daljnjem njihanju te razlike bivaju sve veće, sve dok se oscilacije krivulje što je dobivena s modelom I znatnije ne priguše.

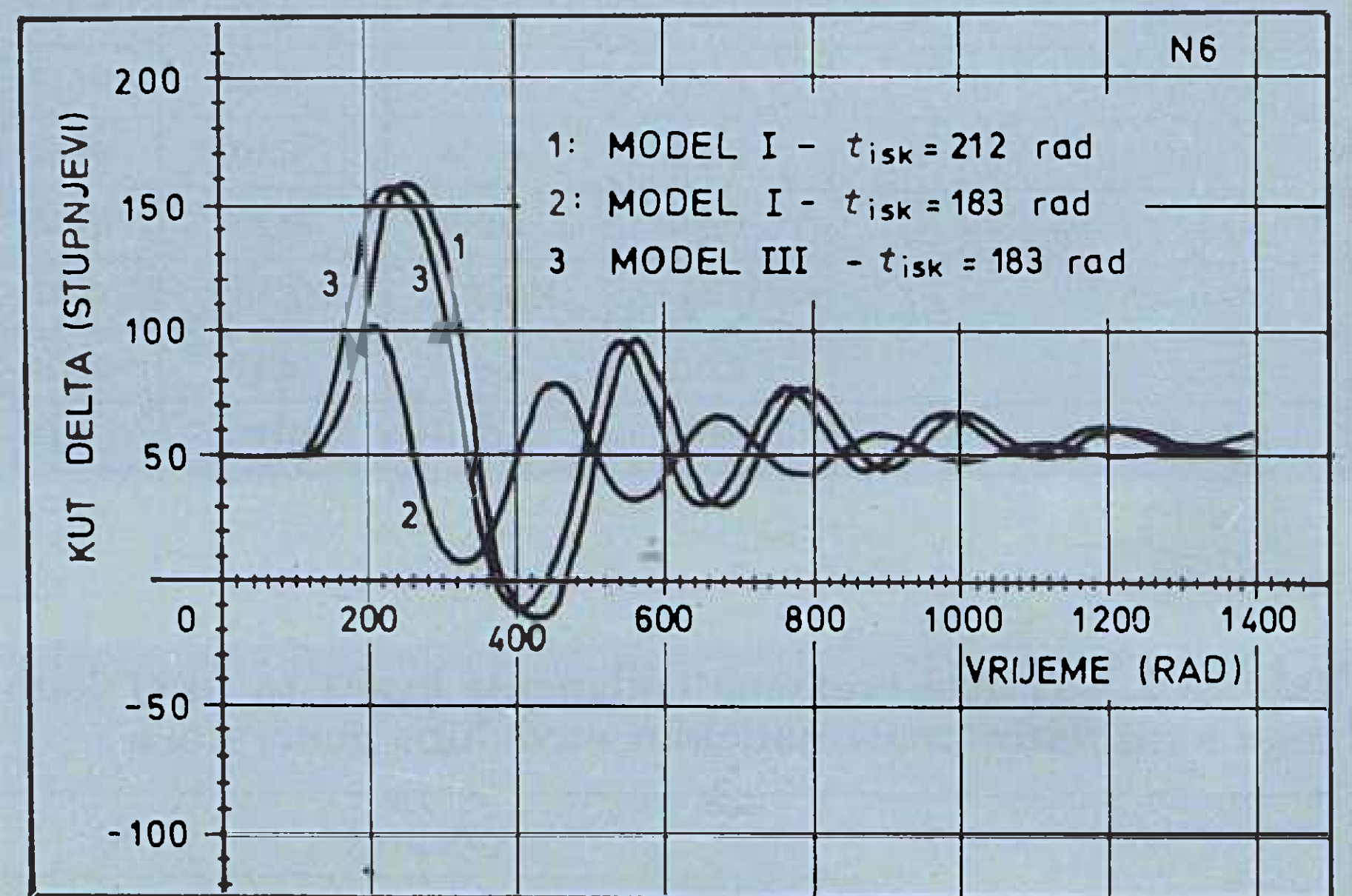


Slika 2.

Uspoređujući kritična vremena što smo ih dobili s modelima II i III, mogli smo ustvrditi da se ona bitno ne razlikuju. Budući da kod modela III nisu zanemareni učinci prigušnih krugova, ali su uvedene neke druge pretpostavke, pogledajmo u kojoj se mjeri to očituje na daljnji tok prijelazne pojave kad ju usporedimo s krivuljom modela I (sl. 3a za stroj F13 i sl. 3b za N6).



Slika 3a

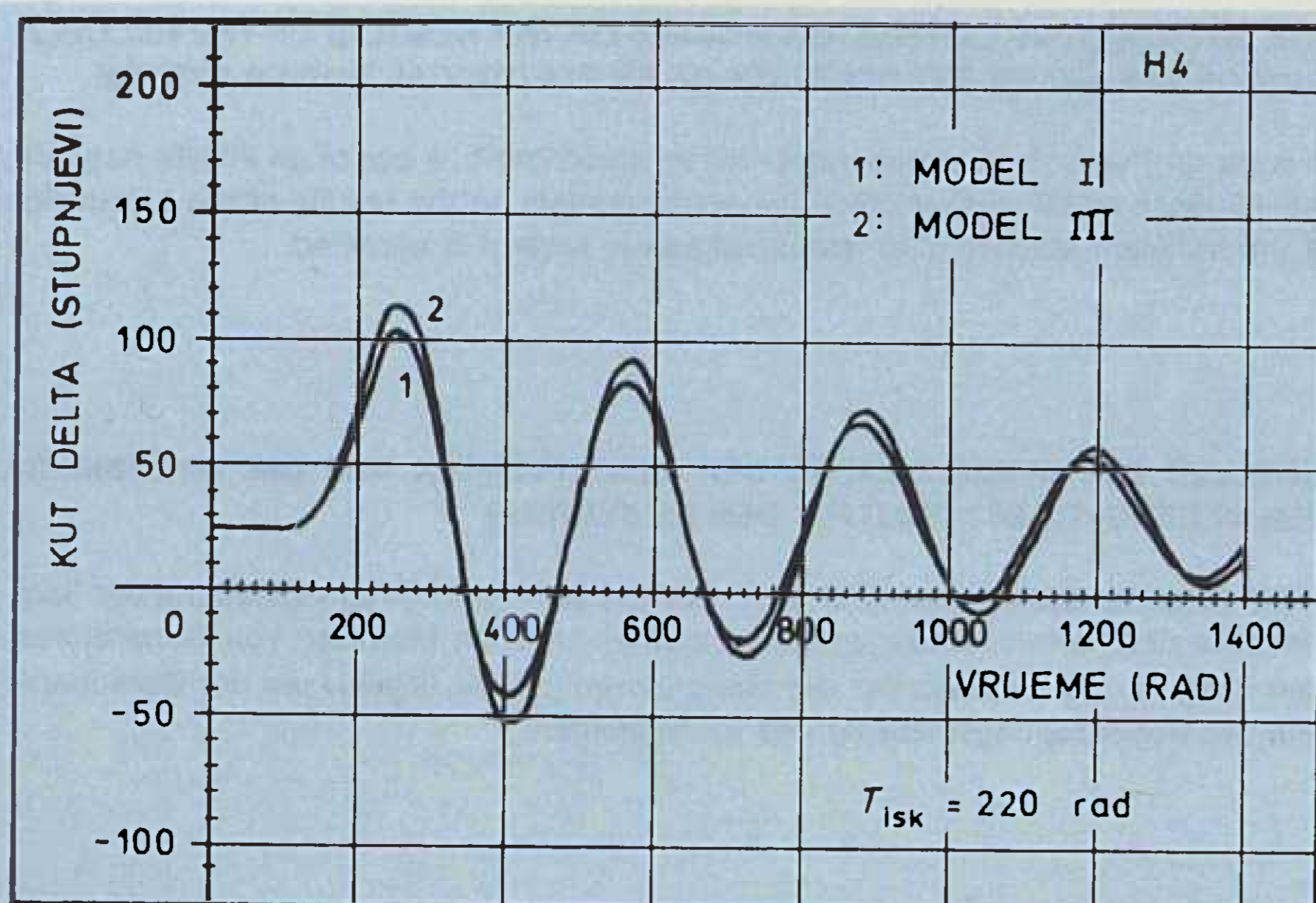


Slika 3b

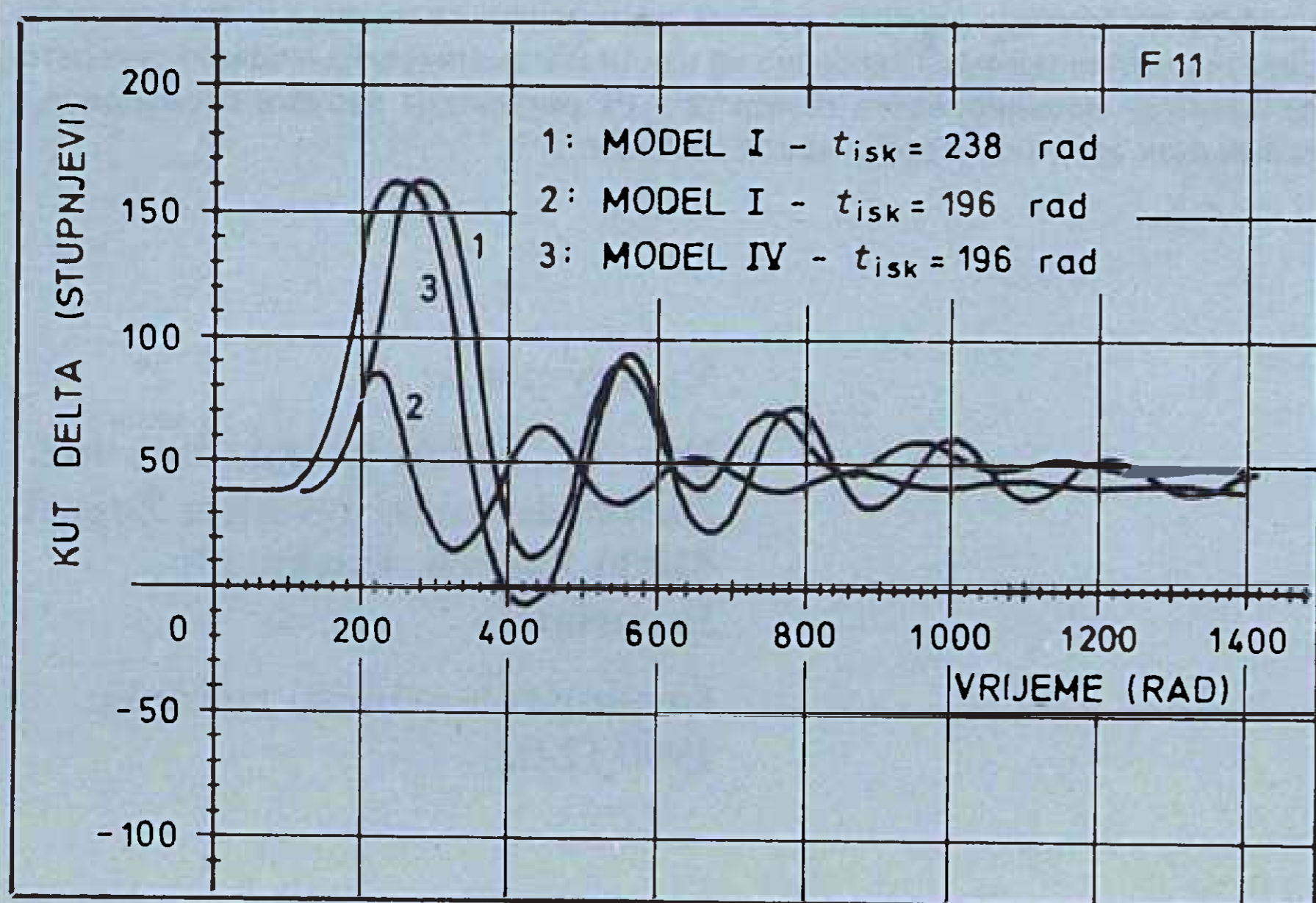
Prema slikama 3a i b, a i ostalima koje nisu prikazane, krivulje njihanja se znatnije ne razlikuju, a pogotovo ne s obzirom na amplitude odgovarajućih njihaja (nešto više u faznom pomaku) kada su nacrtane za kritična vremena što odgovaraju pojedinim modelima (krivulje 1 i 3). No ako se prikaže krivulja njihanja za model I za vrijeme isklapanja kvara koje odgovara kritičnom vremenu modela III, amplitude te krivulje su bitno niže od prethodnih (razlika je to veća što se više razlikuju njihova kritična vremena), kako to pokazuju krivulje 2. Pri kraćim vremenima isklapanja kvara razlike među modelima I i III bivaju manje jer i vremenski pomak među krivuljama se smanjuje. Ovdje smo to ilustrirali za stroj H4 (sl. 4), gdje su razlike minimalne.

Sve u svemu, uspoređujući krivulje njihanja što se dobiju s najdetaljnijim modelom i s modelom III, opažamo priličnu podudarnost u drugom i kasnijim njihajima. Zato nam i model III može dati prilično zadovoljavajuće rezultate kad prijelaznu pojavu promatramo u toku više sekundi.

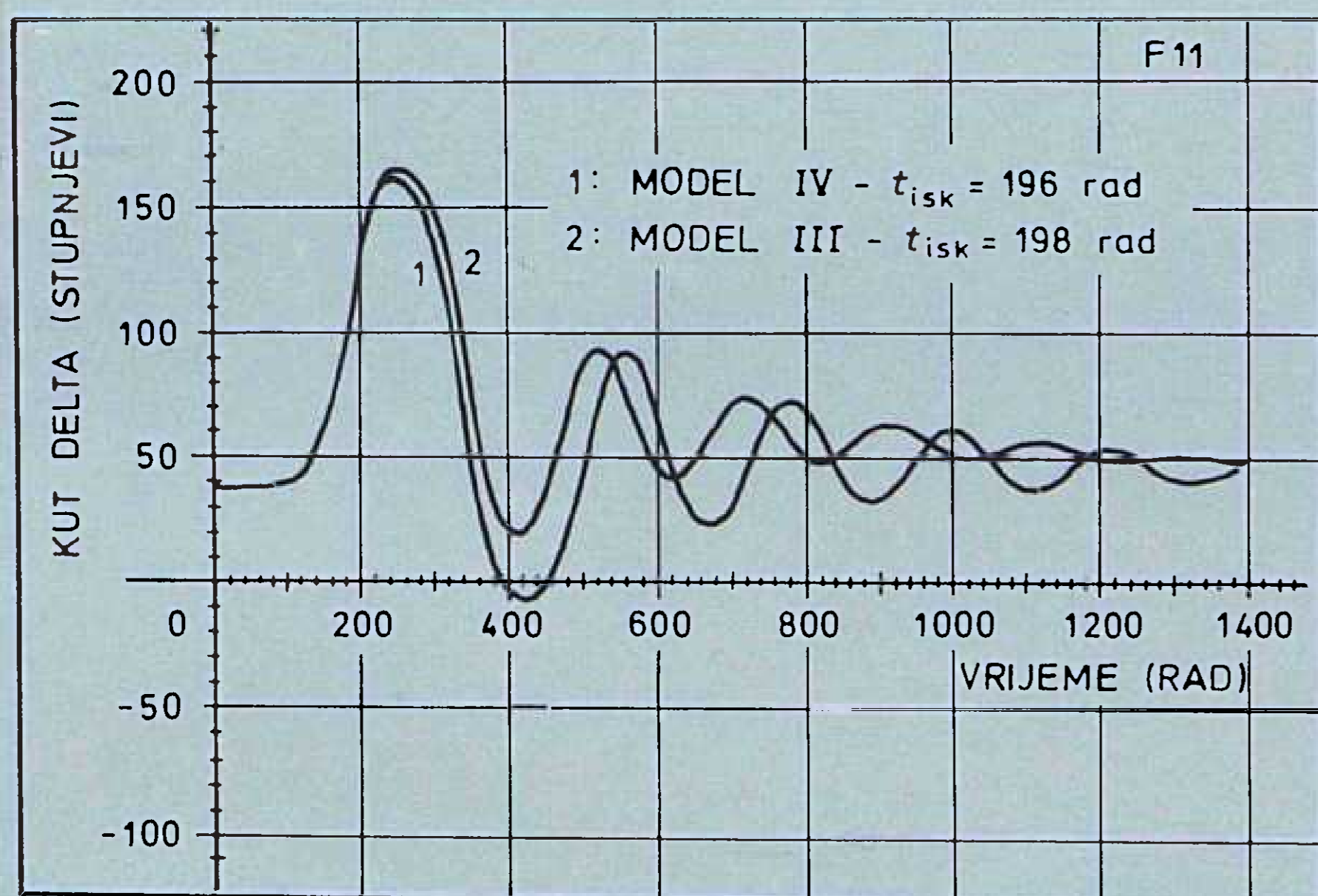
S modelom IV smo proveli samo jedno ispitivanje (mora za stroj biti ispunjeno $x'_d = x'_q$). Za stroj F11 su nacrtane krivulje njihanja na slici 5a (gdje uspoređujemo model IV s modelom I) i na slici 5b (gdje uspoređujemo modele IV i III).



Slika 4.



Slika 5a

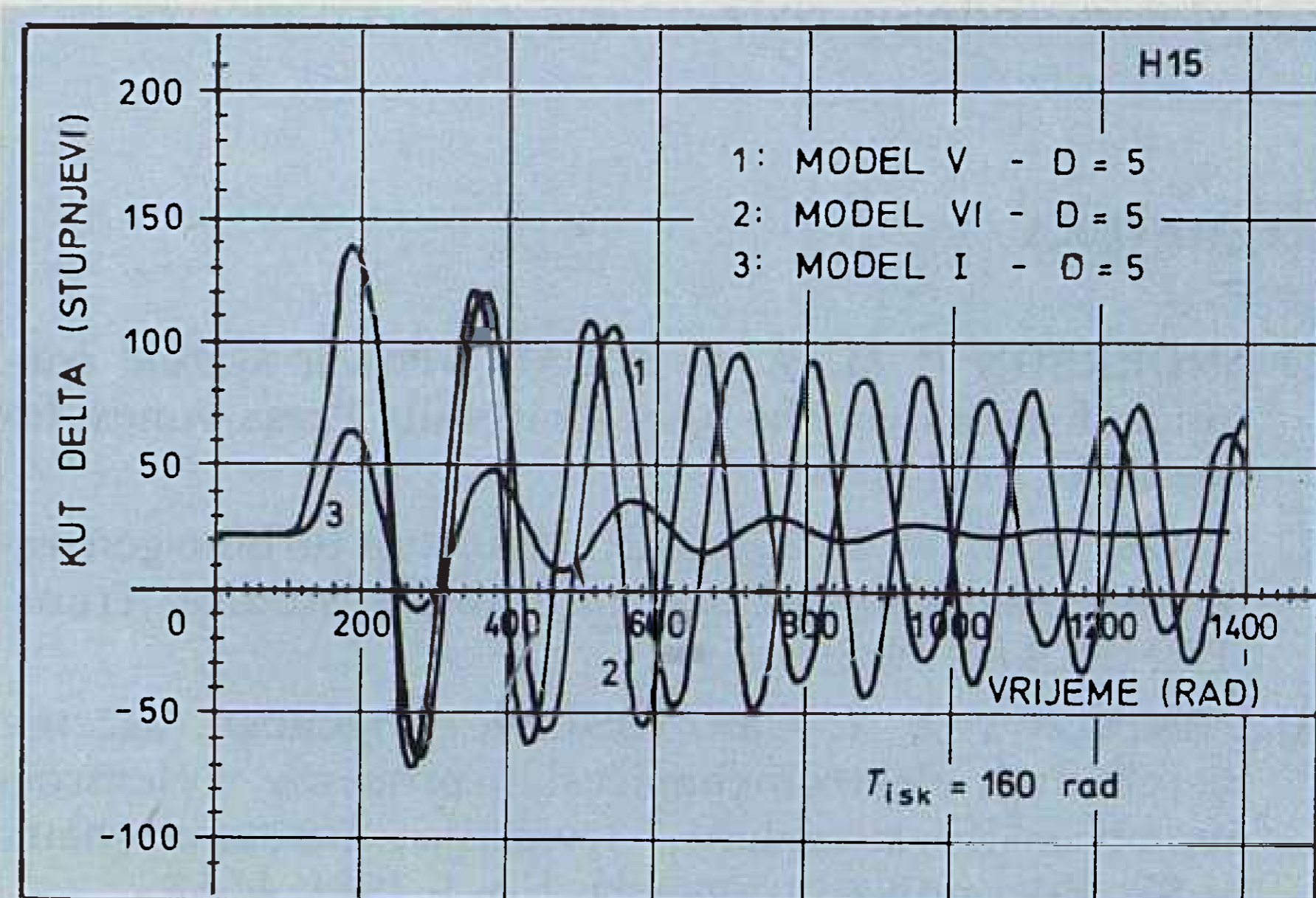


Slika 5b

Kritično vrijeme isklapanja kvara je za model I 138 rad, za model III 98 rad, a za model IV 96 rad. Krivulje njihovanja nacrtane za ta vremena pokazuju veoma slične međusobne odnose, kao i prije pri usporedbi modela III s modelom I. Ustvari, modeli III i IV daju veoma sličan rezultat kada je $x_d = x_q$. Što je razlika među tim reaktancijama veća, rezultati dobiveni s ova dva modela sve se više razlikuju, odnosno model IV postaje netočniji kako u pogledu vrijednosti t_{kr} ,

tako i cijelom kasnijem dijelu krivulje njihovanja. Ono što još valja uočiti jest veća amplituda povratnih njihaja kod modela IV nego kod modela III (sl. 5b), a i kod modela I (sl. 5a), dok su tjemene vrijednosti kuta opterećenja približno jednake (u oba slučaja). Isto vrijedi i za vremena isklapanja kvara kraća od kritičnih.

Krivulje njihovanja dobivene s modelima V i VI toliko se razlikuju od krivulje dobivene s najdetaljnijim modelom da ne daju kod sustava generator – sabirnice krute mreže ni izdaleka vjernu sliku o njihovanju rotora (isto kao što se veoma razlikuju i kritična vremena). Za kritična vremena što odgovaraju modelima V i VI to je za stroj H15 prikazano na slici 6.



Slika 6.

Navedimo na kraju kako se pojednostavnjenja matematičkih modela odražavaju na trajanje proračuna. U usporedbi s najdetaljnijim modelom (Model I) trajanje je proračuna s modelom II za 50% kraće, s modelom III za 57%, a s modelom IV za 65%.

6. ZAKLJUČAK

S različitim matematičkim modelima sinhronog generatora, koji se međusobno razlikuju u pojedinostima što su obuhvaćene modelom, dobivene su pokušavanjem i međusobno su uspoređene vrijednosti kritičnih vremena isklapanja kvara, a predloženi su i oblici krivulja njihovanja.

Što je matematički model generatora jednostavniji, to su za pojedini generator kraće vrijednosti kritičnog vremena, jer se sve naglije mijenja kut opterećenja na početnom (uzlaznom) dijelu prvog njihaja. Izmjerena odstupanja kritičnih vremena dobivenih s modelima II, III i IV, od modela sedmog reda, kreću se između 6 i 37%. Pritom su vrijednosti što su dobivene s modelom II u svakom pojedinom slučaju točnije za 1 do 4% od onih s modelom III.

S obzirom na oblik krivulja njihovanja u kasnijem dijelu, prijelazne pojave (nakon prvog njihaja) valja reći da pri odgovarajućim kritičnim vremenima isklapanja kvara pokazuje model III najbolju (i to veoma dobru u pogledu amplituda odgovarajućih njihaja) podudarnost s modelom sedmog reda (model I). Kod

kraćih vremena isklapanja od kritičnih još je bolje poklapanje krivulja jer se i fazni pomak među njima smanjuje, pa se krivulje njihanja mogu gotovo i poklopiti.

Usporedili smo i krivulje njihanja što su za jedan generator s rotorom od punog čelika dobivene s modelima IV i I. Kad su krivulje nacrtane za vremena isklapanja, što odgovaraju pojedinim kritičnim vremenima, primijećene su iste gornje vrijednosti amplituda odgovarajućih njihaja, dok su odgovarajuće donje amplitude primjetno jače izražene kod modela IV. Modeli V i VI nisu upotrebljivi za analizu prijelazne stabilnosti sustava generator — sabirnice krute mreže jer su prevelika odstupanja kako kritičnih vremena, tako i oblika krivulja njihanja od onih dobivenih s modelom sedmog reda.

LITERATURA

- [1] ANDERSON P. M., A. A. FOUAD, »Power system control and stability«, The Iowa University Press, Ames, Iowa, USA, 1977.
- [2] LOKAY H. E., R. L. BOLGER, »Effect of turbine-generator representation in system stability studies«, Trans. IEEE-PAS-84, 1965, 933-942
- [3] VENIKOV V. A., T. A. POGOSJAN, »O točnosti rasčeta pjerhodnih elektromehaničkih procesov v elektroenergetičeskih sistemah«, Izvjestija Akademii nauk SSSR, Energetika i transport, No. 1, 1985, 44-52.

THE INFLUENCE OF GENERATOR MODELS ON THE RESULTS OF THE CALCULATION OF THE TRANSIENT STABILITY OF AN ELECTRICAL POWER SYSTEM

In work on the system of generator-transmission line-bus-bar of an infinite network, the influence of six mathematical generator models on the results of the calculation of the transient stability of an electrical power system is analyzed.

EINFLUSS DES MODELLIERENS DER GENERATOREN AUF DIE ERGEBNISSE DER UEBERGANGSSTABILITAET DES EE SYSTEMS

In der Arbeit analysiert man im System Generator — Uebertragungsleitung der Sammelstelle des harten Netzes an sechs mathematischen Modellen von Generatoren, den Einfluss des Modellierens der Generatoren auf die Ergebnisse der Berechnungen der Uebertragungsstabilität des EE Systems.

ВОЗДЕЙСТВИЕ СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНОЙ У СТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В работе по системе генератор-линия электропередачи-шины неподвижно закрепленной сети проанализировано на шести математических моделях генераторов влияние моделирования генератора на результаты расчета переходной у стойчивости электроэнергетической системы.

Naslov pisca:

Doc. dr. Srđan Babić, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet Zagreb,
41000 Zagreb, Unska 17,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1990-12-02

ELEKTROENERGETSKE PRILIKE NA PODRUČJU GRADA ILOKA I OKOLICE

Damir Pečvarac, Osijek

UDK 621.31:621.316

PRETHODNO PRIOPCENJE

U članku se navodi sadašnje stanje električne mreže i konzuma, kao i rješenje budućeg. Osnovni problem je nepouzdana rješenja sadašnjeg stanja napajanjem iz susjedne republike.

Ključne riječi: električna mreža, konzum, pouzdanost.

UVOD

Grad Ilok i okolica smješteni su u najistočnijem dijelu Republike Hrvatske — granicom prema Vojvodini: sa sjevera Dunavom, a s istoka i juga obrnucima i tjemnom Fruške gore. Ovo područje zauzima oko 100 km² što predstavlja jednu šestinu cjelokupnog teritorija vukovarske općine. U Iloku i okolici — selima Šarengrad i Bapska živi oko 9 000 stanovnika. Ovaj poznati »vinogradarski raj« uz poljoprivredu i laku industriju, sa svojim povijesnim, kulturnim i arhitektonskim vrijednostima, predstavlja jedno od najznačajnijih područja kontinentalnog turizma u Republici Hrvatskoj.

U elektroenergetskom pak pogledu, što je i tema ovog rada, najbitnije za izreći je da se opisano područje električnom energijom ne opskrbljuje iz elektroenergetskog sustava Hrvatske, nego iz »Elektrovojvodine« Novi Sad. Takva opskrba traje od početka elektrificiranja, pa sve do danas. Cijelo područje napaja se alternativno iz dvije TS 20/0,4 kV u Bačkoj Palanci i u režimu jednostrano napajano potrošača.

Nesuglasje između veličine područja, potreba stanovništva i industrije s jedne strane, te potrebne podrške energetske izvora, sigurnosti i pouzdanosti električne mreže s druge strane, rezultira malom sigurnošću opskrbe, dugim i čestim prekidima u dobavi električne energije i dakako gospodarskim gubicima.

Na području Hrvatske elektroprivrede — Proizvodnje, prijenosa i distribucije Osijek, kojemu Ilok i okolica trebaju i energetske pripadati, ne postoji ovako tehnički nepovoljno rješenje ni kod manjih naselja, a teško ga je pronaći i na širem području.

Višegodišnja odlaganja rješenja elektroenergetske problematike uzrokovana su položajem Iloka, političkim utjecajima na ovom području i svakako nebriгом kako donedavne vlasti, tako i odgovornih stručnih institucija.

Cilj je stoga u ovome radu prvi put javnosti na sažet način iznijeti i ocijeniti problematiku opskrbe elek-

tričnom energijom područja Iloka, te utvrditi opseg djelatnosti za njezino pravodobno i kvalitetno rješavanje.

1. SADAŠNJE STANJE

1.1. Elektroenergetska mreža i objekti

Područje Iloka napaja se električnom energijom iz distributivnog sustava »Elektrovojvodine« Novi Sad. Glavna pojna točka je TS 110/20 kV u Bačkoj Palanci iz koje se preko gradskih TS 20/0,2 kV u B. Palanci 20 kV izvodom napaja cijelo područje Iloka. Pojni kabel 20 kV postavljen preko mosta, »25. maja« na Dunavu je EHP 4 × 1 × 95 mm². Udaljenost od TS 110/20 kV Bačka Palanka do prve MBTS 20/0,4 kV — Sušara hmelja u Iloku iznosi 5,2 km. Drugi kabel 20 kV istih nazivnih svojstava postavljen je također preko mosta na Dunavu do iste MBTS 20/0,4 kV u Iloku. Njegova je uloga rezervna istovremeno za područje Iloka i manji dio konzuma Bačke Palanke orijentiran prema Dunavu.

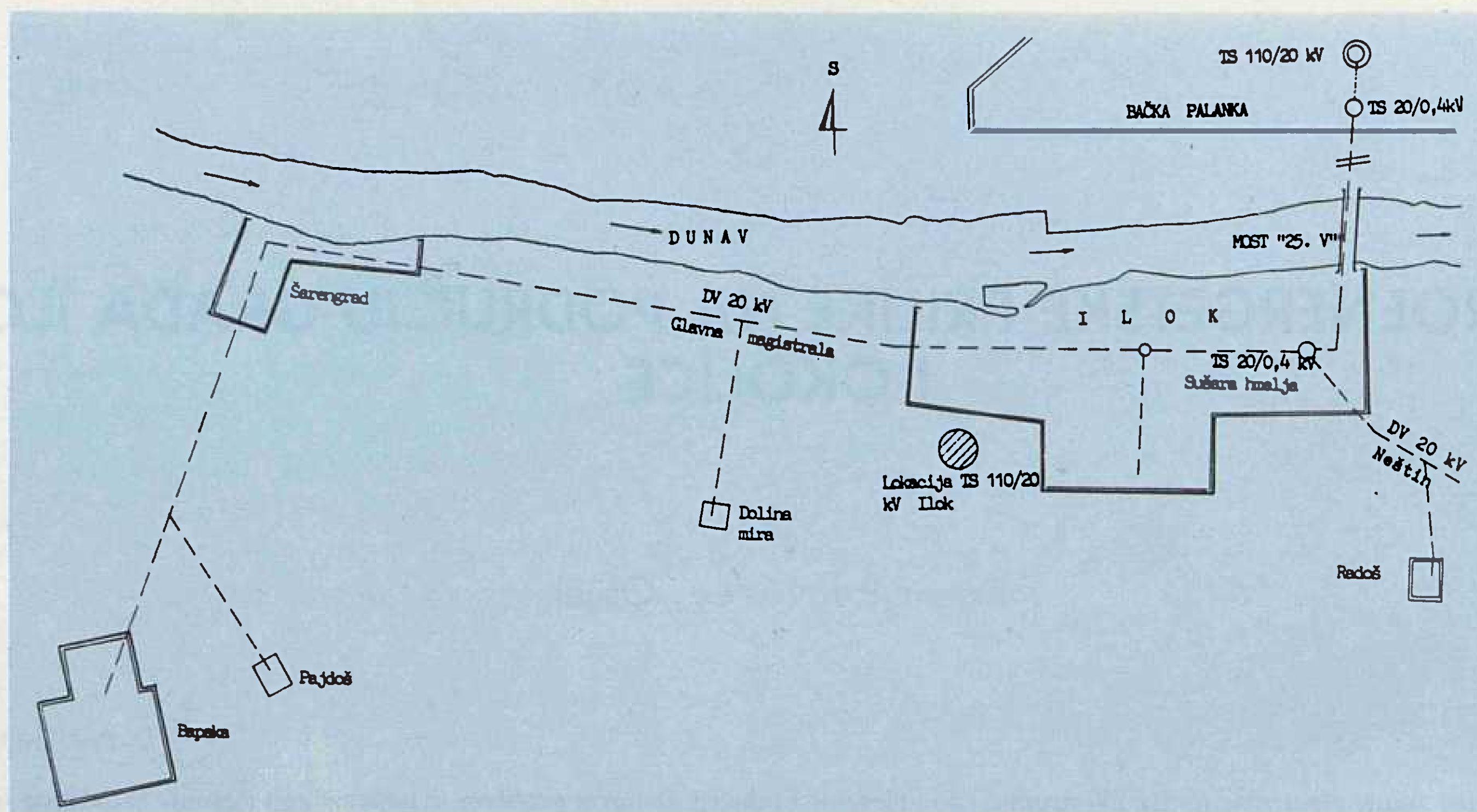
Osnovno svojstvo napajanja područja Iloka samo je i jedino jednostrano. Ukupna duljina jednostrano (radikalno) napajanje mreže 20 kV iznosi 42 km, a sastavljena je od 28 km zračnih vodova i 14 km kabela. Duljina glavne magistrale na potezu Ilok — Bapska iznosi 27 km, a duljina sporedne magistrale Ilok — Neštin iznosi 15 km (sl. 1).

Osnovni presjek u zračnoj mreži 20 kV je Ač 95 mm² — ukupno oko 10 km, dok je preostalih 17 km uglavnom Ač 50 mm². U kabelskoj mreži samo je jedna vrsta i tip kabela EHP 48 × 3 × 1 × 95 mm².

Na ovom području nalazi se ukupno 33 kom. TS 20/0,4 kV čija ukupna instalirana snaga iznosi oko 11 500 kVA.

1.2. Naponsko i strujno stanje

Na području Iloka nalazi se približno 2 900 potrošača s ukupno preuzetom električnom energijom blizu



Slika 1. Sadašnje stanje opskrbe električnom energijom Iloka i okolice

15 000 MWh, od čega je oko 4 000 MWh industrijskog karaktera. Ostvarena opterećenja u izvodu 20 kV za Ilok iz TS 110/20 kV B. Palanka kreću se između 4 i 4,5 MVA.

Proračun padova napona u zadanim čvorištima i tokova snaga u granama prikazao je da:

- naponske prilike zadovoljavaju, te da najveći pad napona, u najudaljenijem čvorištu Bapska, iznosi oko 3%
- strujnih preopterećenja nema.

Razlog tako povoljnom stanju jest prelazak na napon 20 kV koji je ostvaren prije desetak godina.

1.3. Sigurnost opskrbe električnom energijom

Već poslije prvoga uvida u duljinu i rasprostranjenost mreže 20 kV, broj potrošača i način napajanja, sigurnost opskrbe električnom energijom postaje osporiva. Mreža koja je duga 42 km, od čega 28 km zračne mreže, sa 2 900 potrošača i opterećenjem oko 4,5 MVA, a napajana jednostrano, ima vrlo nisku i sigurnost i pouzdanost. Mogućnosti manipuliranja i selektivnog pogona gotovo ne postoje. Pomiješana zračna i kabela mreža ukazuje da nema drugog rješenja, razgraničenje gradskog i izvangradskog konzuma, kao jednog od bitnih kriterija sigurne i pouzdane opskrbe.

Broj zračnih odcjepa 20 kV kojima se napajaju salaši, ekonomije i mali potrošači iznosi oko petnaest. Svakom kvaru na bilo kojem odcjepu slijedi ispad glavnog pojnog voda, što znači i prekid isporuke za cijelo područje. Dodamo li da se sve nalazi u brdovitom području Fručke gore, gdje su promjene vremenskih prilika intenzivnije, rezultat su vrlo česti poremećaji i kvarovi, pa time i prekidi isporuke. Otkrivanje kvara složeno je i zahtijeva od elektrodistribucije u Bačkoj Palanci angažiranje ekipe od desetak ljudi, i to najčešće kada su prilike najnepovoljnije. Prekidi se nastoje svesti na najmanju moguću razinu, no oni su ipak toliko dugi, opravdano u svakom slučaju, da prelaze umnogome dopuštenu granicu. Jedan slučaj dugotrajnog ispada jest kvar glavnog pojnog voda koji se dogodio u kolovozu 1984. godine.

Kvar se dogodio na dionici trase preko mosta »25. V«, a ukupno vrijeme prekida iznosilo je oko sedamdesetak sati (tri dana). Dakako, treba još napomenuti da značajniji potrošači, te organizacije značajnijih skupova, kao rezervno napajanje, u pripravi moraju imati agregat za najnužnije potrebe.

Kvalitativno ocjenjujući, gubici ovisni o prekidima isporuke električne energije pojavljuju se kod isporučioaca, industrijskih potrošača i na kraju kod potrošača široke potrošnje. Kako ne raspolažemo točnim statističkim podacima o broju i trajanju poremećaja i kvarova, prema praktičnim iskustvima procjenjujemo da su gubici zbog neisporučene električne energije nekoliko puta veći nego je to na području sličnih svojstava, ali s potpunim rješenjem napajanja električnom energijom.

2. BUDUĆE STANJE

1.2. Očekivana potrošnja i opterećenja

Prema ostvarenoj potrošnji i opterećenjima u posljednjih deset godina, tj. u razdoblju 1980 – 1990. godine, određena je stopa rasta potrošnje — w i opterećenja — p . Prema dosadašnjim stopama rasta utvrđene su donje vrijednosti stope rasta potrošnje i opterećenja do 2000. godine. Te vrijednosti iznose:

- za potrošnju 3,0%
- za opterećenje 2,5%,

što u desetogodišnjem razdoblju (1991 – 2000. godine) znači povećanje potrošnje za jednu trećinu (33%) od polazne u 1990. godini.

Gornje vrijednosti stopa rasta utvrđene su prema maksimalnoj procjeni da će povećanje potrošnje do 2000. godine iznositi dvije trećine (67%) od polaznih vrijednosti u 1990. godini. Gornje stope rasta iznose:

- za potrošnju 5,2%
- za opterećenje 4,5%.

Uz polaznu potrošnju od 15 000 MWh i opterećenje 4,5 MVA u 1990. godini, procijenjene donje i gornje vrijednosti koje očekujemo 1995. i 2000. godine za područje Iloka kretat će se između:

	Područje Iloka			
	MWh		MVA	
1990. god.	15.000		4,5	
	Donja	Gornja	Donje	Gornje
1995. god.	17.500	19.500	5,	5,6
2000. god.	20.000	25.000	5,8	7,0

Ostvarena potrošnja i opterećenje do 1990. godine, te očekivane vrijednosti potrošnje i opterećenja u 1995. i 2000. godini nedvojbeno pokazuju da se već sada radi o energetsom području kojemu dvostrano napajanje mora biti normalno stanje. Dvostrano napajanje treba ostvariti izgradnjom trafo-stanice u Iloku napajane iz elektroenergetskog sustava Hrvatske. TS Ilok u prvoj etapi predviđena je s transformacijom 35/20 kV, dok u konačnici, uzimajući u obzir položaj Iloka i njegovo strateško značenje, opravdano je predviđati TS 110/20 kV Ilok.

2.2. Opskrba električnom energijom područja Iloka

Mogućnosti opskrbe Iloka električnom energijom iz elektroenergetskog sustava Hrvatske sagledane su i ocijenjene prema sadašnjim elektroenergetskim prilikama na ovome području, postojećim elektroenergetskim objektima, veličini područja, budućoj potrošnji i opterećenju, strateškom značenju područja i napokon prema pravu svakog potrošača i potrošačkog čvora na sigurnu i pouzdanu opskrbu kvalitetnom električnom energijom. Opskrba električnom energijom područja Iloka iz elektroenergetskog sustava Hrvatske u konačnici predviđa TS 110/20 kV Ilok povezanu vodom 110 kV s TS 110/35/10 kV Nijemci, te mogućnošću povezivanja s elektroenergetskim sustavom Vojvodine na naponu 110 kV preko TS 110/x u Bačkoj Palanci.

Do konačnog stanja, oko 2000. godine, koje je prikazano na sl. 2, predviđene su tri etape.

Prvom etapom, odnosno već sada, potrebno je izgraditi ove vodove i postrojenja:

- 1.1. DV 110 kV od mjesta priključka na postojeći DV 35 kV Tovarnik – Opatovac do mjesta buduće TS 110/20 kV Ilok, presjeka 240 mm² i duljine 16 km (točka A na slici 2).
- 1.2. Privremena transformacija 35/20 na prostoru buduće TS 110/20 kV Ilok sa svim detaljima koji su u svezi s radom voda 110 kV na naponu 35 kV, njegovim priključkom, ugradnjom transformatora 35/20 kV, raspletom 20 kV, pristupnom cestom i dr.

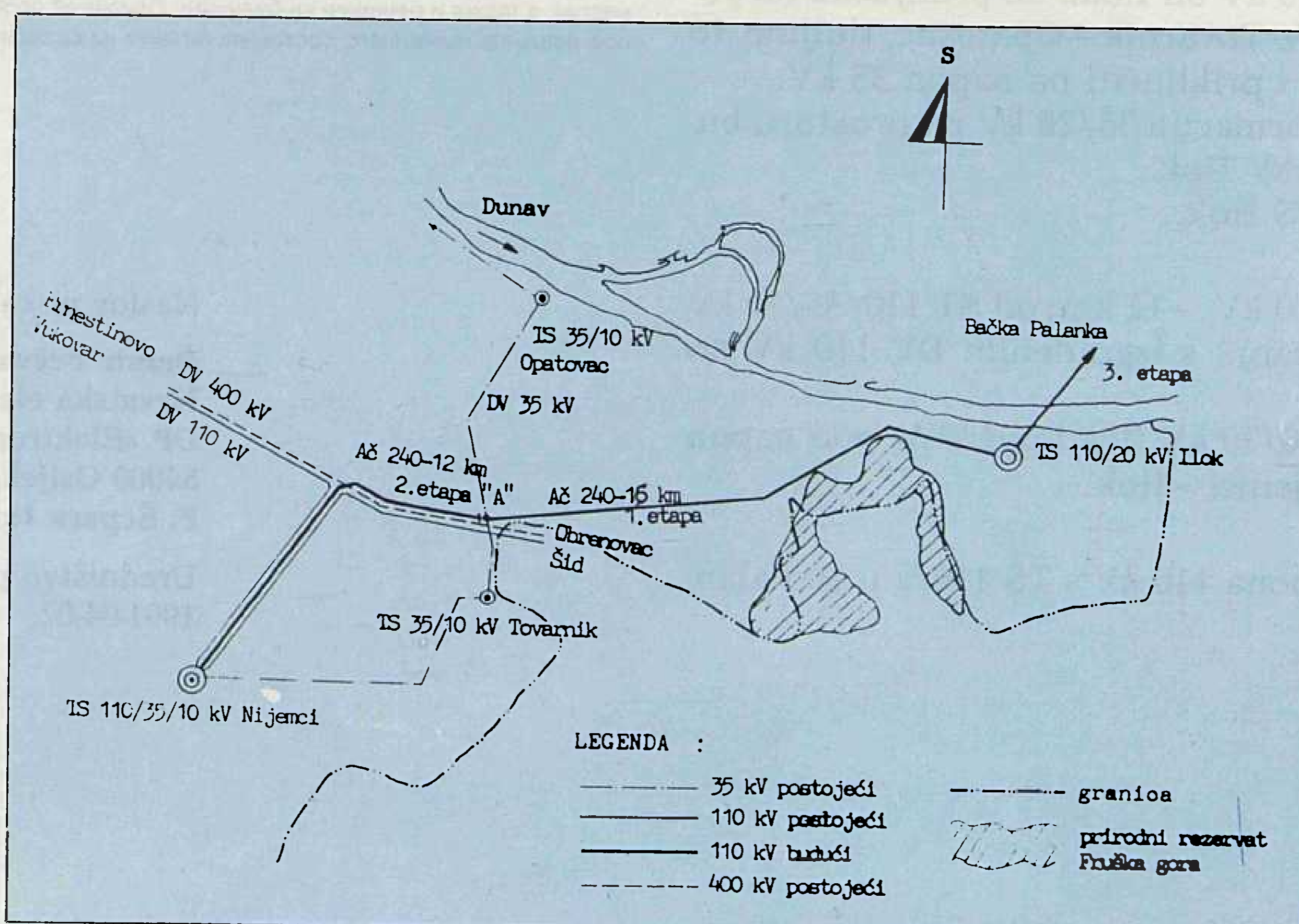
Drugom etapom predviđena je izgradnja:

- 2.1. DV 110 kV od TS 110/35/10 kV Nijemci do križanja s DV 35 kV Tovarnik – Opatovac, te spajanja na izgrađeni dio DV 110 kV iz prve etape – Ač 240 mm² i duljine 12 km (točka »A«).
- 2.2. Izgradnja TS 110/20 kV Ilok, što još podrazumijeva opremanje VP 110 kV u Nijemcima, izgradnju TP 110 kV, ugradnju transformatora 110/20 kV od 20 MVA, izgradnju postrojenja 20 kV i priključak raspjeta 20 kV s privremene transformacije.
- 2.3. Prestanak rada DV 110 kV na naponu 35 kV i puštanje pod napon 110 kV DV 110 kV Nijemci – Ilok.

Trećom etapom predviđa se:

- 3.1. Povezivanje naponom 110 kV s TS 110/x u Bačkoj Palanci. Prikazano rješenje opskrbe Iloka i okolice električnom energijom treba se, u kombinaciji s postojećim rješenjem opskrbe, smatrati konačnim u dugoročnom razdoblju. To je zato što se osim zavidne sigurnosti i pouzdanosti ostvaruje selektivnost mreže i izvora napajanja, a povezivanjem dvaju elektroenergetskih sustava naponom 20 i 110 kV i veće mogućnosti razmjene električne energije.

Treba reći da se na rješavanju ovoga problema nalaze i aktivnosti zajedničkog karaktera Hrvatske elek-



Slika 2. Napajanje električnom energijom područja Iloka — stanje 2000. godine

troprivrede i Elektrovojvodine. Tu se ubrajaju mjerenje električne energije, vlasništvo, kadrovska problematika i dr., a riješit će se međusobnom suradnjom i dogovorom.

3. ZAKLJUČAK

Područje grada Iloka s okolicom veličine oko 100 km² sa 9 000 stanovnika, te potrošnjom električne energije oko 15 000 MWh godišnje, smješteno je u najistočnijem dijelu Republike Hrvatske.

Ilok i okolica se opskrbljuje električnom energijom iz elektroenergetskog sustava »Elektrovojvodine« Novi Sad pomoću jednog kabela 20 kV (i jednog koji je rezervni) iz TS 20/0,4 kV u Bačkoj Palanci.

Veličina područja, te potrebe industrije i domaćinstava nemaju pripadajuću im potporu elektroenergetskih izvora. Rezultat jednostrane opskrbe električnom energijom jesu česti i dugi prekidi isporuke električne energije, mala sigurnost opskrbe i veliki gospodarski gubici unatoč primjerenom anagažiranju ekipa »Elektrovojvodine«.

Početna jasnija sagledavanja u rješavanju opskrbe električnom energijom područja Iloka potječu iz 1981. godine. U tome trenutku postojala je mogućnost značajnijeg privrednog razvitka, te je sa strane »Elektroslavonije« Osijek potaknuta inicijativa, a od »Elektrovojvodine« Novi Sad i podržana, za cjelovito elektroenergetsko rješenje opskrbe. Nakon inicijative i izradene elektroenergetske razrade, aktivnosti su stale — zaustavljene, a ovo područje i deset godina poslije — 1991. godine ostaje s problemom elektroopskrbe, no s većom potrošnjom i opterećenjem.

Pristupanje rješavanju ovoga problema označavamo stoga odmah potrebnim. Cjelovito rješenje područja Iloka je, u kombinaciji s postojećim stanjem, sadržano u tri etape izgradnje i postrojenja, i to:

I

1. Izgradnja DV 110 kV od Iloka do priključka na postojeći DV 35 kV Tovarnik – Opatovac, duljine 16 km Ač 240 mm² i priključiti na napon 35 kV.
2. Postaviti transformaciju 35/20 kV na prostoru buduće TS 110/20 kV Ilok.
3. Rasplet 20 kV TS Ilok.

II

4. Izgradnja DV 110 kV – 12 km, od ST 110/35/10 kV Nijemci do križanja s izgrađenim DV 110 kV do Iloka.
5. Izgradnja TS 110/20 kV Ilok i puštanje pod napon 110 kV voda Nijemci – Ilok.

III

6. Povezivanje napona 110 kV s TS 110/x u B. Palanci.

Takvo rješenje opskrbe električnom energijom Iloka i okolice konačno je, gledajući dugoročno razdoblje. Ostvaruje se sigurnost i pouzdanost, selektivnost mreže i izvora napajanja, te omogućava povezivanje dvaju elektroenergetskih sustava. U razrješavanju ove problematike osim Hrvatske elektroprivrede, a na poslovima zajedničkog karaktera, naznačavamo i očekujemo suradnju »Elektrovojvodine« Novi Sad. Također, s našim mišljenjem želimo upoznati i Ministarstvo energetike i industrije Republike Hrvatske, kako bi definicija Hrvatske elektroprivrede od Dubrovnika do Čakovca i od Buja do Iloka postala potpunom.

ELECTRICAL ENERGY CONDITIONS OF THE REGION OF THE CITY OF ILOK AND VICINITY

The present state of the electrical network and consumption are presented as well as future solutions. The basic problem is the unreliability of the present supply from the neighboring republic.

ELEKTROENERGETISCHE VERHAELTNISSE AUF DEM STAEDTISCHEN GEBIET VON ILOK UND DER UMGEBUNG

Im Artikel führt man die gegenwärtige Lage des Elektronetzes und des Konsums, sowie die Lösung in der Zukunft an.

Das Grundproblem ist die unzuverlässige Lösung der heutigen Versorgung aus der Nachbarrepublik.

ЭЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОБСТОЯТЕЛЬСТВА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ИЛОК И ЕГО ОКРЕСТНОСТИ

В статье приводится нынешнее состояние электросети и потребления электроэнергии, а также и решение на будущее. Основной проблемой является ненадежное решение нынешнего состояния питания из соседней республики.

Naslov pisca:

Damir Pečvarac, dipl. inž.
Hrvatska elektroprivreda,
DP »Elektroslavonija« Osijek,
54000 Osijek, Šetalište kardinala
F. Šepera 1a, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1991-04-02.

100 GODINA TROFAZNOG VISOKONAPONSKOG PRIJENOSA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Boris Markovčić, Zagreb

UDK 621.316.1
PREGLEDNI RAD

U 1991. godini navršava se 100 godina od prvog trofaznog visokonaponskog prijenosa električne energije. Prikazan je prijenosni uređaj Lauffen-Frankfurt iz 1891, kao i razvoj vidokonaponskog prijenosa u svijetu i u nas.

Ključne riječi: prijenos električne energije, razvoj elektrifikacije, vodovi visokog napona.

1. UVOD

Na internacionalnom zasjedanju civilnih inženjera u Parizu prije 110 godina (1881) iznio je Francuz Marcel Deprez za onda revolucionarnu tvrdnju da je moguć prijenos električne energije na daljinu. Izveden je i prigodni pokus prijenosa na udaljenost 1500 m.

Kad je sljedeće godine poznati njemački elektroprivrednik Oscar V. Müller organizirao prvu njemačku elektrotehničku izložbu u Münchenu (1882), pozvao je Depreza da izgradi istosmjerni prijenos prema svojoj zamisli. U rudniku Mühlbach priključen je na parni stroj istosmjerni generator snage 1 KS, napona 2 000 V. Prijenos je izveden telegrafskim vodom na daljinu 57 km, do prostora Münchenske izložbe. Prijenosni su gubici bili veliki, a stupanj djelovanja iznosio je samo 22% što, dakako, nije moglo zadovoljiti. Prijenosni je napon bio nizak jer tadašnji se generatori nisu mogli graditi za više napone od nekih 2 000 V, a za trošila je i taj napon bio previsok. Da bi taj problem mogao riješiti, tj. da se dobije prikladan napon za prijenos i trošila, švicarski inženjer René Thuory došao je na ideju da spoji u seriju više istosmjernih generatora i tako dobije dovoljno visok napon za prijenos energije, a da na prijemnoj strani u seriju spoji elektromotore.

Uređaj je radio na konstantnu struju, dok se snaga regulira serijskim ukapčanjem generatora. Premda je izgrađeno desetak takvih postrojenja, sistem je ubrzo napušten.

Bitan korak naprijed u prijenosnoj tehnici učinjen je primjenom izmjenične struje i pronalaskom transformatora, koji je 1882. patentirao Lucien Gaulard pod imenom sekundarni generator. Na temelju tog pronalaska izgrađen je prijenosni sustav prigodom izložbe u Torinu 1884. Energiju je davao jednofazni generator 2 000 V, 133 Hz, a prijenos se vršio u jednopolnom krugu od 80 km. Stupanj djelovanja ovog prijenosa iznosio je već 90%.

Već sljedeće 1885. godine stručnjaci tvrtke Ganz iz Budimpešte – Déri, Blatky i Zipernowski usavršavaju transformator i nazivaju ga tim imenom. Nekako u isto vrijeme u Americi je na tim problemima radio W. Stanley u tvrtki Westinghouse. Mogućnost transformacije predstavljala je veliku prednost izmjenične struje, a osim toga u lučnim svjetiljkama davala je stabilan luk, no nije postojao odgovarajući motor, što je bilo značajno ograničenje u primjeni.

Tesla je bio prvi koji je dao teorijske osnove višefaznih struja već 1882, a 1887. prijavljuje svoja dva fundamentalna patenta: »Prijenos električne energije« i »Elektroenergetske motore«. Oba su patenta potvrđena u svibnju 1888. Patenti su se odnosili na dvofazne generatore i motore, kao i dvofazni prijenos električne energije. U isto vrijeme Talijan Ferraris eksperimentira s modelom dvofaznog indukcionog motora, iznosi svoje otkriće u predavanju na Akademiji u Torinu, ali zaključuje da je takav motor neprikladan za praksu. Međutim, njegov se princip može primijeniti za električna brojila, što je praksa i potvrdila. Višefazne strojeve istraživao je također Bradly, ali nije shvatio njihovu važnost. U vezi trofaznog sustava treba spomenuti i Haselwandera koji je gradio trofazne strojeve, ali je tek 1889. prijavio svoj patent. Nakon te godine bilo je više patenata koji su se odnosili na poboljšanje višefaznih strojeva. Posebno treba istaknuti patent trofaznog asinhronog motora Dolivo-Dobrovoljskoga.

Nakon potvrde spomenutih patenata, Tesla je u svibnju 1888. održao o svojim izumima predavanje u Institutu američkih inženjera. Predavanje je bilo vrlo zapaženo i imalo velik odjek u stručnom tisku. Iznesene ideje bile su osnova za daljnji razvoj tehnike višefaznih struja. Na tim je idejama realiziran i prvi trofazni prijenos električne energije.

Na Internacionalnoj elektrotehničkoj izložbi u Frankfurtu na Majni 1891. godine, koju je organizirao Oskar v. Müller, najistaknutiji eksponat bio je pokusni trofazni prijenosni sustav, prvi takve vrste u

svijetu. Imao je, naime, sve elemente suvremenoga takvog sustava: proizvodnju električne energije u trofaznom generatoru, transformaciju na viši prijenosni napon, vod visokog napona, transformaciju za sniženje na napon trošila te priključene motore i rasvjetu. Tehničko vodstvo u projektiranju i izvođenju imali su inženjeri Dolivo – Dobrovoljski iz njemačke tvrtke AEG i Ch. E. L. Brown iz švicarske tvrtke Oerlikon. Njihove su tvrtke proizvele i dobavile svu potrebnu opremu i time demonstrirale dostignuća svojih tvornica.

U mjestu Lauffen, na rijeci Necker, izgrađena je hidroelektrana iz koje se za vrijeme izložbe napajao pokusni uređaj, a koja je nakon zatvaranja služila za potrebe grada Heilbronna. U elektrani je ugrađen trofazni generator tvrtke Oerlikon, snage 210 kVA, 40 Hz, 150 min^{-1} (32 pola), napona 50 V. Energija se transformirala od generatorskog na prijenosni napon od 15 200 V pomoću dvaju transformatora od po 100 kVA tvornice AEG i pomoću jednog transformatora 150 kVA tvornice Oerlikon.

Na prijemnoj strani, u izložbenom prostoru u Frankfurtu, također su bila takva tri transformatora za spuštanje napona na 100 V. Prijenosni trofazni dalekovod dug 178 km izgradila je pošta. Bakreni vodiči promjera 4 mm bili su pričvršćeni na porculanske izolatore punjene uljem. Raspored vodiča na stupovima bio je u obliku jednakokračnog trokuta, a stupovi drveni s rasponima od 60 m.

Najveći od priključenih trošila bio je trofazni asinhroni motor od 74 kW (100 KS), koji je pokretao pumpu za vodopad visine 10 m. Priključeno je, nadalje, više manjih motora i 1 000 žarulja.

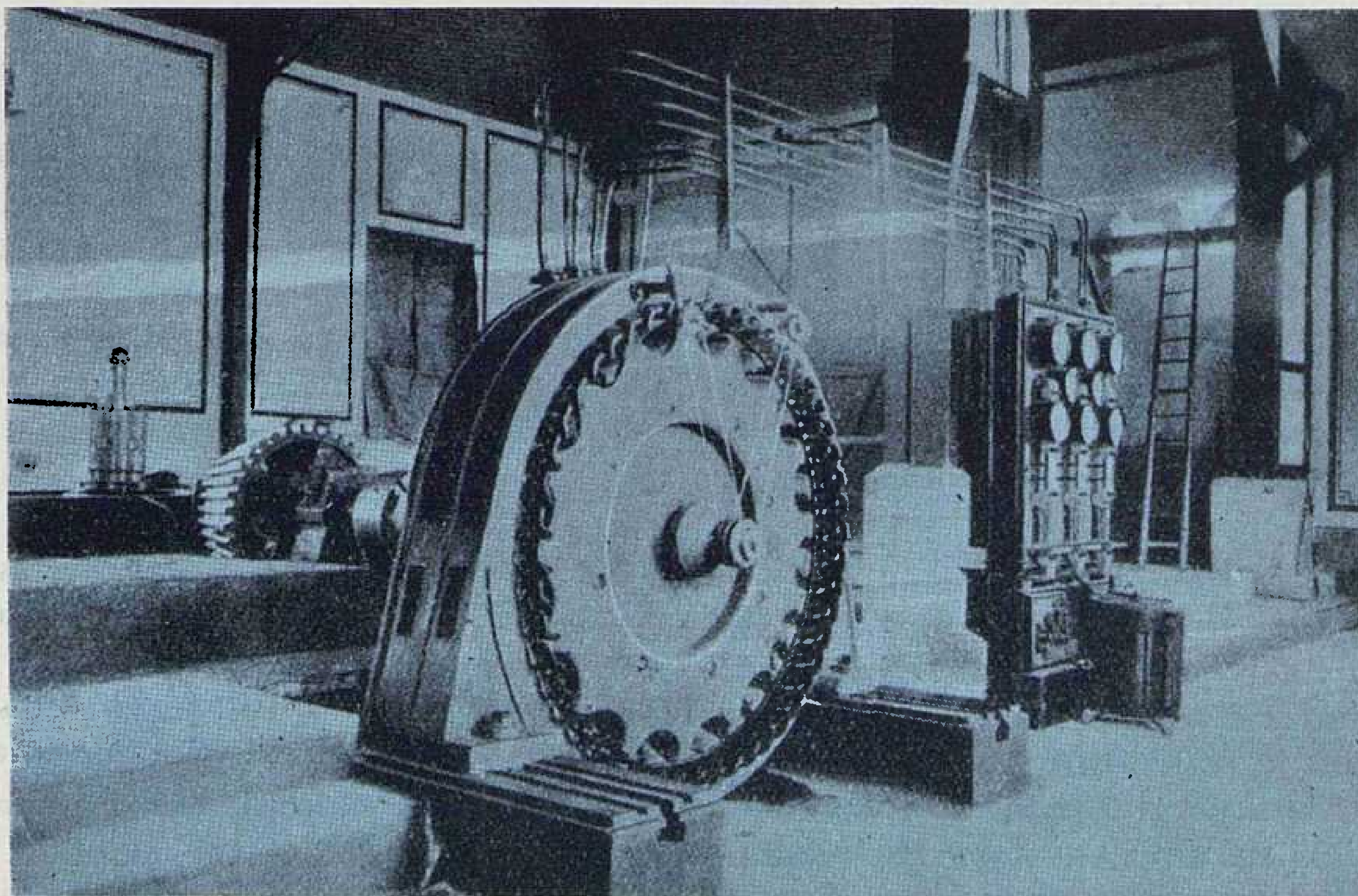
Postrojenje je stavljeno pod napon 24. kolovoza 1891, a u puni pogon 12. rujna iste godine, dakle prije točno 100 godina. Cijeli sustav radio je vrlo pouzdano, pa je pri prijenosu od 140 kW, sa 15 000 V izmjeran stupanj djelovanja od 72,5%. Na kraju izložbe izveden je prespajanjem transformatora pokus prije-

nosa sa 25 000 V i 24 Hz, čime je pokazano da su se gubici bitno smanjili.

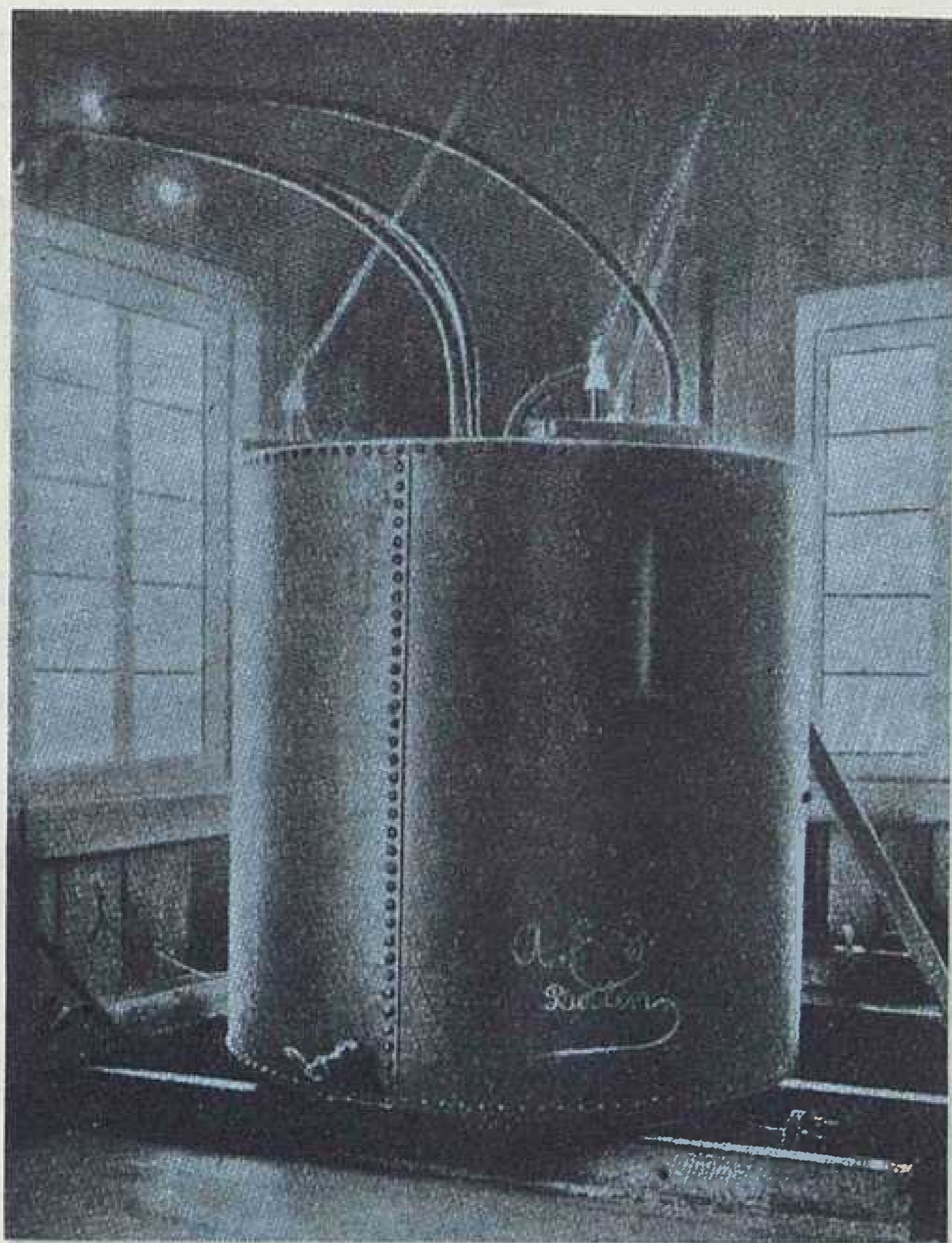
Taj značajni eksperiment otvorio je put daljnjem razvitku prijenosa električne energije i omogućio dovođenje energije iz udaljenih hidroelektrana, termoelektrana uz rudnike ugljena, stvaranje električnih mreža i njihovo povezivanje.

Prvi trofazni prijenos u Americi stavljen je u pogon već 1892. godine u Kaliforniji. Energija se prenosila vodom napona 2 500 V na udaljenost 12 km.

Kao sliku o dilemama koje su tada vladale među stručnjacima u vezi s polifaznim sustavima zanimljivo je iznijeti izlaganje prof. Forbesa u Americi u povodu gradnje hidroelektrane na Nijagari. Predavanje je objavio njemački časopis ETZ (god. 1893, br. 50). Forbes je tada bio savjetnik tvrtke koja je izvodila radove. On je iznio prednosti izmjenične struje pred istosmjernom, a zatim je govorio o polifaznim sustavima. Tvrdio je da trofazni sustav pravi poteškoće u pogonu, a kvarove je teško naći i ukloniti. Ako pak faze budu nejednako opterećene, naponi postaju vrlo nejednaki. Da se to izbjegne, tvornica Oerlikon predlagala je poseban vod za rasvjetu, a poseban za motore. U vezi pak s frekvencijom istaknuo je da se u Americi uobičajila frekvencija 133 Hz, a u Europi 70 do 100 Hz. Međutim, mađarska tvrtka Ganz odabrala je 42 Hz kao najnižu frekvenciju za mirno gorenje luka. Za hidroelektranu na Nijagari predlagana je frekvencija $16 \frac{2}{3}$ Hz, a uzeto je kao kompromisno rješenje 25 Hz za prva tri agregata. Treba primijetiti da su frekvencije dugo bile slobodne, pa je njemački graditelj elektrana Klingenberg još 1918. preporučio frekvenciju od 10 Hz za električna postrojenja u Južnoj Africi. Premda je frankfurtski prijenos električne energije bio vrlo uspješan, mnogi su elektrotehničari smatrali da je negdje oko 200 km granica prijenosa izmjeničnom strujom, a za veće će se udaljenosti trebati vratiti na istosmjernu struju. Razvoj je doduše pokazao da 200 km nije granična daljina trofaznog



Slika 1. Trofazni generator 300 KS u HE Lauffen



Slika 2. Transformator 150 kVA u HE Lauffen

prijenosa, ali je istosmjerna struja ipak našla svoje mjesto u modernoj prijenosnoj tehnici.

Prva velika hidroelektrana na svijetu građena je na Nijagari u SAD na temelju Teslinih patenata. Prva tri dvofazna generatora, svaki snage po 3 730 kW (5 000 HP), 2 200 V, 25 Hz, koje je dobavila tvrtka Westinghouse, stavljeni su u pogon 15. travnja 1895. Na elektranu je priključen okolni konzum, a zatim uješen sljedeće godine trofazni prijenosni dalekovod do grada Buffala, udaljenog 46 km. Pomoću Scottovih transformatora transformirana je dvofazna struja generatora na trofaznu napona 11 kV. U Buffalu je pak izgrađena transformacija na 400 V. Prenosilo se 5 200 kW (7 000 kW (10 000 HP)). Širenjem elektrifikacije i povećanjem potrošnje trebalo je proizvoditi sve više električne energije. Iskorištavaju se vodne snage i niskokalorični ugljen na rudnicima. Elektrane su više ili manje udaljene od središta potrošnje, što je tražilo sve veći prijenos električne snage, a time i povišenje prijenosnih napona.

Već godine 1905. Njemačka ima u pogonu prvi vod 50 kV, a vodovi sličnog napona grade se tada u Americi. Potkraj prvog desetljeća ovog stoljeća grade se već vodovi napona 110 kV, a početkom dvadesetih 220 kV. Prvi takav vod građen je u SAD 1922. (Big Creeg – Los Angeles), a 1923. u Njemačkoj (Ronsdorf-Letthethe). Prvi vod tog napona u Sovjetskom Savezu stavljen je u pogon 1933. (Svirsk – Lenjingrad).

Između dva rata najviši je napon za prijenos električne energije bio 220 kV, uz iznimku dalekovoda Hoover Dam – Los Angeles, duljine 430 km, koji je radio pod naponom 287,5 kV od 1936. Ta je visina napona previšena tek nakon drugoga svjetskog rata kad je ušao u pogon švedski dalekod (954 km) Harspranget – Halsberg napona 380 kV. Uskoro zatim i mnoge druge zemlje uvode taj naponski nivo. Tako npr.

SSSR 1956, Njemačka 1957, Francuska 1958, Finska 1960. itd. U SAD na svoj najviši napon 132 kV uveli su 1953. superponirani napon 330 (345) kV, a u Velikoj Britaniji 275 kV.

U Sovjetskom se Savezu još u toku gradnje vodova 400 kV pokazalo da bi ti vodovi bez većih poteškoća mogli raditi sa 500 kV. S pokusnim se prijelazom počelo već u proljeće 1957, pa je uskoro napon 400 kV u zemlji potpuno likvidiran.

Napon 500 kV također je prihvaćen i u SAD, a prvi vodovi s tim naponom ušli su u pogon 1959. Razdoblje od 1950. do 1970. bilježi vrlo brz porast potrošnje električne energije u svijetu, pa je i potreba za povišenjem prijenosnih napona raste brže od predviđanja. Tako je npr. uvođenje vrlo visokih napona u SAD teklo iznad očekivanja. Na zasjedanju CIGRE u Parizu 1952. predstavnici iz SAD tvrdili su da je kod njih napon 132 kV bio dovoljan 30 godina, pa će i novi viši (330 kV) zadovoljiti jednako toliko vremena. Međutim, već 1966, dakle samo 14 godina kasnije, Amerikanci iznose projekte za napon 800 kV. Slično se dogodilo i u Velikoj Britaniji, gdje je opterećenje očekivano negdje između 1965. i 1975. godine nastupilo već 1962/63. Srećom, većina vodova u pogonu s 275 kV izgrađena je za mogućnost prijelaza na 400 kV. S prvim radovima na prijelazu na viši napon počelo se 1962.

U okviru CIGRE i IEC mnogo se raspravljalo 1961. i 1962. o standardizaciji nekog višeg napona – iznad 500 kV. Nakon mnogih diskusija između zapadnih zemalja i SSSR-a napokon je dogovoreno da se prihvati najviši pogonski napon 765 kV. Nazivni napon ovog nivoa nije standardiziran, pa se naponi dosta razlikuju u pojedinim zemljama. U Kanadi npr. nazivni napon je 700 kV, u SSSR-u 750 kV, u Francuskoj 730 kV, a u SAD se često govori o 800 kV.

Prvi komercijalni prijenos nazivnog napona 700 kV i maksimalnog napona 735 kV u svijetu pušten je u pogon 1965. u Kanadi, a izgradila ga je kompanija Hydro-Quebec.

U SSSR-u je 1967. izgrađen eksperimentalni vod Konakovo – Moskva 750 kV, s maksimalnim pogonskim naponom 787,5 kV.

U SAD je kompanija AEP počela prva graditi vodove 765 kV. Prva je dionica pod tim naponom ušla u pogon 1969, da već 1974. bude izgrađena mreža od 1 600 km.

Pod pretpostavkom da će se potrošnja električne energije jednako brzo povećavati do kraja stoljeća, šezdesetih su godina u mnogima tehnički razvijenim zemljama osnovane pokusne stanice za ispitivanje i razvoj uređaja za ultravisoke napone. Smatralo se da će biti nužno već potkraj ovog stoljeća izgraditi prijenosne uređaje napona većeg od 800 kV. Ispitivanja su provedena do napona 1 600 kV, a negdje čak do 2 000 kV. Nakon naftne krize, međutim, porast potrošnje energije naglo je pao, pa je bilo jasno da planirani veliki prijenosi postaju aktualni tek u slijedećem stoljeću.

Jedino u Sovjetskom Savezu, zemlji golemih prostranstava, pojavila se potreba ultravisokih napona već danas. Dalekovod dug 500 km Ekibastuz – Kakče-

tav stavljen je 1985. pod puni napon od 1 150 kV (maksimalan pogonski 1 200 kV). To je dionica budućeg dalekovoda od 2 500 km, koji će vezati Kazakstan i Ural. Ne može se reći da su ispitivanja u vezi s prijelazom na ultravisoke napone u svijetu prekinuta, ali su mnogo manje intenzivna.

Izgradnjom dalekovoda i međusobnim povezivanjem elektrana i konzumnih središta stvarali su se već početkom stoljeća elektroenergetski sistemi. Na primjer, prije prvoga svjetskog rata formiran je u SAD značajan sistem, tzv. Južni sistem, koji je zahvaćao područje četiriju saveznih država (Sjeverna i Južna Karolina, dio Georgije i države Tennessee). U isto vrijeme u Europi, u Njemačkoj, stvarao se Rajnsko-festfalski elektroenergetski sistem. Razvijanje takvih sistema sve veće snage i prostranstva izazvalo je specifične tehničke probleme u njihovu planiranju, pogonu i proizvodnji opreme. Stoga su inženjeri zainteresirani za velike električne mreže osnovali 1921. posebnu stručnu međunarodnu organizaciju sa sjedištem u Parizu — Conference internationale des grands reseaux electriques a haute tension (CIGRE). Zadatak je te organizacije da okuplja stručnjake iz svih zemalja koji se bave elektroenergetskim sistemima, kako bi na skupovima i kongresima izmjenjivali svoja iskustva. Trideset godina kasnije, tj. 1951, osnovan je i u Jugoslaviji nacionalni komitet te organizacije, koja ove 1991. godine slavi 40-godišnjicu svoga plodnog rada.

Kad se govori o velikim elektroenergetskim sistemima, svakako treba spomenuti sistem UCPTÉ, koji je u vrijeme osnutka 1951. povezivao visokonaponske mreže 8 europskih država, a zatim se u toku vremena pridružilo još 4, među kojima je i Jugoslavija. Drugi europski sistem na istoku je sistem SEV-a. Organizacija je utemeljena 1949, ali je električno povezivanje počelo tek 1960. Na području SSSR-a predviđen je još u Goelro-planu 1920. jedinstven elektroenergetski sistem, no vezanje europskog dijela SSSR-a postignuto je 1970, dok u azijskom dijelu države još postoji nekoliko zasebnih, odijeljenih mreža. Posljednjih godina mnogo se raspravlja o njihovom povezivanju, naročito o mogućnostima trofaznih i istosmjernih veza ultravisokog napona.

Primjena Teslinih izuma na ovim našim prostorima počela je vrlo rano, moglo bi se reći čak istovremeno kao i u Americi, ali, naravno, u vrlo skromnom opsegu.

Prva naša hidroelektrana Jaruga, na rijeci Krki u Dalmaciji, rasvijetlila je svojom energijom grad Šibenik 28. kolovoza 1895. U elektrani je ugrađen agregat s dvofaznim generatorom snage 320 kVA, 300 V, 42 Hz tvrtke Ganz. Do Šibenika (11 km) energija se prenosila dvofaznim vodom sa 4 vodiča pod generatorskim naponom.

I druga hidroelektrana Jaruga, stavljena u pogon 1903, snage 5 250 kVA, bila je također dvofazna, a prijenos se obavljao vodom 15 000 V. Prvi trofazni prijenos, već pod 30 kV, izgrađen je 1906. od hidroelektrane Manojlovac na Krki do 35 km udaljenog Šibenika. Ukupna snaga elektrane sa 4 agregata bila je 20,8 MVA, što je bilo mnogo za ondašnje prilike. Genera-

torski napon bio je iznimno visok i izosio je 30 kV, pa su generatori bili vezani izravno na delekovod, bez transformacije.

Daljnji razvoj prijenosnog napona u nas uslijedio je nakon stavljanja u pogon hidroelektrane Kraljevec na Cetini 1912. godine. Tada sa dva agregata ukupne snage 32 000 kVA, 50 Hz. Energija se s generatorskog napona 4 kV transformirala na prijenosni napon 56 kV i prenosila 23 km do tvornice u Omišu.

Do kraja prvoga svjetskog rata od visokonaponskih vodova izgrađen je u Hrvatskoj samo onaj od 20 kV između HE Ozalj i Karlovca, a u Sloveniji oko 50 km mreže 10 kV na prostoru između Radovljice i Jesenica.

Između dva rata u Hrvatskoj nisu izgrađena prijenosna postrojenja koja bi prerasla po snazi i naponu ona u Dalmaciji. Značajnija je jedino veza 30 kV između Zagreba i Karlovca završena 1931.

Vod najvišeg napona u Jugoslaviji bio je tada vod 80 kV, Fala – Laško, duljine 77 km, građen 1924/25. od 1931. do 1939. izgrađena je mreža vodova 60 kV u obliku trokake zvijezde iz Podloga prema Velenju, Črnučama i Trbovlju. Na području pak hidroelektrane Fala razvijena je mreža 35 kV koja je sezala u sjeverni dio Hrvatskog zagorja. U Bosni i Hercegovini je 1936. formiran mali energosistem koji je vodovima 35 kV povezivao TE Zenica s rudnicima u Kaknju, Brezi i Varešu.

U Srbiji se nakon stavljanja u pogon novog agregata u TE Vreoci (7 500 kVA) 1938. godine izgrađuje dalekovod 60 kV Vreoci – Kragujevac, a zatim se vodom 30 kV iz Kragujevca priključuje Jagodina.

U Makedoniji je Skopje 1927. povezano vodovima 33 kV na HE Pena (2 200 kVA) kraj Tetova i 1938. sa HE Matka (5 200 kVA) na rijeci Treski.

No na kraju predratnog pregleda visokonaponskih vodova treba također spomenuti područje Istre i Rijeke koje je do 1943. bilo pod Italijom. Tamo je uoči drugoga svjetskog rata stavljen pod napon 132 kV dalekovod od Općina kraj Trsta do Matulja kraj Rijeke i dvostruki dalekovod 50 kV do Pule.

U toku drugoga svjetskoga rata počela je na tlu Jugoslavije gradnja prvih 110 kV. Još 1942. izgrađena je dionica Labud (Austrija) – Dravograd – Velenje, a 1943. Brestanica – Zagreb, ali je stavljena pod napon 35 kV (pod 110 kV 1949). U gradnji su bili vodovi u Srbiji Kostolac – Bor i Kostolac – Beograd. Navedene su dionice početak buduće razgranate mreže 110 kV koja je do 1959. povezala sve jugoslavenske republike osim Crne Gore. Kao supeponirani ovoj mreži odabran je napon 220 kV. Prvi vod u Jugoslaviji stavljen pod taj napon bio je vod HE Bistrica – Beograd početkom 1960.

Prvi pak vod 220 kV u Hrvatskoj stavljen je u pogon 1962. za potrebe prijenosa energije iz nove HE Zakućac (Split) preko Brinja do Mraclina (Zagreb). Taj se naponski nivo intenzivno razvijao sve do početka sedamdesetih kad je počeo stagnirati, a ulogu superponirane mreže preuzela je mreža 400 kV. Prvi vod tog napona izgrađen je 1970. na potezu HE Đerdap – Beograd, a u Hrvatskoj sjeverni magistralni vod Maribor – Zagreb – Ernestinovo – Obrenovac 1977.

Stogodišnjicu prvog trofaznog prijenosa jugoslavenska je elektroprivreda dočekala sa značajnim elektroenergetskim sistemom od 17 300 km vodova 110 kV, 5 440 km vodova 220 kV i 3 900 km vodova 400 kV. Od toga na Republiku Hrvatsku otpada 4 300 km vodova 110 kV, 1060 km od 220 kV i 730 km od 400 kV.

LITERATURA

- [1] K. JANCZIKOWSKI: »Die erste Drehstrom-Kraftübertragung vor 50 Jahren« ETZ, god. 62 (1941) br. 35
- [2] A. RECHEL: »50 Jahre Drehstromübertragung von Lauffen nach Frankfurt« Elektrizitätswirtschaft, god. 40 (1941), br. 20
- [3] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima« (Prvi svezak) Informator, Zagreb, 1983.
- [4] B. Markovčić: »Prijenos vrlo visokim trofaznim naponima« Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.
- [5] B. MARKOVČIĆ i suradnici: »Razvoj elektrifikacije Hrvatske« Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1984.
- [6] B. MARKOVČIĆ: »Razvoj i tendencije prijenosa velikih snaga« Energija god 20 (1971), br. 5/6 i 7/8
- [7] B. MARKOVČIĆ: »Najviši prijenosni naponi danas« Energija, god. 38 (1989), br. 5
- [8] B. MARKOVČIĆ: »Tendencija razvoja istosmjernih visokonaponskih sistema« Energija, god. 39 (1990), br. 5

100 YEARS OF THREE-PHASE HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL ENERGY TRANSMISSION

The year 1991 marks the hundredth anniversary of the first three-phase high-voltage electrical energy transmission. The 1891 Lauffen-Frankfurt transmission equipment is presented as well as the development of high-voltage transmission in our country and abroad.

100 JAHRE DER DREIPHASEN — HOCHSPANNUNG, DER UEBERTRAGUNG DER ELEKTRISCHEN ENERGIE

Im Jahr 1991 endet das 100 jährige Jubiläum seit der ersten Dreiphasen — Hochspannungsübertragung der elektrischen Energie. Hier schildert man die Uebertragungsanlage der elektrischen Energie. Man schildert die Uebertragungsanlage Lauffen — Frankfurt aus dem Jahr 1891, sowie die Entwicklung der Hochspannungs — übertragung bei uns und weltweit.

100 ЛЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В 1991 году и сполняется 100 лет первой трехфазной высоковольтной передачи электроэнергии. Представлено устройство Лауффен-Франкфурт в 1891 году, а также развитие высоковольтной передачи в мире и у нас.

Naslov pisca:

**Boris Markovčić, dipl. inž.
41000 Zagreb, Vojnovićeva 26,
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis
1991-02-18



MASINOIMPEX

Poduzeće za vanjsku trgovinu
41000 Zagreb, Varšavska 9

Phone 041/457-111
Fax 041/424-090, 426-269
Telex 21177, 21254 MAEX YU

ASTRA MAŠINOIMPEX je poduzeće za vanjsku trgovinu, specijalizirano za export i import kompletnih objekata, postrojenja, opreme, repromaterijala, strojeva, dijelova i alata za sve grane industrije; obavlja i vanjskotrgovinsko zastupanje i posredovanje u prometu roba i usluga, turističku i ugostiteljsku djelatnost u poslovanju s inozemstvom, financijski inženjering, marketing i konzultersku djelatnost u vanjskotrgovinskom poslovanju.

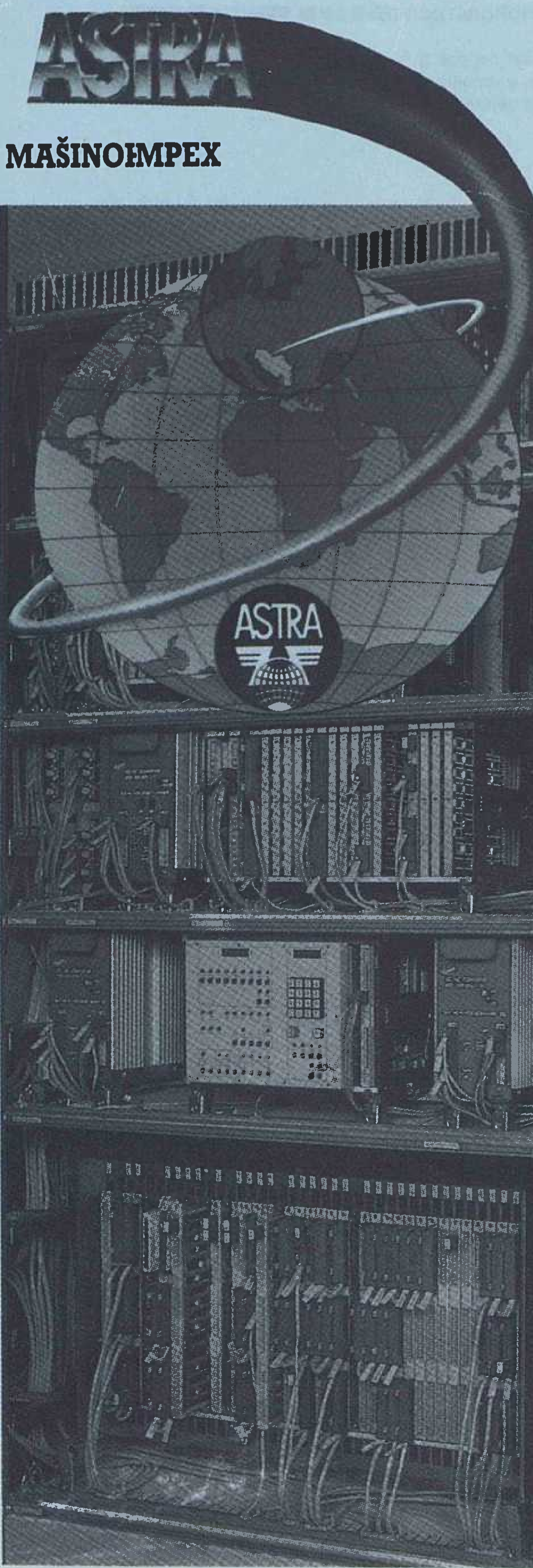
Zbog nedostatka prostora nemoguće je nabrojiti sve važnije izvozne reference ASTRA MAŠINOIMPEXA u mnoge

države svijeta: plasman domaćih telefonskih i telegrafskih međugradskih centrala, postrojenja i opreme za prehrambenu i kemijsku industriju, strojeve i elektrostrojogradnje, strojeva za obradu drveta, tekstilnu i kožarsku industriju, automatskih alatnih strojeva i alata, proizvoda metaloprerađivačke industrije, stakla, keramike, porculana, kože, gume, tekstila i druge robe.

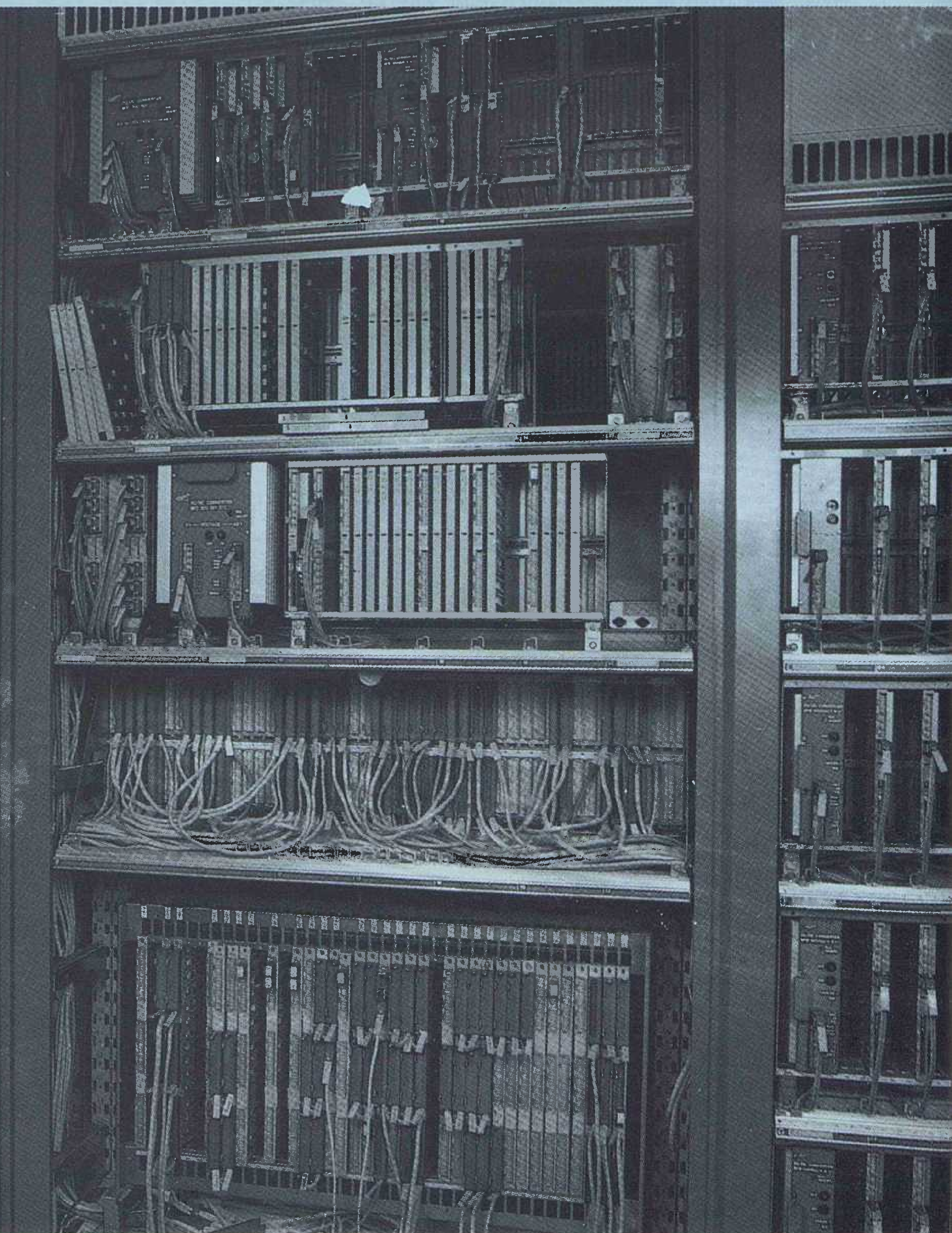
ASTRA MAŠINOIMPEX istodobno ima i značajnu ulogu u uvozu postrojenja, moderne opreme i repromaterijala potrebnog domaćoj proizvodnji. Našim posredstvom u Jugoslaviji su izgrađeni i modernizirani mnogi privredni objekti: rafinerije i petrokemijska postrojenja, kemijske i tekstilne tvornice, postrojenja za dobivanje i preradu obojenih metala, tvornice papira, stakla, za preradu plastičnih masa, oprema za željeznička transportna poduzeća, poštanske telefonsko telegrafске organizacije i

radioteleviziju, oprema za energetske objekte itd.

Osnovna značajka poslovnog programa ASTRA MAŠINOIMPEXA sastoji se u različitim modalitetima čvrstog partnerstva s brojnim domaćim izvoznim i uvoznim proizvođačima i tradicionalnom povezanosti kroz privrednu suradnju s uglednim inozemnim partnerima. U našem poslovanju posebnu aktivnost usmjerujemo na složenije i višeoblikovne privredne suradnje: kooperacije i osnivanje pojedinih kapitalnih dioničarskih i mješovitih društava za izgradnju infrastrukturnih objekata i tvornica atraktivnih proizvoda po najsvremenijim svjetskim tehnologijama. Naša uloga u osnivanju mješovitih društava sastoji se u povezivanju stranih i domaćih ulagača-osnivača na temelju osmišljenih poslovnih programa, te realizacija svih vanjskotrgovinskih i izvoznih zadatka.



MASINOIMPEX



S ASTRA MAŠINOIMPEXOM NA INOZEMNOM TRŽIŠTU POSTIŽETE CILJ U SVAKOJ TRŽIŠNOJ KOMBINACIJI

PRILOG RAZVOJU NOVIH POSTUPAKA OPTIMIZACIJE U PROJEKTIRANJU DALEKOVODA

Dr. Dževad Muftić, Zagreb

UDK 621.315.1.001

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Ovo je drugi iz serije članaka koji daju koncepciju integralnog informacijskog sistema za projektiranje i gradnje dalekovoda.

Ključne riječi: projektiranje dalekovoda, integralni informacijski sistem, razmještaj stupova.

Dio II. NEKI KARAKTERISTIČNI MODULI I KONCEPCIJA INTEGRALNOG SUSTAVA ZA PROJEKTIRANJE DALEKOVODA

KARAKTERISTIČNE OBRADU U POSTOJEĆEM SISTEMU PROJEKTIRANJA NA RAČUNALU

Geodetska i geofizička snimanja

Obrada rezultata geodetskih i geofizičkih snimanja dio je informatičkog sistema za projektiranje dalekovoda koji pretpostavlja manje-više rutinske proračune kojima se stvaraju osnovni predlošci za razvoj projektnog rješavanja voda (uzdužni profil, geološko-geomehanički izvještaj, geoelektrična analiza tla). O tim je obradama detaljnije pisano u [1] i [73]. Već u okviru zadatka izbora optimalne trase voda potrebno je definirati karakteristike mikrozone (objašnjeno detaljnije u [2]). Bitne karakteristike mikrozone se struktuiraju kao:

- kategorija konfiguracije terena
- kategorija urbaniziranosti
- kategorija pristupačnosti.

Obrada uzdužnog profila u visoko integriranome informatičkom sistemu razumijeva kodiranje i svake snimljene točke s obzirom na:

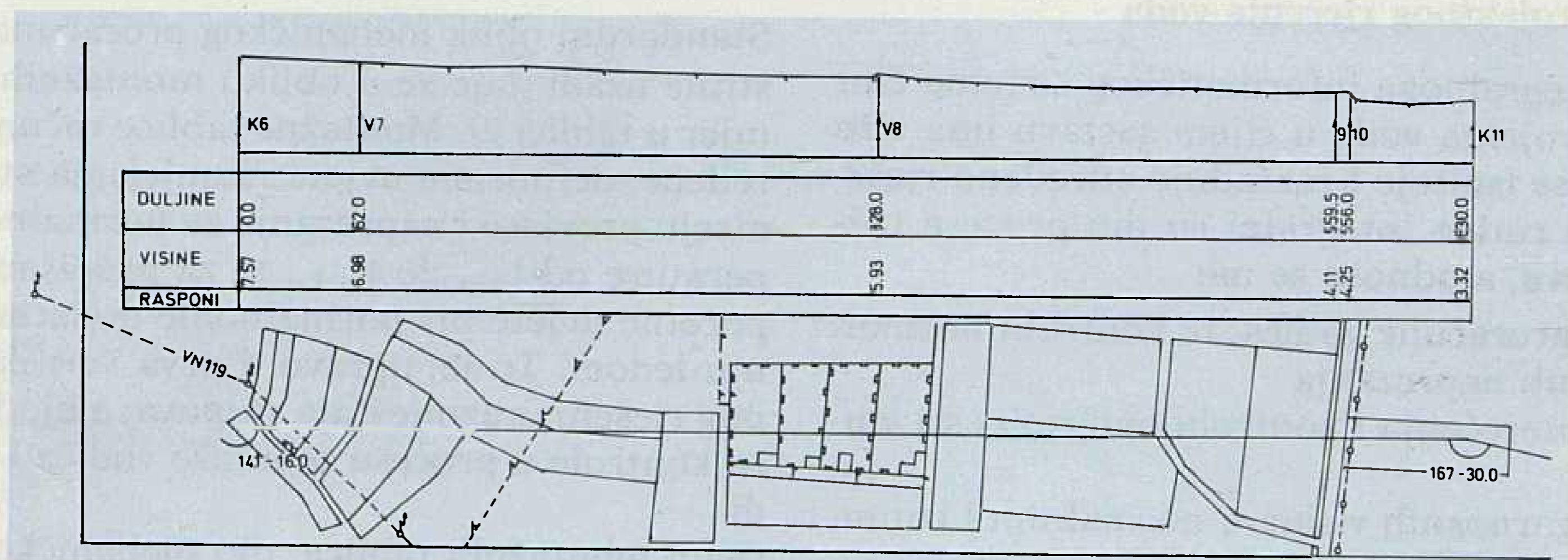
- kategorije sigurnosne visine i uvjeta mehaničkog i električkog dimenzioniranja
- kategorije nosivosti tla
- iskoristivost za poziciju stupnog mjesta.

U svim nacionalnim propisima, pa tako i jugoslaven-skima, detaljno su razrađeni kriteriji kategorizacije po navedenim uvjetima. Da bi se korisniku olakšao rad, za tipične uvjete se ne kodira ništa, a podrazumijevaju se sljedeće:

- sigurnosne visine za mjesta nepristupačna vozilima
- za eventualno stupno mjesto nema ograničenja s obzirom na udaljenost od susjednih objekata
- izbor naprežanja vodiča i zaštitnog užeta u sklopu normalnih, propisima dozvoljenih granica
- normalna, električna i mehanički nepojačana izolacija
- normalni uvjeti temeljenja; nisu potrebni specijalni temelji.

Kodovi za sve uvjete različite od navedenih, predstavljaju propisima uvjetovane restrikcije.

Na slici 1. prikazan je jedan primjer standardnoga uzdužnog profila voda, određenog programom za interaktivno crtanje IPD ([84]).



Slika 1. Uzdužni profil dalekovoda

Tablica provjesa

Tablice provjesa su u konvencionalnom postupku projektiranja bile nezamjenjiva podloga za preliminarnu fazu, određivanje različitih parametara električkoga i mehaničkoga dimenzioniranja, kao i za sam proces projektiranja. Naime, služile su za izradu celuloidnih šablona, te za adekvatno elaboriranje projektnog rješenja.

U tablici 1. dan je primjer takve tablice provjesa. Istodobno to je i uvod u segment informacijskog sistema »Mehanički proračuni« u kojemu se u procesu razmještaja, a i nakon izbora rješenja, obavljaju svi proračuni provjesa, sigurnosnih visina, te napreznja vodiča i zaštitne užadi.

Tablica 1. Tablice provjesa

Uže JUS N. C1. 351–95/15–A1/Č									
Maksimalno radno napreznje		90.00 (N/mm ²)							
Faktor normalnog dodatnog tereta		1.00							
Raspon (m)	Provjes f (m) pri temperaturi (°C)								
	–20.	–10.	0.	10.	20.	30.	40.	–5. + dt	
10.	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.02	
20.	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.08	0.14	0.07	
30.	0.04	0.05	0.06	0.08	0.11	0.17	0.25	0.15	
40.	0.08	0.09	0.11	0.15	0.19	0.27	0.37	0.25	
50.	0.12	0.14	0.18	0.22	0.29	0.39	0.50	0.38	
60.	0.18	0.21	0.25	0.31	0.40	0.51	0.64	0.52	
70.	0.24	0.28	0.34	0.42	0.52	0.65	0.80	0.68	
80.	0.31	0.36	0.44	0.53	0.66	0.80	0.96	0.86	
90.	0.41	0.48	0.57	0.69	0.84	1.00	1.17	1.07	
100.	0.54	0.63	0.75	0.90	1.07	1.25	1.43	1.33	
110.	0.69	0.81	0.96	1.14	1.33	1.52	1.72	1.61	
120.	0.89	1.04	1.21	1.41	1.62	1.82	2.03	1.91	
130.	1.12	1.30	1.50	1.72	1.94	2.15	2.36	2.24	
140.	1.40	1.60	1.83	2.06	2.28	2.51	2.72	2.60	
150.	1.71	1.94	2.19	2.42	2.66	2.89	3.11	2.99	
160.	2.08	2.32	2.57	2.82	3.06	3.30	3.53	3.40	
170.	2.48	2.74	3.00	3.25	3.50	3.74	3.97	3.84	
180.	2.91	3.18	3.45	3.71	3.96	4.20	4.43	4.30	
190.	3.38	3.66	3.93	4.19	4.44	4.69	4.93	4.79	
200.	3.89	4.17	4.44	4.70	4.96	5.21	5.45	5.31	
210.	4.42	4.70	4.98	5.24	5.50	5.75	5.99	5.85	
220.	4.98	5.27	5.54	5.81	6.07	6.32	6.56	6.43	
230.	5.57	5.86	6.14	6.40	6.66	6.92	7.16	7.02	
240.	6.19	6.48	6.76	7.03	7.29	7.54	7.79	7.65	
250.	6.84	7.13	7.40	7.67	7.94	8.19	8.44	8.30	
260.	7.52	7.80	8.08	8.35	8.61	8.87	9.12	8.98	
270.	8.22	8.51	8.78	9.05	9.32	9.57	9.83	9.68	
280.	8.95	9.24	9.51	9.78	10.05	10.30	10.56	10.42	
290.	9.70	9.99	10.27	10.54	10.80	11.06	11.32	11.18	
300.	10.49	10.78	11.05	11.32	11.59	11.85	12.10	11.96	
<i>Proračun graničnog raspona</i>									
Iznimno napreznje	245.00		245.00		(N/mm ²)				
Faktor iznimnog tereta	2.		3.						
Granični raspon	2071.		1200.		(m)				

Optimizacija projektnog rješenja voda

Ključni dio integralnoga informatičkog sistema čini optimizacija projekta voda u čijem sastavu ima više rutina kojima se ispituje i razrađuje određeno rješenje. Većina tih rutina integralni su dio procesa razmještaja stupova, a odnose se na:

- mehaničke proračune vodiča, te kontrolu normalnih i iznimnih napreznja
- proračun opterećenja i kontrolu opteretivosti stupova
- kontrolu sigurnosnih visina u normalnim i iznimnim uvjetima
- električko dimenzioniranje izolacije.

Standardni oblik mehaničkog proračuna vodiča i zaštitne užadi daje se u obliku montažnih tablica (primjer u tablici 2). Montažne tablice računaju se za određene, definirane uvjete razmještaja stupova i definiraju provjese i napreznja za normalne uvjete temperature od t_{\min} do t_{\max} , te za propisane definirane početne uvjete pri normalnome dodatnom opterećenju ledom. To je, upravo, i prva verifikacija usvojenog rješenja razmještaja stupova, a ujedno i podloga za kontrole u procesu montaže vodiča i zaštitne užadi.

Osim montažnih tablica, dio mehaničkog proračuna vodiča i zaštitne užadi je i kontrola napreznja u ov-

jesištu u iznimnim uvjetima, kontrola srednjega godišnjeg naprežanja i sl.

Poseban dio izvan redovnog procesa projektiranja čine programi za simulaciju opterećenja u izvanrednim, havarijskim uvjetima.

Proračun opterećenja stupova najvećim je dijelom direktan derivat mehaničkih proračuna vodiča i zaštitne užadi, uz uvjete opterećenja pri djelovanju vjetra.

Kontrola sigurnosnih visina u normalnim uvjetima provodi se već u procesu razmještaja stupova, pa se naknadna obrada obavlja samo radi verifikacije konačno odabranog rješenja, te eliminiranja eventualne greške ranije objašnjenom aproksimacijom lančаницe s parabolom.

Teorijski, i kontrola sigurnosnih visina u iznimnim uvjetima, a to razumijeva kontrolu visine iznad određenog objekta u prijelaznom rasponu pri otpadanju leda sa susjednih, morala bi se obavljati već u procesu razmještaja stupova. To se zapravo i obavlja, ali posredno, tako da se najprije nađe određena solucija

razmještaja, a onda ustanovi u kojim bi rasponima takva kontrola, u skladu s propisima, bila nužna.

Drukčiji bi pristup opteretio algoritam razmještaja stupova dodatnom, dosta složenom obradom.

Električno dimenzioniranje izolacije delekovoda temelji se ponajprije na propisanim uvjetima dielektričkih naprežanja i rezultatima dielektričkih ispitivanja izolatorskih lanaca. U procesu projektiranja dalekovoda električno je dimenzioniranje upravo kontrola propisanih sigurnosnih razmaka u glavi stupa i u rasponu.

Električno dimenzioniranje u fazi projektiranja određenog nosivog stupa ima drukčiji smisao. Njime, uvažavajući dielektričke karakteristike izolatorskih lanaca i propisane sigurnosne razmake, dizajniramo glavu stupa imajući pritom na umu sva predviđena područja primjene, posebno s obzirom na moguće otklone vodiča i izolatorskih lanaca pri djelovanju vjetra.

U novije se vrijeme za te zadatke sve češće koriste probabilističke i semiprobabilističke metode kojima

Tablica 2. Montažne tablice vodiča i zaštitnog užeta

Montažne tablice provjesa i naprežanja		RN100								Redni broj stupa	Duljina nezateg. užeta (n)	Vertikalne sile (N)/Kut (°)			
		A4 Z. uže JUS N.Cl.551 AlMg1E/Č 95/55 1. faza JUS N.Cl.351 Al/Č 240/40										totalni rasponi (m) -20°C 40°C -5°C+d.t.			
Maks. rad. naprežanje (N/mm ²) Faktor normalnog dod. tereta		Z. uže		1. faza						Br. vodiča snopa = 1					
		140.0		90.0											
		1.0		1.0											
Idealni raspon 307. (m)		Montaža pri temperaturi t(°C)													
		-20.	-10.	0.	10.	20.	30.	40.	-5. +dt						
PROVJES	Z. uže	6.13	6.44	6.75	7.06	7.37	7.66	7.96	7.90						
	1. faza	6.93	7.30	7.67	8.03	8.38	8.72	9.05	8.50						
HOR. NAPR.	Z. uže	89.7	85.4	81.4	77.9	74.7	71.8	69.1	140.0						
	1. faza	59.6	56.5	53.8	51.4	49.3	47.4	45.6	90.0						
HOR. SILA	Z. uže	13712	13044	12442	11896	11408	10969	10564	21392						
	1. faza	16827	15973	15208	14532	13927	13384	12892	25425						
Stup br.	Taspon (m)	Vert. sila (N)								Vert. sila (N)					
		Provjes f(m) za stvarne raspone													
28		Z. uže	1702							3156	1	2222		3726	
		1. faza	2254							3931		3304	9.4	5087	9.9
	309.0	-13.50	6.21	6.52	6.84	7.16	7.46	7.76	8.06	8.00		307.55	477	438	439
	309.0	-13.24	7.02	7.40	7.77	8.14	8.49	8.83	9.17	8.61		307.59	454	420	427
29		Z. uže	1659							3578	2	1709		3654	
		1. faza	2390							4650		3460		5805	
	305.0	-1.56	6.04	6.35	6.66	6.96	7.26	7.55	7.84	7.79		305.25	324	320	320
	305.0	-1.31	6.84	7.20	7.57	7.92	8.26	8.60	8.93	8.38		305.40	319	316	316
30		Z. uže	2328							4512	3	2378		4569	
		1. faza	3186							5738		3656		6245	
	241.0	-7.94	3.77	3.97	4.16	4.35	4.54	4.72	4.90	4.87		241.19	367	338	339
	241.0	-7.94	4.27	4.50	4.73	4.94	5.16	5.37	5.57	5.23		241.27	353	326	332
31		Z. uže	1549							3345	4	1599		3402	
		1. faza	2233							4349		2703		4856	
	335.0	1.25	7.29	7.66	8.03	8.40	8.76	9.11	9.47	9.40		335.38	349	346	346
	335.0	1.25	8.25	8.69	9.13	9.55	9.97	10.38	10.77	10.12		335.58	347	344	345
32		Z. uže	2608							5128	5	2658		5184	
		1. faza	3096							5790		3566		6296	
	321.0	-5.10	6.69	7.04	7.38	7.72	8.05	8.37	8.69	8.63		319.35	382	368	368
	321.0	-4.09	7.57	7.98	8.38	8.77	9.15	9.53	9.89	3.29		319.51	364	354	356
33		Z. uže	925							1961	6	1445		2532	
		1. faza	1804							3270		2324	7.0	3840	7.9

se glava stupa optimira za određene kriterije minimalnog rizika kvara u uvjetima sklopnih i atmosferskih prenapona (primjer [76]).

Postoje i rutine koje nisu strogo vezane za razmještaj stupova, ali su ili dio projektnog rješenja ili njegova verifikacija. To su:

- dimenzioniranje uzemljenja stupova
- projektiranje zaštite od vibracija
- proračun utjecaja na okolne objekte (PTT-instalacije, cjevovode i dr.).

Razvoj određenog informatičkog sistema za projektiranje dalekovoda obično i počinje s razvojem odgovarajućih programa za rješavanje navedenih podataka. Njihova integracija u jedinstveni informatički sustav ostvaruje se upravo programom za razmještaj stupova.

Tablica 3. primjer je rezultata proračuna utjecaja visokonaponskog nadzemnog voda na nadzemne telegrafsko-telefonske linije [83]. To je primjer proračuna po najnovijim jugoslavenskim propisima.

Tablica 3. Primjer proračuna utjecaja dalekovoda na telekomunikacione linije

Elaborat utjecaja EE-vodova na TT-linije (proračuni);						
Rezultati proračuna u sekciji: 1						
Kombinacija: Nadzemni EE-vod-nadzemni TT-kabel;						
Pogonsko stanje			Normalni pogon:		1-fazni zemljospoj:	
Redni broj dionice:	Razmak između EE-voda i TT-linije:		l(m):	$e_{s1}(\mu V)$:	$e_{s4}(\mu V)$:	$e_{indk.}(V)$:
	$d_p(m)$:	$d_k(m)$:				
1	865.00	915.00	50.00	10.283	0.000	6.192
2	915.00	965.00	75.00	13.702	0.000	9.150
3	965.00	965.00	48.00	8.243	0.000	5.370
4	965.00	945.00	60.00	10.562	0.000	6.780
5	945.00	975.00	178.00	30.956	0.000	20.006
6	975.00	980.00	50.00	8.324	0.000	5.533
7	980.00	950.00	120.00	20.613	0.000	13.426
8	950.00	970.00	108.00	18.779	0.000	12.138
9	970.00	950.00	37.00	6.434	0.000	4.159
10	950.00	880.00	60.00	11.647	0.000	7.431
11	880.00	870.00	42.00	8.934	0.000	5.159
12	870.00	880.00	120.00	25.525	0.000	14.740
13	880.00	840.00	74.00	16.294	0.000	9.226
14	840.00	820.00	105.00	24.708	0.000	13.478
15	820.00	768.00	122.00	31.059	0.000	15.920
16	768.00	740.00	32.00	8.853	0.000	4.445
17	740.00	695.00	168.00	50.072	0.000	23.937
18	695.00	645.00	78.00	25.519	0.000	11.592
19	645.00	575.00	90.00	32.980	0.000	14.433

$\Sigma e_{s1}(mV)$:	$\Sigma e_{s4}(mV)$:	$\Sigma e_{indk.}(V)$:
0.363	0.000	203.116

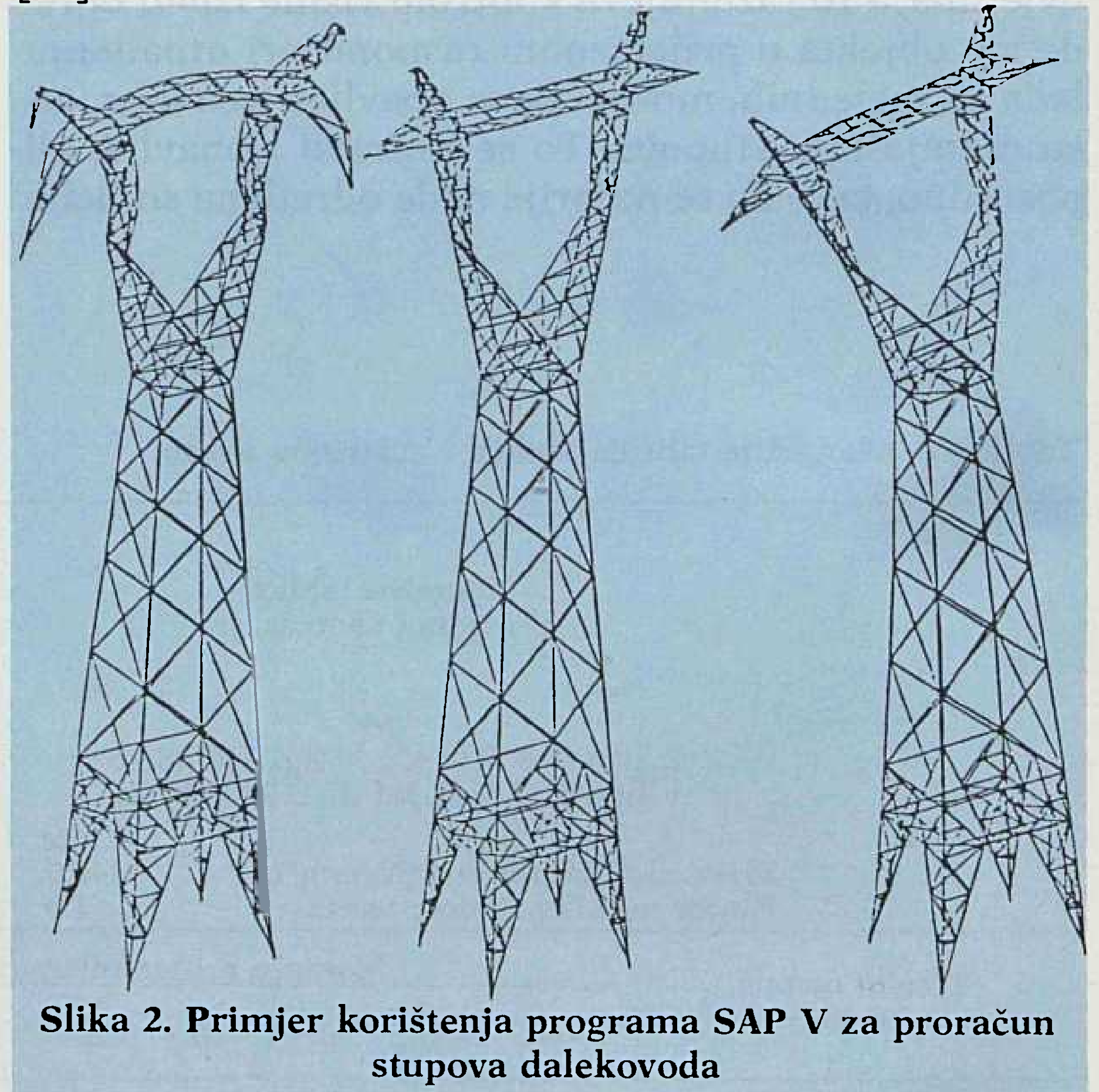
Jedan od osnovnih praktičnih problema proračuna utjecaja dalekovoda na druge instalacije općenito je organizacija ulaznih podataka koji definiraju prostorni odnos svih instalacija u području utjecaja. S razvojem integralnog sustava, posebno dijela koji se odnosi na geodetske podloge, omogućuje se automatizacija i ovog segmenta obrade.

Proračun dalekovodnih stupova

Pri konvencionalnom načinu proračuna stupova prostorna konstrukcija stupova rastavlja se na ravninske rešetke, pri čemu su ravnine djelovanja sila što ih definiraju karakteristične, granične, vanjske sile na stup. Najčešće se primjenjuje klasični statički proračun Ritterovom metodom.

Širom primjenom računala, osobito razvojem naj-suvremenijih numeričkih metoda, omogućeno je i da se stup proračunava kao cjelovita prostorna konstrukcija. U tu se svrhu redovno koriste programski paketi za statički i dinamički proračun metodom konačnih elemenata.

Na slici 2. i u tablici 4. dan je jedan primjer statičkog proračuna primjenom programskog paketa SAP V [79].



Slika 2. Primjer korištenja programa SAP V za proračun stupova dalekovoda

Grafički prikaz pritom nema samo funkciju lake kontrole ulaznih podataka nego i uočavanje efekata prekoračenja graničnih opterećenja. To pruža mogućnost optimizacije konstrukcije tako da se što bolje uskladi odnos maksimalnih opterećenja i čvrstoće svih elemenata konstrukcije.

Statička analiza daje sve relevantne podatke o pomacima, te silama u svim čvorovima i elementima.

Dinamički proračuni dalekovoda

Područje razvoja i primjene numeričkih metoda, koje se u najnovije vrijeme posebno intenzivno razvija, jest numerička simulacija različitih izvanrednih efekata koji imaju suštinsko značenje na statičku stabilnost dalekovoda kao konstruktivnog sustava. Riječ je o modelima kojima se simulira proces mehaničkog opterećenja svih komponenti voda pri pucanju užeta, pucanju izolatorskih lanaca ili ovjesne opreme, naglom rasterećenju otpadanjem leda.

U redovnoj praksi svi ti mogući efekti uzimani su u obzir pri dimenzioniranju opreme i voda kao konstruktivnog sustava kroz odgovarajuće faktore sigurnosti. Koliko se u tome uspjela »uhvatiti« realna si-

Tablica 4. Primjer korištenja programa SAP V za proračun stupova dalekovoda

a) STATIC ANALYSIS

LOAD CASE 3

DISPLACEMENTS/ROTATIONS UNRESTRAINED NODES

Node number	X- Translation	Y- Translation	Z- Translation	X- Rotation	Y- Rotation	Z- Rotation
1	3.61182D-06	1.06557D-06	-2.45347D-05	1.22106D-05	-1.35577D-05	1.21191D-06
2	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00	-5.88769D-05	-3.04132D-06	1.57220D-05
3	-1.09373D-05	-4.46695D-06	-3.37238D-05	1.94324D-07	-1.48772D-05	4.85264D-06
4	-1.76047D-06	9.09608D-07	-1.16427D-05	1.78497D-05	1.23848D-06	1.66605D-05
5	-2.56222D-05	-4.41121D-06	-4.25719D-05	1.44528D-06	-8.24959D-06	7.00838D-06
6	-1.46624D-06	-1.01954D-05	-2.16173D-05	4.64007D-06	-4.56337D-06	1.20093D-05
7	-2.76494D-05	-7.34237D-06	-5.26307D-05	3.80328D-07	1.73812D-06	8.46600D-06
8	-1.28045D-05	-1.25983D-05	-3.37528D-05	-4.73323D-06	-1.47451D-05	7.47037D-06
9	-2.94689D-05	-5.04864D-06	-6.24351D-05	-1.86187D-06	-3.24570D-06	9.56651D-06
10	-2.40682D-05	-5.82595D-06	-4.59867D-05	-7.48411D-06	-9.17566D-06	4.09951D-06
11	-3.64588D-05	-4.77661D-06	-7.05404D-05	-9.31589D-07	-9.85585D-06	1.04554D-05
12	-2.85040D-05	-2.98617D-06	-5.63078D-05	-2.19872D-06	-1.56129D-06	1.39984D-06
13	-4.62135D-05	-3.27987D-06	-7.79372D-05	2.07458D-07	-4.68608D-06	1.05052D-05
14	-2.92689D-05	-3.26917D-06	-6.54712D-05	2.72680D-06	-5.95559D-06	-4.84415D-07
15	-4.68658D-05	-4.56566D-06	-8.47317D-05	6.21607D-07	2.14397D-06	9.23179D-06
16	-3.77995D-05	-6.94305D-06	-7.39450D-05	1.31088D-06	-1.19983D-05	-1.32315D-06

b) BEAM ELEMENT FORCES AND MOMENTS

Beam NO.	Load NO.	Axial R1	Shear R2	Shear R3	Torsion M1	Bending M2	Bending M3
1	1	-2.530E+02	1.921E-01	6.327E-01	-5.631E-04	-5.322E-01	1.644E-01
		2.530E+02	-1.921E-01	-6.327E-01	5.631E-04	-1.036E-01	2.858E-02
1	2	1.054E+02	-2.675E-01	-4.626E-01	-3.051E-04	5.259E-01	-1.430E-01
		-1.054E+02	2.675E-01	4.626E-01	3.051E-04	-6.100E-02	-1.258E-01
1	3	6.610E+00	-6.891E-03	-1.339E-02	-3.092E-05	1.880E-02	-1.913E-03
		-6.610E+00	6.891E-03	1.339E-02	3.092E-05	-5.338E-03	-5.012E-03
2	1	-2.517E+02	1.950E-01	-9.224E-03	-5.631E-04	1.036E-01	-2.858E-02
		2.517E+02	-1.950E-01	9.224E-03	5.631E-04	-9.429E-02	2.246E-01
2	2	1.054E+02	-2.699E-01	1.936E-02	-3.051E-04	6.100E-02	1.258E-01
		-1.054E+02	2.699E-01	-1.936E-02	3.051E-04	-8.045E-03	-3.970E-01
2	3	6.159E+00	2.266E-02	-1.272E-02	-3.092E-05	5.338E-03	5.012E-03
		-6.159E+00	-2.266E-02	1.272E-02	3.092E-05	7.441E-03	1.776E-02
3	1	-2.388E+02	-1.218E-01	-1.340E-01	-4.947E-04	9.435E-02	-2.245E-01
		2.388E+02	1.218E-01	1.340E-01	4.947E-04	3.360E-02	1.082E-01
3	2	9.636E+01	2.354E-01	6.978E-02	-5.544E-04	8.934E-02	3.970E-01
		-9.636E+01	-2.354E-01	-6.978E-02	5.544E-04	-1.469E-01	-1.723E-01
3	3	5.785E-00	-2.171E-02	1.749E-02	-1.777E-05	-7.436E-03	-1.776E-02
		-5.785E+00	2.171E-02	-1.749E-02	1.777E-05	-9.257E-03	-2.963E-03

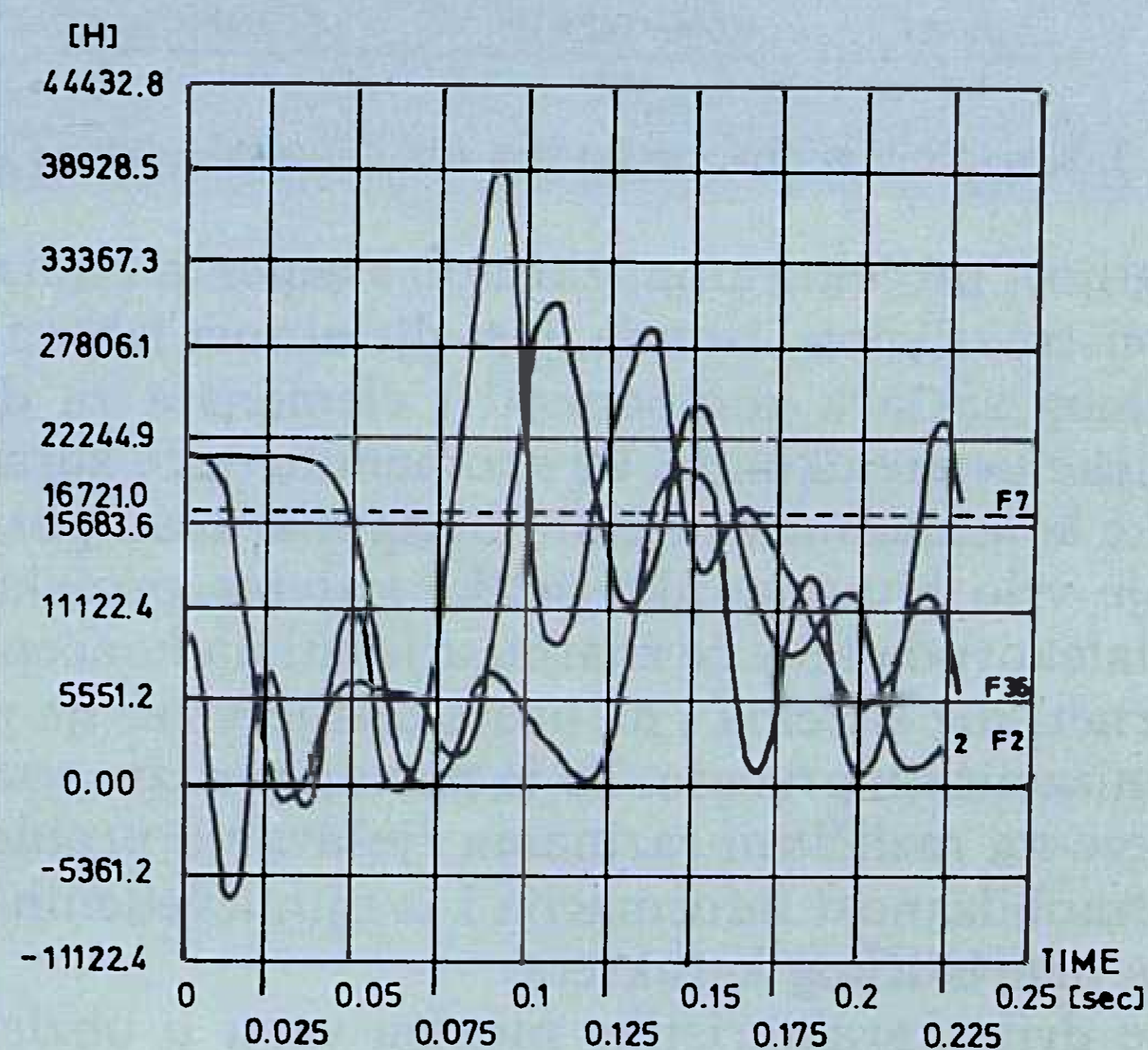
tuacija, jedini relevantan pokazatelj bilo je ponašanje dalekovoda u eksploataciji.

Sada su ostvarene mogućnosti dosta pouzdanog simuliranja takvih procesa, što onda omogućuje temeljnu reviziju kompletnog konvencionalnog sistema projektiranja dalekovoda (npr. revizija uvjeta opterećenja stupova), te mnogo pouzdaniju kontrolu dimenzioniranja opreme.

Na sl. 3. je prvi primjer iz naše prakse takvog proračuna prekida vodiča dalekovoda i time uzrokovanih dinamičkih opterećenja na izolatorskim lancima [82].

Koncepcija integralnog informacijskog modela projektiranja dalekovoda

Polazeći od osnovnih načela sistemskog pristupa (a djelatnost projektiranja dalekovoda je kompleksan sistem, kako po svojoj multidisciplinarnosti, tako i po strukturi i okruženju u kojemu se realizira), po-

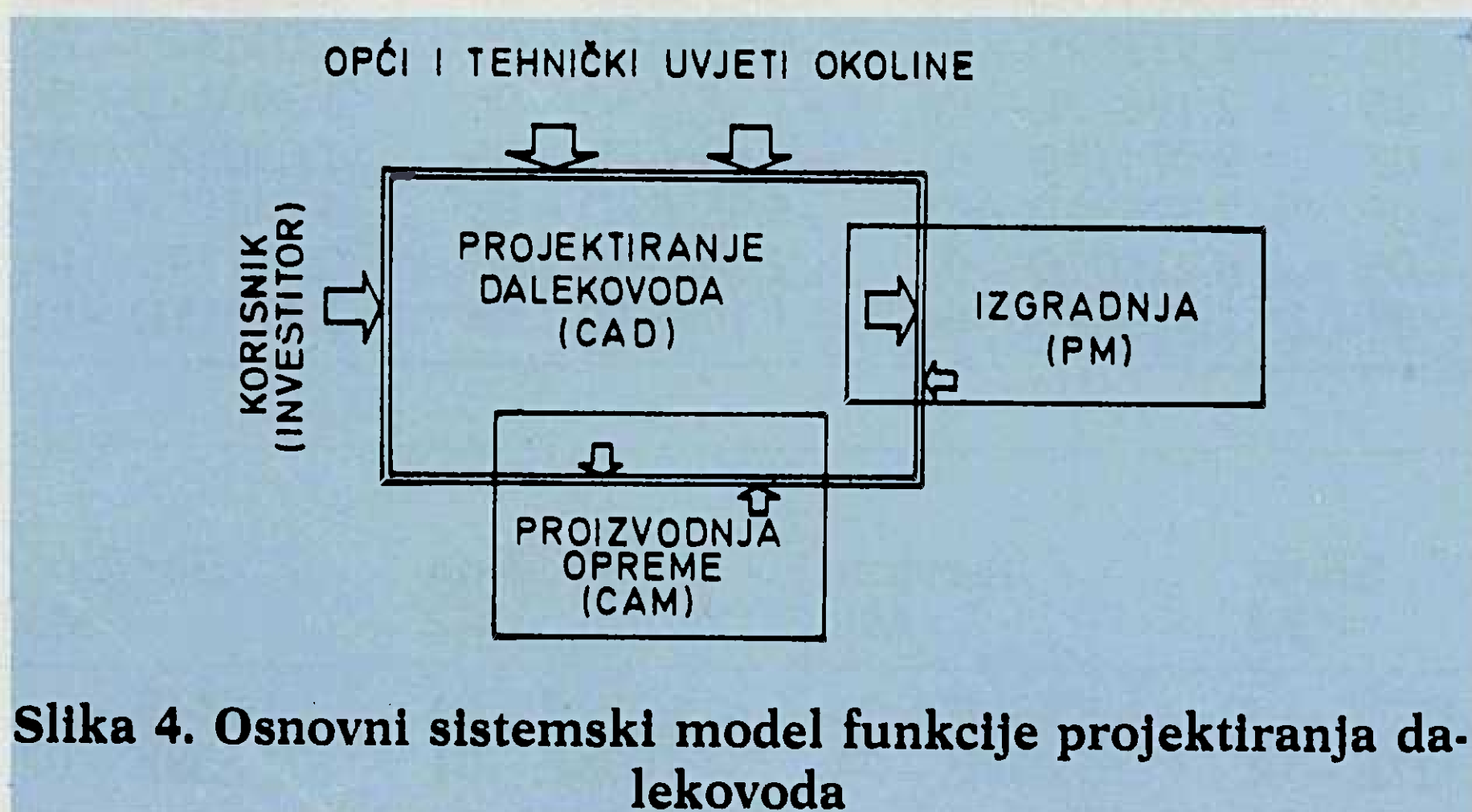


Slika 3. Dinamički proračun prekida vodiča

trebno je definirati osnovne karakteristike tog funkcionalnog sistema i njegovu strukturu.

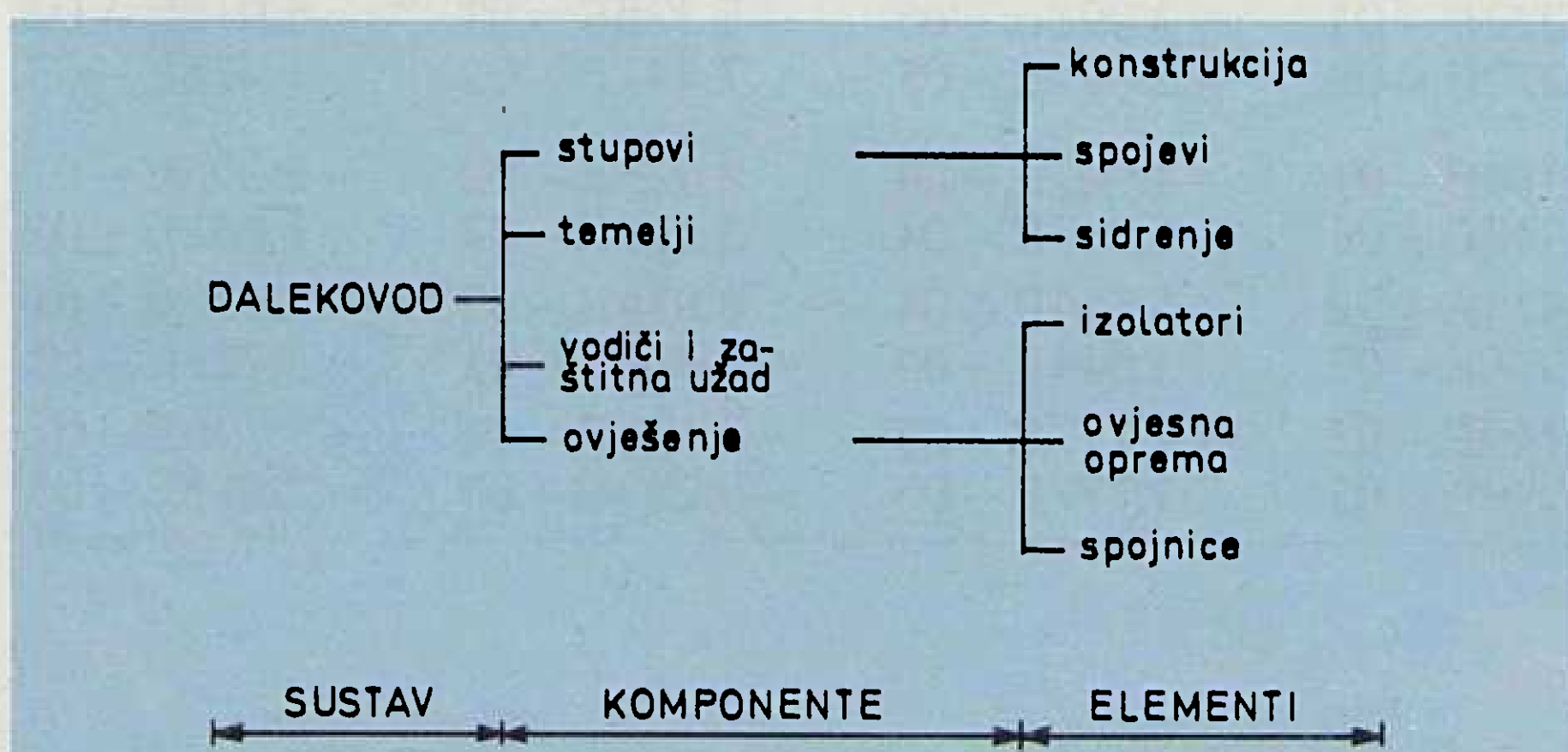
Shema osnovnoga sistemskog modela (sl. 4) pokazuje da je riječ o kibernetičkom sistemu s vrlo naglašeno otvorenosću i interakcijom s funkcijama ili djelatnostima koje stvaraju bitne pretpostavke za njegovo funkcioniranje. To će se posebno očitovati u analizi odnosa projektiranja i proizvodnje opreme te projektiranja i izgradnje dalekovoda.

To su neki opći razlozi zbog kojih se i u studiranju optimizacijskih procesa mora nužno imati na umu sistem cjelina, pa i njegov odnos prema okruženju da bismo sintezom pojedinih potprocesa optimizacije mogli doći do općih principa i kriterija.



Slika 4. Osnovni sistemski model funkcije projektiranja dalekovoda

Na sljedećoj, nižoj razini, ali još uvijek u sklopu razmatranja integralnog sistema, pojavljuje se pitanje karakteristika dalekovoda kao konstruktivnog sustava. Dalekovod se u konstruktivnom i funkcionalnom smislu sastoji od sljedećih osnovnih komponenti, odnosno elemenata:



Slika 5. Karakteristična struktura sustava nadzemnog voda

Djelatnost projektiranja, gledano s aspekta realizacije konstruktivnog sistema, jest djelatnost izbora optimalnog sastava komponenti i elemenata za dane tehničke uvjete okoline. Uz spomenute opće karakteristike kompleksnosti i multidisciplinarnosti postoje i dvije vrlo bitne karakteristike sistema projektiranja dalekovoda koje će znatno utjecati na koncepciju kibernetičkog sistema i na postavljanje kriterija podoptimizacijskih procesa. To je postojanje tzv. povratne veze na različitim razinama rješavanja problema te nezaobilaznost informacija i iz njih izvedenih kriterija **heurističkog** karaktera.

Te se dvije karakteristike moraju uzeti u obzir pri razmatranju i rješavanju pitanja optimizacijskih metoda u djelatnosti projektiranja dalekovoda.

Integralni koncept projektiranja dalekovoda razumijeva tri grupe osnovnih aktivnosti

a) Preliminarno projektiranje

Polazeći od pretpostavke da su projektiranim zadatkom, na osnovi prethodnih energetske studija, definirani:

- početna i krajnja točka voda
- naponski nivo
- prosječno i maksimalno opterećenje voda,

preliminarnim je aktivnostima prije svega potrebno detaljnije razraditi osnovne kriterije za projektiranje i koncepciju samog rješenja. U toj se fazi traži odgovor na pitanje izbora osnovnih električnih i mehaničkih parametara voda, klimatskih uvjeta, specifičnih uvjeta zaštite okoline i, što je posebno važno, izbora osnovne opreme (točnije, samo osnovnih tipova opreme), vodiča, stupova, zaštitne užadi, izolacije.

Izbor meteoroloških parametara često se potpuno oslanja na parametre ranije projektiranih vodova, pa posebna obrada kontinuiranih mjerenja i istraživanja, koja mogu ali i ne moraju biti organizirana upravo za potrebe projektiranja vodova, nije obavezan sastavni dio ukupnih djelatnosti projektiranja voda u smislu organiziranja opsežnijih obrada.

Optimizacija trase voda zaseban je skup aktivnosti u fazi preliminarnog projektiranja, mada nije rijetkost, pogotovo ranije, da se izbor trase obavi kao rutinski dio terenskih aktivnosti na koje se dalje nastavlja snimanje uzdužnog profila voda. Sama geodetska i geofizička snimanja djelomično su dio aktivnosti preliminarnoga, a djelomično osnovnog projektiranja.

Naime, ako je riječ o rekognosciranju trase, pa i trasiranju, onda se to može smatrati sastavnim dijelom preliminarnog projektiranja. Međutim, samo snimanje uzdužnog profila trase, a zatim probno kolčenje razmještaja stupova u trasi dio su aktivnosti osnovnog projektiranja. Slično je i u slučaju geofizičkih ispitivanja. Ako je riječ o preliminarnim ispitivanjima u kojima se utvrđuje samo podobnost, odnosno izvedivost voda zadanom trasom, onda su to samo preliminarne aktivnosti.

b) Osnovno projektiranje

U njegovu sklopu postoje dvije zasebne, iako međusobno uvjetovane grupe aktivnosti. To su optimizacija projektirane rješenja voda i optimizacija tipskih komponenti.

Optimizacija projektirane rješenja jest aktivnost u čijem je centralnom dijelu proces nalaženja najboljeg razmještaja stupova, uz istovremenu kontrolu svih električnih i mehaničkih uvjeta, te izbor najjeftinije varijante. Razmještaj stupova pomoću kompjutera, neovisno o tome realizira li se konvencionalnim postupkom ili automatski, aktivnost je kojom završava projektiranje kao kreativni čin.

Projektiranje i izbor opreme koja se primjenjuje za konkretan objekt nije aktivnost koja je obavezno i striktno vezana za taj objekt. Tipičan su primjer upravo stupovi dalekovoda.

Bilo bi krajnje neracionalno, premda bi se time postigla najmanja masa konstrukcije, da se projektiraju stupovi za svaki pojedini vod posebno. Potrebno je ponajprije zbog organizacije racionalnije proizvodnje, ali i građenja i održavanja, obaviti izbor tipskih rješenja koja se onda primjenjuju na svim vodovima određene mreže i određenoga naponskog nivoa. Zato je projektiranje elemenata i komponenti neovisan proces, ali neodvojiv od procesa projektiranja svakoga pojedinog voda.

c) Elaboriranje projektne dokumentacije

Pošto su svi relevantni tehnički detalji voda precizno definirani prethodnim aktivnostima, izrada projektne dokumentacije je aktivnost rutinske obrade i elaboriranja rješenja. Međutim, to ne znači da se i u tome ne kriju znatne mogućnosti racionalizacije i unapređenja, posebno primjenom suvremenih paketa za obradu nacrti (crtanje, konstruktivna razrada) i teksta.

Na slici 6. dana je blok-shema integralnoga informatičkog sustava koji uključuje spomenute osnovne grupe aktivnosti pri projektiranju dalekovoda.

Projektiranje dalekovoda treba promatrati kao opći optimizacijski proces u kojem svaka faza treba unapređivati iduću, a svaki novi projekt unapređivati sljedeće. Taj se princip može najbolje uočiti promatranjem nekoliko zatvorenih, podoptimizacijskih procesa unutar integralnoga informatičkog sustava.

Tako optimizaciju trase voda provodimo u procesu koji je upravo **sukcesivno približavanje teorijskom optimumu**, i to analitičkom obradom, terenskim sni-

manjima i formiranjem odgovarajuće baze ulaznih podataka za novu obradu. Slično je i s podoptimizacijskim procesom verifikacije određenog rješenja razmještaja stupova.

Potproces u optimizaciji tipskih komponenti posebno je interesantan jer se provodi preko datoteke svih do tada projektiranih vodova, što osigurava princip optimalnosti u širem smislu.

Potproces unutar procedure elaboriranja projektne dokumentacije karakterističan je po tome što njegova efikasnost stalno raste s primjenom.

BAZE PODATAKA I NJIHOVA ULOGA U INFORMATIČKOM SUSTAVU

Kao što se moglo uočiti na slici 6, integralni informatički sustav razumijeva kreiranje i održavanje šest vrsta baza podataka ili, ako polazimo od jedinstvenog sistema organizacije i upravljanja, šest komponenti jedinstvene baze podataka u procesu projektiranja dalekovoda. To su:

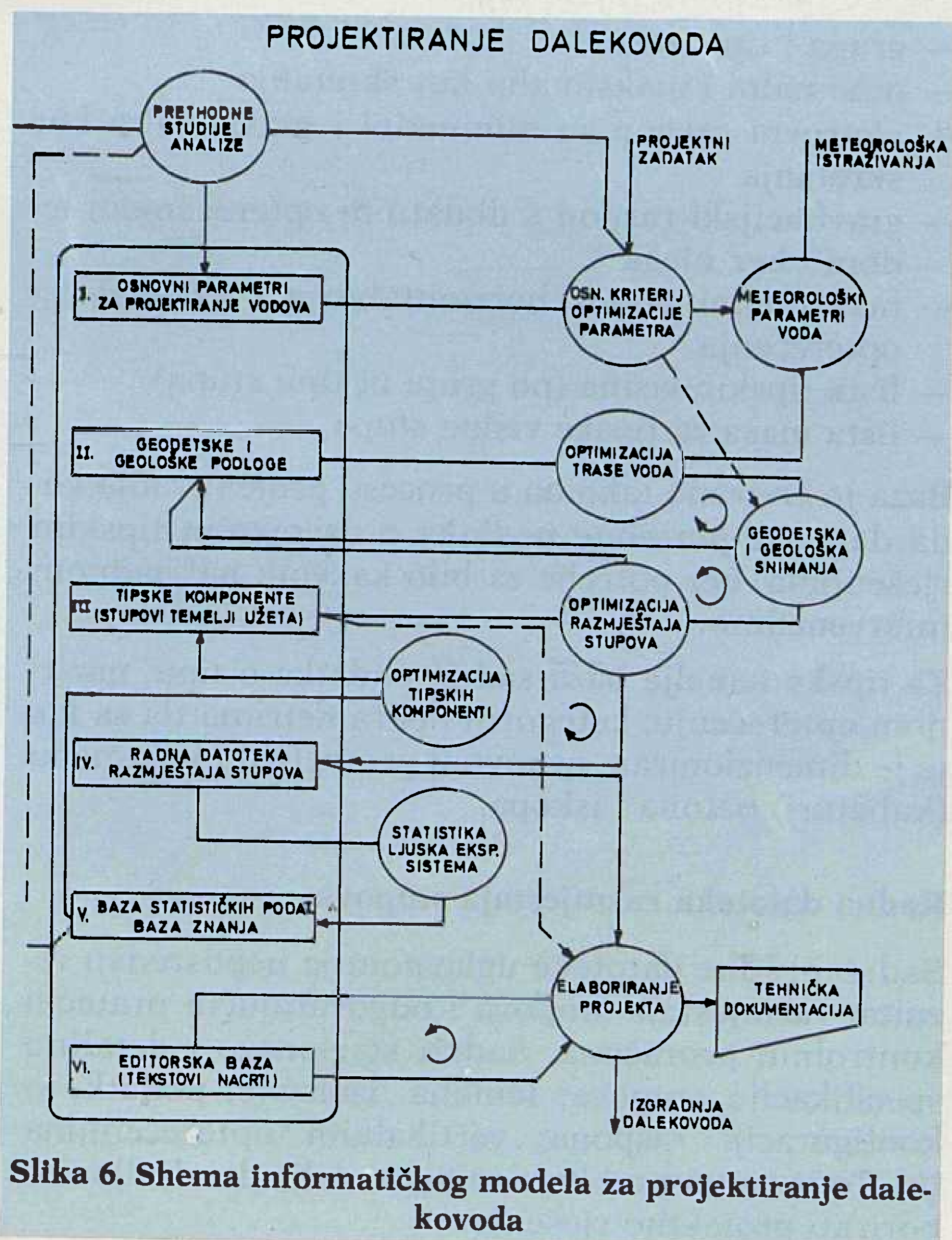
- I — baza osnovnih parametara za projektiranje i gradnju dalekovoda,
- II — baza terenskih podataka (geodetske i geološke podloge),
- III — baza tipskih komponenti,
- IV — radna datoteka razmještaja stupova,
- V — numerička i logička baza podataka ranije projektiranih vodova,
- VI — editorska baza podataka (elaboriranje projektne dokumentacije).

Kreiranje racionalnog sistema baze podataka jedan je od ključnih zadataka projekta integralnoga informatičkog sustava. Time se omogućava ne samo efikasno rutinsko korištenje sustava u svakodnevnoj praksi nego se i osiguravaju određene bitne pretpostavke za realizaciju optimizacijskih procesa pri projektiranju dalekovoda.

Upravo zato što se svi kriteriji optimizacije ne mogu svesti samo i isključivo na uvjete i performance objekta koji se projektira, baza podataka mora sadržavati podatke s više objekata u integralnoj formi (npr. na razini djelatnosti određenoga projektinog ureda ili zahtjeva za projektiranje određene mreže), a u sintetiziranoj formi za sve objekte projektirane u duljem razdoblju.

Polazeći od nekih prijašnjih, relativno pouzdanih iskustava i analiza, može se procijeniti da bi integralna baza podataka koja bi, osim osnovnih podataka, podataka za tipske komponente i editiranje dokumentacije, sadržavala i sve potrebne podatke za oko 500 km dalekovoda, trebala imati kapacitet od oko 100 MB (megabyta).

To samo za sebe danas nije osobit problem i može se uspješno riješiti i kreiranjem konvencionalnih datoteka. Međutim, upravo zbog naglašene interakcije između pojedinih potprocesa optimizacije, o čemu ćemo kasnije više govoriti, te zbog multidisciplinarnosti same djelatnosti projektiranja dalekovoda, primje-



Slika 6. Shema informatičkog modela za projektiranje dalekovoda

na relacijskih baza podataka nametnula se kao mnogo prihvatljivije rješenje.

Istina, u primjeru razvoja integralnoga sustava o kojemu je riječ korištena je i činjenica da je relacijski sistem baza podataka osnova integralnoga informatičkog sustava svih djelatnosti radne organizacije [44]. U tom smislu je i baza podataka za dalekovode samo dio integralne baze podataka za planiranje, gradnju i održavanje svih poslovnih procesa u organizaciji koja projektira, proizvodi opremu i gradi dalekovode.

To nadalje znači da je većina bitnih elemenata okruženja sistema za projektiranje dalekovoda upravo u spomenutom integralnom sustavu.

Baza osnovnih parametara za projektiranje i gradnju dalekovoda

Kreirana je tako da zajedno s bazom tipskih komponenti i bazom prije projektiranih vodova daje sve relevantne informacije za definiranje osnovnih kriterija i koncepcije voda.

To su, s obzirom na vrstu parametara i kriterija za koje se koriste, sljedeće grupe podataka:

- uvjeti električnog dimenzioniranja (nazivne vrijednosti napona i struje u normalnim režimima i iznimnom režimu rada, faktori sigurnosti)
- uvjeti mehaničkog dimenzioniranja (kriteriji izbora normalnoga i iznimnog naprezanja, mehanički faktori sigurnosti)
- kategorije sigurnosnih visina i udaljenosti za različite objekte i varijante prijelaza nadzemnih vodova
- pregled meteoroloških podataka šireg područja (vjetrovne zone, izokeraunički nivoi, zone zaledivanja, područja velikih havarija)
- specifični uvjeti zaštite okoline (razine utjecaja električnog i magnetskog polja, zaštita okoline, kriteriji estetskog uklapanja u okolinu)
- financijski podaci (jedinične cijene rada i materijala, naknade, kamatne stope, tečajne liste).

Svaka od navedenih grupa podataka predstavlja sadržaj jedne tablice u relacijskoj bazi podataka.

U konvencionalnom načinu projektiranja navedeni podaci se dobivaju iz različitih izvora, ne ažuriraju se redovno, što djelomično ograničava širu primjenu u procesima optimizacije. Integralni informatički sustav daje pretpostavke za eliminiranje tih nedostataka.

Baza terenskih podataka (geodetske i geološke podloge)

Najveći dio baze terenskih podataka odnosi se na podatke geodetskih snimanja terena. Ti su podaci snimanja uzdužnog profila terena, situacije trase, uključivši i važnije instalacije u širem području (tt-linije, cjevovodi, drugi vodovi, željeznice itd.) izvodi iz digitalnih modela reljefa potrebni za optimizaciju trase voda, podaci o tzv. probnom kolčenju u procesu razmještaja stupova.

Svaka snimljena točka u uzdužnom profilu terena sadrži sljedeće osnovne podatke:

- stacionažu; horizontalnu udaljenost od točke koju deklariramo kao početnu
- nadmorsku visinu ili relativnu visinu u odnosu prema određenoj referentnoj točki
- relativnu visinu točke u poprečnom profilu (vertikalno ispod vodiča u neotklonjenom položaju)
- kut skretanja trase
- kôd identifikacije kategorije sigurnosne visine i udaljenosti
- kategoriju terena s obzirom na nosivost tla i izvedivost stupnog mjesta
- koeficijent dodatnih troškova u slučaju korištenja pozicije stupnog mjesta
- eksplicitnu specifikaciju tipova stupova koji se isključuju
- komentar.

Ostali su podaci rezultati geotehničkih i geomehaničkih analiza tla, te mjerenja specifičnog otpora zemljišta.

Baza tipskih komponenti

Glavni sadržaj baze jest pregled svih tipskih stupova u primjeni, zajedno sa svim važnijim tehničkim podacima kojima se definiraju uvjeti primjene (mehanički rasponi, tipska opterećenja, silhuete stupova). Osim toga, u datoteci su i podaci o tipskim rješenjima temelja, vodiča i zaštitne užadi, te izolatorskih lanaca.

Osnovni podaci za stupove jesu:

- grupa i tip stupa
- minimalni i maksimalni kut skretanja
- vjetrovni raspon za minimalni i maksimalni kut skretanja
- gravitacijski raspon s dodatnim opterećenjem ledom i bez njega
- maksimalni odnos horizontalnoga i vertikalnog opterećenja
- lista tipskih visina (po grupi ili tipu stupa)
- lista masa za tipske visine stupa.

Baza je kreirana tako da u procesu projektiranja voda daje sve potrebne podatke o usvojenim tipskim rješenjima, bez potrebe za bilo kakvom naknadnom intervencijom.

Za tipske temelje baza sadrži podatke o tipu, nazivnom opterećenju, kategoriji i parametrima tla za koje je dimenzioniran, osnovnoj geometriji i volumenu (kubaturi) betona i iskopa.

Radna datoteka razmještaja stupova

Sadržaj radne datoteke uglavnom je neposredan rezultat razmještaja stupova i odgovarajućih pratećih kontrolnih proračuna. Sadrži stacionaže i detaljnu specifikaciju stupova, temelja, izolacije, podatke o konfiguraciji raspona, vertikalnim opterećenjima itd. To je osnova od koje se može dalje detaljnije elaborirati projektno rješenje.

Numerička i logička baza podataka ranije projektiranih vodova

Jedan od usvojenih principa opće optimizacije — da svako projektirano rješenje unapređuje iduća, najneposrednije se ostvaruje upravo pomoću baze podataka ranije projektiranih vodova. Iako generalno i dugoročno rješenje pretpostavlja razvoj odgovarajućega ekspertnog sistema, na današnjem je stupnju razvoja bilo najsvrsishodnije formirati bazu podataka u kojoj će se za svaki vod memorirati:

- osnovni tehnički podaci
- sažetak sadržaja radne datoteke
- rezultati statističkih obrada osnovnih parametara, veličina raspona, primjene pojedinih komponenti
- posebne napomene.

Editorska baza podataka (elaboriranje projektne dokumentacije)

Standardni, tipski tekstovi pojedinih dijelova, poglavlja projekta glavni su sadržaj te datoteke. Ona omogućuje ne samo racionaliziranje same obrade dokumentacije, nego i bitno smanjuje mogućnost grešaka u njoj. Pri obradi nacрта koristi se uglavnom sadržaj baze tipskih komponenti.

Editorska baza podataka jedno je od vrlo efikasnih sredstava očuvanja razine kvalitete obrade projektne dokumentacije u većim projektnim organizacijama, pri čemu se kao korisnici pojavljuje više projektnih grupa i više nosilaca projekta.

OSNOVNI MODULI INFORMACIJSKOG SUSTAVA

Osnovni moduli i pripadne aktivnosti u projektiranju dalekovoda prema modelu integralnoga informacijskog sistema (sl. 6) jesu:

- Osnovni kriteriji i koncepcija projekta dalekovoda
- selekcija i definiranje osnovnih kriterija i parametara električnoga i mehaničkoga dimenzioniranja dalekovoda
 - izbor tipske opreme
 - revalorizacija jediničnih cijena rada i materijala

Optimizacija trase voda

- selekcija reljefa za optimizaciju trase
- izbor osnovnoga optimalnog i nekoliko podoptimalnih rješenja
- analiza povratnih informacija s terena, korekcije ulaznih parametara i izbor konačnog rješenja.

Geodetska i geofizička snimanja

- rekognosciranje i trasiranje
- snimanje uzdužnoga i poprečnog profila terena
- geološke prospekcije, vađenje uzoraka tla, geofizička mjerenja,
- probno kolčenje stupnih mjesta,

Optimizacija tipskih komponenti dalekovoda

- dimenzioniranje stupova prema optimalnim intervalima tipskih rješenja

- dimenzioniranje temelja za odabrana tipska rješenja stupova i standardne kategorije terena
- izbor optimalnih presjeka i intervala primjene vodiča i zaštitne užadi
- tipizacija izolatorskih lanaca.

Optimizacija projektnog rješenja voda

- optimizacija razmještaja stupova
- električne i mehaničke kontrole u procesu razmještaja
- izbor optimalnog razmještaja stupova
- revizija razmještaja prema probnom kolčenju
- kontrole mehaničkog opterećenja stupa, električno dimenzioniranje, sigurnosne visine, utjecaji na susjedne objekte i instalacije
- uzemljenje stupa.

Elaboriranje projektne dokumentacije

- tehnički opis
- rezultati električnog i mehaničkog dimenzioniranja
- specifikacija materijala
- predmjeri građevinskih i elektromontažnih radova
- opremanje tipske dokumentacije.

MEDUSOBNA OVISNOST POTPROCESA OPTIMIZACIJE VODA I OPTIMIZACIJE TIPSKIH KOMPONENTI

Kao što je već objašnjeno, jedna od osnovnih osobitosti izloženoga informatičkog sistema za projektiranje dalekovoda upravo je integracija različitih zatvorenih potprocesa optimizacije unutar općeg procesa, s osnovnim ciljem da se uz što manja ulaganja u gradnju i održavanje voda ostvare ponajprije što bolje tehničke performance, ali i drugi zahtjevi s obzirom na širu problematiku uklapanja u okolinu.

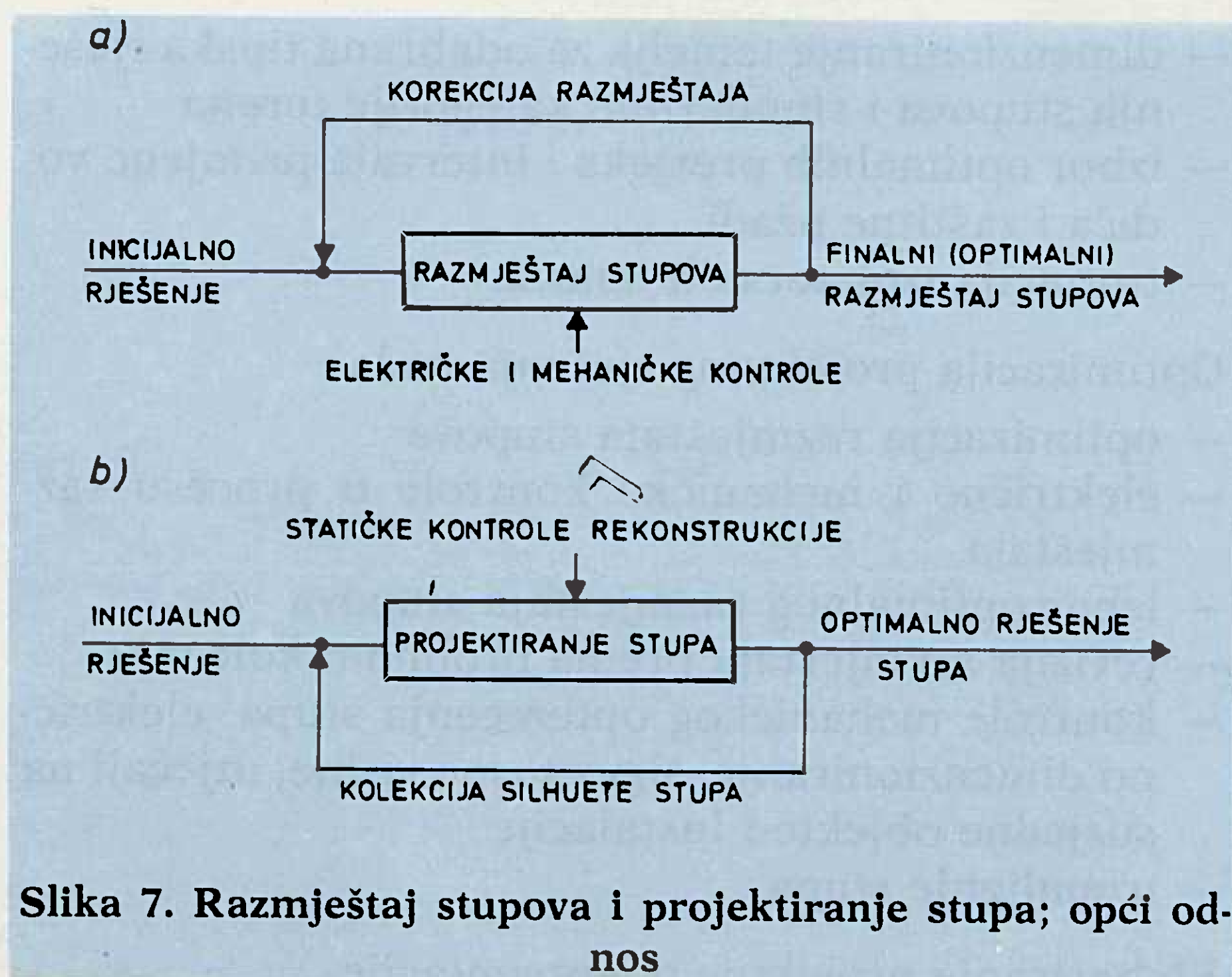
Svaka je djelatnost projektiranja iterativan proces u kojemu se zadaje jedno hipotetsko, inicijalno rješenje, preispituje se kroz različite tehno-ekonomske kriterije, te se, vraćanjem unatrag, dizajnira novo, korigirano rješenje, sve dok unutar zadanih kriterija ne dobijemo zadovoljavajuće rješenje.

Tako je u slučaju razmještaja stupova osnovni cilj da, uz zadovoljenje svih uvjeta električnoga i mehaničkog dimenzioniranja, imamo istodobno i najmanje investicijske troškove ($C_i = \min$), slika 7.a.

Pri razmještaju se koristimo već prije projektiranim asortimanom tipskih komponenti, na primjer stupova (sl. 7.b), koji se pak projektiraju tako da se unutar zatvorenoga iterativnog procesa pokuša naći konstrukcija koja za zadane osnovne parametre daje najmanju težinu konstrukcije.

U projektiranju konstrukcija općenito, pa tako i dalekovodnih stupova, postupak optimizacije na bazi zadanih parametara provodi se najčešće metodom konačnih elemenata da bi se što pouzdanije odredila distribucija opterećenja u svim dijelovima konstrukcije (detaljnije od [48] do [52]).

Tako dimenzionirana konstrukcija optimalna je za zadane parametre, uvjete opterećenja, a njezina pri-



Slika 7. Razmještaj stupova i projektiranje stupa; opći odnos

mjena na određenom vodu biti će onoliko efikasna koliko smo dobro unaprijed odredili upravo te parametre. Drugim riječima, možemo govoriti samo o optimumu unutar točno zadanih ulaznih pretpostavki. U slučaju optimizacije voda razlika je u tome što je jedno od ograničenja, odnosno jedna od osnovnih ulaznih pretpostavki da ne postoji neograničen broj komponenti, pa tako ni stupova, što znači da za teorijski neograničen broj uvjeta opterećenja stupa (različit za svaku mikrolokaciju stupa) postoji više ili manje dobro odabran spektar tipskih rješenja koji pokriva cjelokupno područje primjene.

Tako dolazimo do zaključka da će i optimum razmještaja stupova bitno ovisiti o početnoj pretpostavci, tj. parametrima u dimezioniranju tipskih komponenti! Zato se postavlja pitanje kako doći do što kvalitetnijeg rješenja upravo pri utvrđivanju parametara tipskih komponenti.

U konvencionalnom načinu rada, pa i u većini poznatih visokoautomatiziranih kompjutorskih sistema za projektiranje dalekovoda, to je bilo isključivo pitanje znanja i iskustva projektanta. U tom je smislu indikativna upravo ocjena švedskih stručnjaka da je potrebno približno petogodišnja primjena da bi se potvrdila opravdanost korištenja određenoga novoprojektiranog stupa. Kakvih podataka? Upravo onih kojima se najneposrednije analizira iskorištenost promatranog stupa u prethodnom periodu.

Pitanje iskorištenosti može se promatrati sa dva osnovna aspekta. Jedan je ukupan broj takvih stupova u cjelokupnom asortimanu stupova istog proizvođača. Drugi je iskorištenost stupova s obzirom na odnos stvarnih i nazivnih opterećenja, tj. opterećenja za koju su dimezionirani.

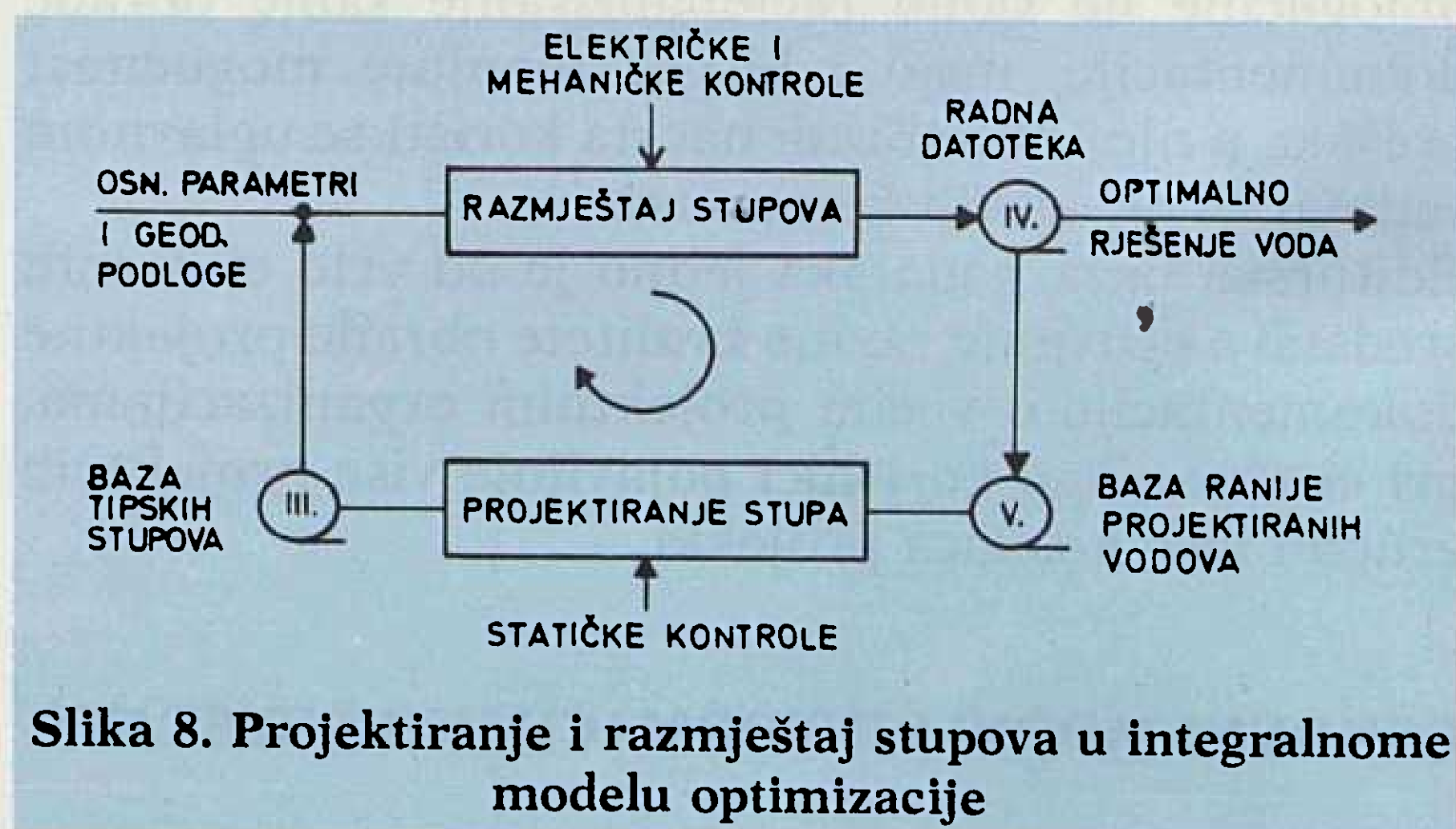
U idealnom slučaju stup bi morao biti 100% iskorišten, tj. stvarna bi opterećenja trebala odgovarati nazivnima, pa bi se i za sam razmještaj stupova moglo reći da je optimalan.

I u tradicionalnom načinu rada projektanti provode različite analize iskorištenosti konstrukcije, da bi iz njih zaključili koliko moraju korigirati svoje ranije, početne pretpostavke u utvrđivanju performanci tipskih stupova, na primjer.

Jedan od najjednostavnijih, ali i najefikasnijih postupaka jest onaj iz preporuka IEC-a [53], kojim se definiraju slijedeći faktori iskorištenja:

- γ_{uv} — odnos stvarnoga i nazivnoga vertikalnog opterećenja
(stvarni/maksimalni gravitacijskih raspon)
- γ_{uw} — odnos stvarnoga i nazivnoga horizontalnog opterećenja
(stvarni/vjetrovni raspon)
- γ_{ut} — odnos stvarnoga i nazivnoga vlačnog opterećenja
(stvarno radno/maksimalno radno napreza-nje)

Znači, spomenute godine iskustva ne znače ništa drugo nego potrebu za akumulacijom prvenstveno tih podataka o iskorištenosti određenog stupa, što nas navodi na ideju da bi se u integralnome informacijskom sistemu taj zadatak morao postaviti kao trajni, kontinuirani proces. To je ostvareno (sl. 8) stvaranjem baze ranije projektiranih vodova, koja se obogaćuje i ažurira podacima o svakom novoprojektiranom vodu.



Slika 8. Projektiranje i razmještaj stupova u integralnome modelu optimizacije

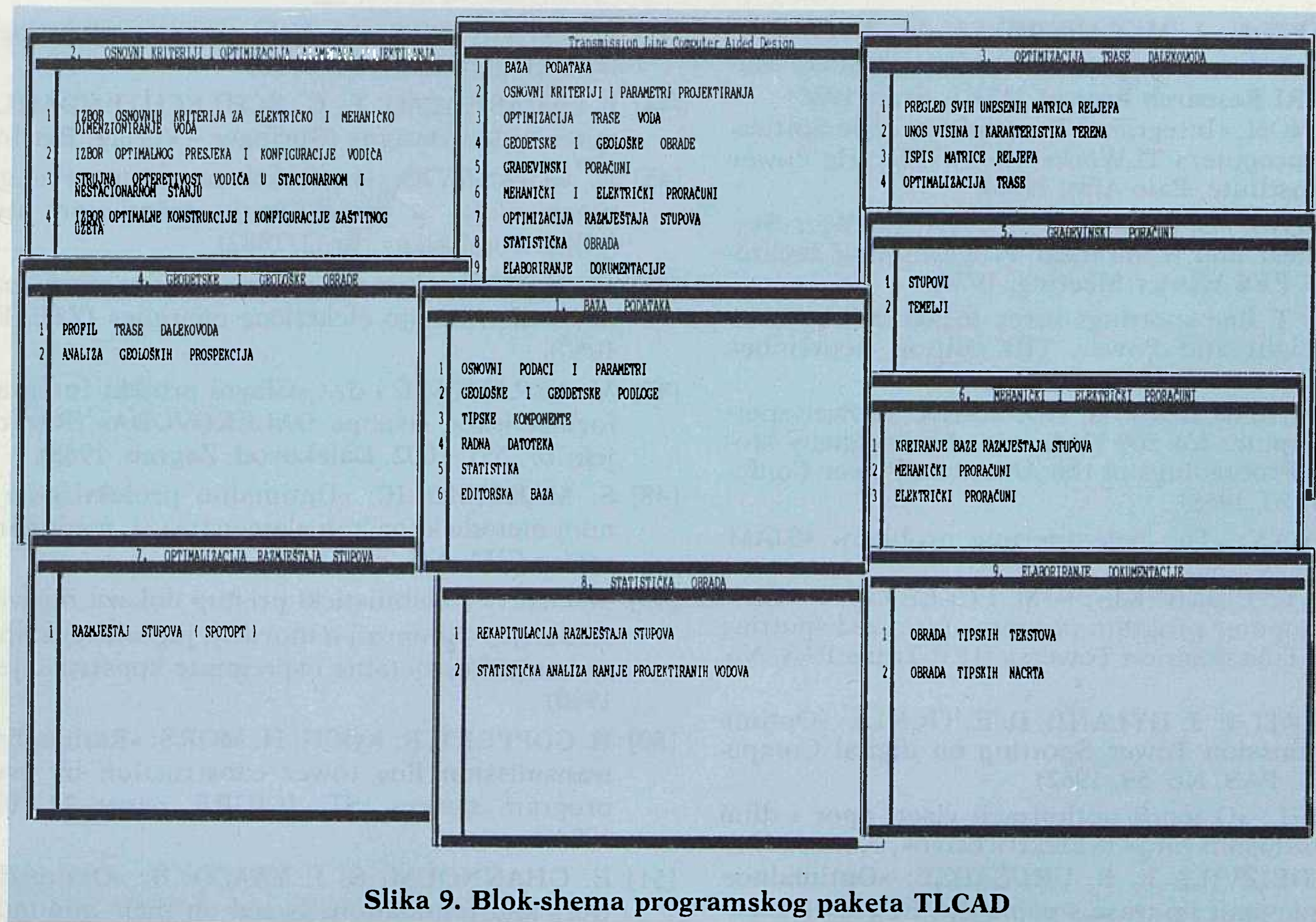
Takvim se procesom utvrđivanje parametara novih tipskih stupova u cijelosti oslanja na sistematizirano i statistički obrađeno iskustvo iz ranije projektiranih vodova. Uz to ostvaruje se još jedna važna mogućnost — da se proces primjene praktično simulira **na svim prije projektiranim objektima na kojima je određeni stup mogao biti primijenjen da je prije projektiran.**

Drugim riječima, projektantu se omogućuje da odgovori na pitanje kakve bi mogle biti ukupne konsekvence primjene takvog tipa stupa na razini određene mreže, odnosno ukupne proizvodnje dalekovodnih stupova.

Osnovno o programskom paketu TLCAD

Programski paket TLCAD (Transmission Line Computer Aided Design) razvijen je u zadnjih nekoliko godina u poduzeću »Dalekovod« Zagreb, upravo na principima integralnog informacijskog sustava opisanim u prethodnom poglavlju.

Na slici 9, je osnovna blok-shema sustava koji se sastoji od opisane integralne, relacijske, baze podataka i u ovoj fazi oko 40 programskih modula za obradu u različitim fazama procesa projektiranja dalekovoda. Programski paket TLCAD razvijen je i instaliran na



Slika 9. Blok-shema programskog paketa TLCAD

kompjutorskom sistemu VAX, kao dio Integralnog informacijskog sustava (IIS-a) koji podržava cjelokupan proces projektiranja, proizvodnje opreme i gradnje dalekovoda.

Tehnički podsistem IIS-a sastoji se od dva osnovna procesa:

- I — projektiranje objekata
- II — projektiranje opreme.

Funkcionalno, TLCAD predstavlja dio procesa projektiranja objekata, ali u ovom dijelu koji se odnosi na optimizaciju tipskih komponenti povezuje se i s procesom projektiranja opreme, u smislu prije danih objašnjenja.

Integralna baza podataka na VAX računalu je mjesto komunikacije svih korisnika u procesu projektiranja, što je tehnički riješeno odgovarajućom mrežom terminala (PC-računala različite razine, ovisno o potrebama automatske obrade u svakoj pojedinoj projektnoj djelatnosti).

LITERATURA

- [1] Dž. MUFTIĆ: »Razvoj novih postupaka optimizacije u projektiranju i izgradnji dalekovoda« (doktorska disertacija, ETF — Zagreb, 1989)
- [2] Dž. MUFTIĆ, Z. MEDIĆ, A. DELONGA, G. HRABAK-TUMPA: »Choice of route as (cigre SC-22 Open conference, Sarajevo, 1989)
- [3] Dž. MUFTIĆ: »Some aspects of tower spotting by means of computer« (Written contribution, CIGRE — PARIS, 1990 Session)
- [4] B. STEFANINI, Dž. MUFTIĆ: »Proračun i crtanje uzdužnog geodetskog profila na elektroničkom računalu IBM 1130« (CIGRE, XI savjetovanje, ref. br. 22.05, Ohrid, 1972)
- [5] B. STEFANINI, Dž. MUFTIĆ: »Proračun idealnih raspona, vertikalnih sila i provjesa vodiča u stvarnim rasponima« (CIGRE, ref. br. 22.06, Ohrid, 1972)
- [6] Dž. MUFTIĆ: »Opći prikaz i analiza numeričkih metoda za mehaniki proračun vodiča visokonaponskih vodova« (stručna radnja, Dalekovod, Zagreb, 1972)
- [7] Dž. MUFTIĆ, P. HELMAN, P. PAVLOVIĆ: »Projektiranje visokonaponskih nadzemnih vodova pomoću elektroničkog računala« (V. savjetovanje ŽJE, Opatija, 1973)
- [8] Dž. MUFTIĆ: »Primjena računala u projektiranju dalekovoda« (»Elektrotehnika«, br. 3/82)
- [9] Dž. MUFTIĆ, V. ILIJANIĆ: »Mjesto i uloga računala u projektiranju visokonaponskih nadzemnih vodova« (7. međunarodni simpozij PPPR, Zagreb, 1985)
- [10] C. F. BECK: »Computer's role in transmission line design« (»Journal of the STRUCTURAL DIVISION«, Proceedings of the ASCE, 1971)
- [11] M. BONTEMPO, M. CATTARUZZA, D. DELL'OLIO, G. MARTELLI, L. PARIS: »Automatic Design of Transmission Lines and Substations« (CIGRE, paper 23 – 11, 1972 Session, Paris)
- [12] W. CARLSHEM, E. PERSSON: »Data system for iterative routines in overhead line projecting (CIGRE, paper 22 – 02, Paris, 1974)
- [13] I. M. SMIRNOV, A. S. ZELIČENKO, A. M. TURKOT, I. z. ZAJNULIN, L. m. KESELJMAN, S. M. BUBIS, L. A. JANOVSKI: »Sistema avtomatiziranoga projektiranja linij elektroperedaci«
- [14] R. E. KENNON: »Integrated Line Software on Microcomputers TIWorkstation« (EPRI, Palo Alto, 1986)
- [15] W. D. PATTERSON, J. G. VOIT, F. MURAD, C. ERIKSON, G. W. CROUCH: »The environment; its inclusion in and impact on future trends in energy transport« (CIGRE, paper 22 – 06, Paris, 1974)
- [16] F. AHLBORG, Y. PALM: »Optimum Tower Spotting on Transmission Lines by Means of Electronic Computer« (Swedish State Power, Blue-White Series, 1962)
- [17] P. J. HOARE, C. H. MORWOOD: »Overhead Transmission Line Optimized Tower Positioning Using a Digital Computer« (»Journal of the Institution of Engineers«, No. 36/64)
- [18] G. W. STAGG, M. WATSON: »Dynamic programming — transmission line design« (IEE Int. Conv. Rec., Part 3-Power, 1964)

- [19] R. E. CLAYTON, J. M. CAFERELLA, M. A. SAGER: »Transmission Line Design Optimisation TLSPOT Manuals« (EPRI Research Project 2151-1, draft 1986)
- [20] R. E. KENNON: »Integrated Transmission Line Software on Microcomputers TLWorkstation« (Electric Power Research Institute, Palo Alto, 1986)
- [21] G. PANDAPAS: »Optimization of Overhead Wier System by Linear and Non-Linear Programming Techniques« (IEE PES Winter Meeting, 1979)
- [22] »Computer T. line spottings saves 16,000 in long run« (Electric Light and Power, TID edition, september 1973)
- [23] C. F. BECK, A. BELOFT, G. HOFMANN: »Tower spotting by computer for 500 kV line in the Allegheny Mountains« (»Proceedings of the American Power Conference«, vol 20, 1968)
- [24] H. SHULMAN: »The pole spotting problem« (SIAM Review, Vol. 4, 1962)
- [25] R. E. POP, C. J. DABEKIS, F. M. FULLERTON: »Electronic computer program permits optimized spotting of electric Transmission Towers« (IEE Trans PAS, No. 6, 1963)
- [26] V. CONVERTI, E. J. HYLAND, D. E. TICKLE: »Optimized Transmission Tower Spotting on digital Computer« (IEEE, PAS, No. 59, 1962)
- [27] R. W. ŠNEL: »O teoriji optimizaciji visoti opor i dlini proleta vazdušnih linija« (»Električestvo«, No. 8, 1974)
- [28] V. G. KADEIŽVILI, L. S. URUŠADZE: »Optimalnoe razmešćenje opor po trase s pomošću ECV« (»Električestvo«, No. 5, 1968)
- [29] E. DZIEDZIC: »Computer Method Provides Optimum Transmission Design« (Electric Light and Power, No. 3, 1964)
- [30] G. T. GLASSON: »A dynamic programming method for the optimum positioning and selection of transmission towers« (»Electrical Engineering Transactions«, No. 3, 1968)
- [31] J. C. RANYARD, A. WREN: »The optimum arrangement of towers in an electric power transmission line« (»Power transmission«, 1966)
- [32] L. H. BARTELINK: »Spotting of transmission towers by computer« (»Engineering Journal«, No. 7, 1964)
- [33] J. E. CAMPBELL: »Interactive graphics system helps spot towers« (»Transmission and Distribution«, No. 3, 1983)
- [34] C. R. JACKSON, D. L. LAROCHE, T. L. ARTER: »Computer plots transmission line profile« (»Transmission and Distribution«, No. 11, 1984)
- [35] J. F. BATES, B. WHITE: »Micro-computer provides optimized tower spotting« (»Transmission and Distribution«, No. 4, 1985)
- [36] C. A. BROWN: »Power plants-picking the sites« (»Consulting engineer«, 3/1973)
- [37] B. WHITE, J. BATES: »Micro-based program refines transmission design« (»Transmission and Distribution«, April, 1987)
- [38] W. WEISS, L. CONDRAN, F. KIESSLING: »Planning overhead lines« — studying routes, spotting towers and designing structures (»Middle East Electricity«, June/July, 1985)
- [39] »Etudes et cades de mecaniques de lignes electriques aerennes« (SITRAS brochure, Challaus 1990)
- [40] »ELIANE; logiciel destine a l'etude des lignes aerennes« (EDF, CERT brochure, Ca)
- [41r] P. J. RIISIO, V. M. KIVIRANTA: »Computer Aided Design Systems for Line Routes Toner Spotting and Line Structures in Finland« (CIGRE, paper No. 22-104, Paris, 1990)
- [42] I. RANERO: Automatic Minimum Cost Support Spotting by Computer« (CIGRE, paper No. 22-105, Paris, 1990)
- [43] J. MATJAN: »Informacijski sustav projektnog ureda« (»Elektrotehnika«, br. 3/82)
- [44] I. ENCARNACAO, E. G. SCHLECHTENDAHL: »Computer Aided Design« (Springer – Verlag, Berlin, 1983)
- [45] D. GOJANOVIĆ: »Interaktivna računarska grafika i njena uloga u projektiranju primjenom računala« (»Elektrotehnika«, br. 3/1982)
- [46] M. PLAPER: »Principi optimalnosti u mrežama za prenos i distribuciju električne energije« (ZJE, Beograd, 1980)
- [47] M. ABRAMOVIĆ i dr.: »Glavni projekt Integralnog informacijskog sistema DALEKOVODA« (Razvojni projekt br. 551 – 002, Dalekovod, Zagreb, 1988)
- [48] S. MAKSIMOVIĆ: »Optimalno projektiranje primjenom metode konačnih elemenata« (I. međunarodni seminar CIM, Niš, 1987)
- [49] MILČIĆ: Probabilistički pristup dokazu nosivosti konstrukcije« (Simpozij o inovaciji jugoslavenskih propisa za betonske, metalne i spregnute konstrukcije, Trogir, 1980)
- [50] H. GOPPERT, R. KOCH, H. MORS: »Rationalisation of transmission line tower construction by use of the program system IST« (CIGRE, paper 22–07, Paris, 1974).
- [51] E. GHANNOUM, S. J. YAACOUB: »Optimization towers and foundations based on their minimum cost« (CIGRE, Paris WG 22.09, manuscript 1987)
- [52] A. H. PEYROT, H. J. DAGHER: »A. General purpose computer program for the reliability analysis and sign of structural line componenets« (EPRI, Palo Alto, SAD, 1987)
- [53] Dž. MUFTIĆ, Z. MEDIĆ, A. DELONGA, G. HRABAK-TUMPA: »Izbor trase kao dio integralnog sistema optimizacije dalekovoda« (CIGRE, XIX, savjetovanje, ref. br. 22.03, Bled, 1989)
- [54] Dž. MUFTIĆ: »Analiza jednog oblika sistematske pogreške pri određivanju provjesa vodiča« (»Stručne informacije«, Dalekovod, 33/82)
- [55] »Tipizacija 110 kV visokonaponskih nadzemnih vodova« (Studija-projekt, Dalekovod, ZEOH, 1987)
- [56] I. S. GRANT, R. E. CLAYTON: »The EPRI Transmission Line Optimization Program TLOP« (»Southeastern Electric Exchange Annual Conference«, 1985)
- [57] V. D. ARION, V. I. ROMANČUK, J. A. GAVRILAŠENKO: »Vibor racionalnogo sostava tiporazmerov elektrossetevih objektov i oborudovanija pri avtomatiziravnom proektirovanij« (»Električestvo«, 9/1985)
- [58] W. S. PETERSON: »A formula for estimating tower weights and its application to the economies of transmissionline design« (CIGRE, paper, Paris, 1950)
- [59] O. MUFTIĆ, K. SIVONČIK, J. LABAR: »Primjena ekspertnih sistema u zadacima sigurnosti na radu« (»Sigurnost«, 29(3)1-68, 1987)
- [60] H. P. NEWQUIST: »The promise of a Smart Machine« (»Computerworld«, Vol. XX, no. 2/1986)
- [61] C. I. ORDE, H. b. WHITE: »Probability based line design« A draft proposal for 230 kV and above for the Canadian Standard Association (Symposium on Probabilistic Methods, Canada, 1984)
- [62] H. B. PUTTEGEWN, J. F. JANSEN: »An Expert System for the Design of a Power Plant Electrical Auxiliary Sistem« (IEE Trans. Power Systems, Vol. 3 feb., 1988)
- [63] H. E. FRIDMAN: »Choice of technology guides thrust of expert system effort« (»Computerworld« Vol. XX, No. 2, 1987)

- [64] W. B. RAUCH-HINDIN: »Artificial Intelligence in Business, Science, and Industry« (Prentice – Hall, New Jersey, 1986)
- [65] E. T. KERAUVNON, L. JOHNSON: »Competent Expert Systems« (Kogan Page, London, 1986)
- [66] N. KICHI, S. YAMASHIRO, Y. YANAURA: »Application of an Expert System to Decisions on Countermeasures Against Snow Accretion on Transmission Lines« (IEE Trans, PS. Vol. 3, No. 3, August, 1988)
- [67] V. LIST, K. POCHOP: »Mechanical Design of Overhead Transmission Lines« (SNTL, Prague, 1963)
- [68] F. VARHELKYI: »Einsatz der Datenverarbeitung beim Trasieren von Hochspannungs – Freileitung« (»Siemens – zeitschrift«, 47, 1973)
- [69] D. STIEFEL: »Die Aerophotogrammetrie für der Vermessung von Hochspannungs – Freileitungen« (ETZ-B, No. 11, 1959)
- [70] »Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova« (»Sl. list SFRJ«, br. 65/1988)
- [71] P. H. MILNE: »Computer Graphics For Surveying« (E. F. N. Spon, London New York, 1987)
- [72] S. UROŠEVIĆ, M. UROŠEVIĆ: »Korelacija tehnoloških modela tehnoloških sistema kompjuterske i klasične obrade konstrukcijskih informacija« (CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Cavtat, 1989)
- [73] Dž. MUFTIĆ, V. ILIJANIĆ: »Interaktivna metoda geoelektričke analize mjerenja specifičnog otpora tla« (»Stručne informacije«, Dalekovod, br. 41/1987)
- [74] »Mehanički proračun vodiča visokonaponskih nadzemnih vodova«, knjiga I. do IV. (dokumentacija, Dalekovod, Zagreb, 1972 – 1976)
- [75] M. V. BENTIVEGNI: »Computer programs, data base and modules for mechanical design of conductors« (CIGRE, paper 22 – 03, Paris, 1974)
- [76] Dž. MUFTIĆ, V. ILIJANIĆ: »Električko dimenzioniranje glave novih 400 kV stupova« (»Energija«, br. 3, 1986)
- [77] V. ILIJANIĆ: »Proračun tablica provjesa« (elaborat, Dalekovod, 1988)
- [78] D. KOBEŠČAK: »Mehanički proračun vodiča visokonaponskih nadzemnih vodova; uputa za programe DARA i PRIS« (dokumentacija Dalekovod, Zagreb, 1990)
- [79] D. HORGAS: »Primjer proračuna dalekovodnog stupa pomoću programa SAP-V« (rukopis, Dalekovod, 1988)
- [80] W. E. COATH: »Component Costs of Overhead Transmission lines«, draft (CIGRE, PAPER ?? – 87 (WG09) 14, Paris, 1987)
- [81] N. VUČINIĆ: »Utjecaj nekih parametara dalekovoda na cijenu izgradnje (XIX. savjetovanje elektroenergetičara, referat br. 22.01, Bled, 1989)
- [82] D. ŽUTIĆ, S. KURBEGOVIĆ: »Primjena numeričkih metoda u unapređenju projektiranja dalekovoda i opreme za dalekovode« (CIGRE STK-22. rukopis referata, Neum, 1991)
- [83] V. DŽIMBEG-SERMEK, V. ŽIVOTIĆ: »Proračun utjecaja dalekovoda na telekomunikacione vodove pomoću programa EETK na računalo VAX »DALEKOVOD« (Dalekovod – Zagreb, 1991)
- [84] I. SKENDER: Interaktivno crtanje uzdužnih profila – program IPD (Dalekovod – Zagreb, 1991)

CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF NEW OPTIMIZATION PROCEDURES IN TRANSMISSION LINE DESIGN

II. Some Characteristic Modules and the Concept of an Integral Information System for Transmission Line Design

This is the second paper of a series presenting the concept of an integral information system for transmission line design and construction.

BEILAGE ZUR ENTWICKLUNG NEUER METHODEN DER OPTIMIERUNG BEIM PROJEKTIEREN DER HOCHSPANNUNGEN II

(Einige charakteristische Module und die Konzeption des integralen Systems zum Projektieren der Fernleitung)

Das ist der zweite aus einer Serie von Artikeln, die eine Konzeption des integralen Informationssystems zum Projektieren und dem Ausbau von Fernleitungen geben.

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ НОВЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

П. Некоторые характерные модули и концепция интегральной системы проектирования линий электропередачи

Это вторая из серии статей о концепции интегральной информационной системы проектирования и сооружения линий электропередачи.

Naslov pisca:

Dr. Dževad Muftić, dipl. inž.
Dalekovod Zagreb,
41000 Zagreb, Proleterskih
brigada 37,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1991-04-04



PROIZVODNI PROGRAM

Energetski kabele za napone:

1 kV-s termoplastičnom izolacijom

10 kV-s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- etilen-propilena

20 kV — s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- termoplastičnog polietilena

35 kV — s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- etilen-propilena

Termoplastikom izolirani instalacijski vodovi i kabele.

Gumom izolirani instalacijski vodovi i kabele.

Brodski kabele izolirani etilen-propilenom i plaštom od neoprena.

Kabele i konektori za aerodromske instalacije.

Samonosivi kabelelki snopovi Elkalex-1.

Telekomunikacijski kabele s izolacijom i plaštom od termoplastičnih materijala.

Telefonske montažne žice.

Optički kabele.

Specijalni vodovi i kabele.

Rudarski kabele.

Kabelelki setovi sa konektorima.

Lakirana žica.

Aluminijska, alu-čelična i užad iz aluminijske legure.

Čelična užad za dizalice, brodove i druge namjene.

Umreživi polietilen



VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

ELEKTROENERGETSKA BILANCA HRVATSKE ZA 1991. GODINU

Na temelju Zakona o elektroprivredi Upravni odbor Hrvatske elektroprivrede donio je odluku o Energetskoj bilanci Hrvatske za 1991. godinu s osnovnim godišnjim veličinama na mreži prijenosa:

Potrebe električne energije

	GWh
— distributivni potrošači	11 742,0
— direktni potrošači	1 044,0
— specijalni potrošači	1 910,0
— gubici prijenosa	500,0
Ukupno	15 196,0
Vraćanje duga Italiji 1990 godine	140,0
Sveukupne potrebe	15 336,0

Raspoloživa električna energija

— proizvodnja hidroelektrana	5 463,0
— proizvodnja TE elektrana na ugljen	466,0
— proizvodnja termoelektrana-toplana	628,0
— proizvodnja TE na tekuće gorivo	3 031,0
— proizvodnja TE u drugim republikama za potrebe Hrvatske	3 568,0
— proizvodnja NE za Hrvatsku	2 180,0
Ukupno raspoloživo	15 336,0
Nepodmirene potrebe	00,0

Za planiranu proizvodnju termoelektrana potrebno je osigurati:

— kameni ugljen	239 200 tona
— loživo ulje	850 500 tona
— zemni plin	404,7 × 10 ⁶ m ³
— koksni plin	53,1 × 10 ⁶ m ³

1. Plan potreba električne energije

Plan potreba električne energije na mreži prijenosa sadrži potrebe distribucije, potrebe direktnih i specijalnih potrošača, gubitke električne energije u prijenosnoj mreži te isporuke električne energije u inozemstvo u iznosu od 140 GWh, kojom se Hrvatska elektroprivreda zadužila u 1990. godini. Plan godišnjih potreba električne energije na mreži prijenosa:

Plan potreba električne energije	GWh
— plan potreba distributivnih potrošača	11 742,0
— plan potreba direktnih potrošača	1 044,0
— plan potreba specijalnih potrošača	1 910,0
— plan gubitaka u prijenosnoj mreži	500,0
Plan ukupnih potreba na mreži prijenosa	15 196,0
Vraćanje duga Italiji iz 1990. godine	140,0
Plan sveukupnih potreba	15 336,0

Plan ukupnih potreba električne energije i odnos prema ostvarenoj potrošnji u proteklim godinama:

— ostvareno 1988.	14 912,1 GWh	porast 88/87.	0,96 posto
— ostvareno 1989.	14 949,6 GWh	porast 89/88.	0,25 posto
— procjena ostvarenja 1990.	14 950,0 GWh	porast 90/89.	0,00 posto
Plan za 1991.	15 196,0 GWh	porast 91/90.	1,65 posto

1.1. Plan potreba električne energije za potrošače distribucije

Godišnje potrebe električne energije potrošača distribucije planira se u iznosu koji odgovara procijenjenoj potrošnji u tekućoj 1990. godini povećanoj za prosječno ostvarenje stope rasta u posljednje tri godine. Procijenjena potrošnja električne energije za tekuću 1990. godinu utvrđena je na osnovi obračunskih podataka u prvih osam mjeseci i procjene za razdoblje rujan — prosinac 1990. godine.

— ostvareno 1987.	11 312,6 GWh	porast 87/86.	3,99 posto
— ostvareno 1988.	11 416,1 GWh	porast 88/87.	1,09 posto
— ostvareno 1989.	11 516,6 GWh	porast 89/88.	0,70 posto
— procjena ostvarenja 1990. godine	11 572,0 GWh	porast 90/89.	0,48
Plan za 1991. godinu	11 742,0 GWh	porast 91/90.	1,47 posto

Uzimajući u obzir iznose ostvarenih veličina potrošnje u proteklom razdoblju 1987—1990, za 1991. godinu predviđen je porast potrošnje distribucije od 1,47 posto. U taj porast uključena je korekcija za približno 1 posto zbog blagih zima u prethodne tri godine, pada industrijske potrošnje, utjecaja cijene električne energije, kao i isključenje distributivnih potrošača zbog neplaćanja.

1.2. Plan potreba električne energije za direktne i specijalne potrošače

Planirane potrebe električne energije za direktne i specijalne potrošače obavlja se na temelju prijave samih potrošača. Te prijave su usklađene s izdanim elektroenergetskim suglasnostima.

Radi realnijeg planiranja direktnih i specijalnih potrošača prema ostvarenju prvih devet mjeseci 1990. godine, kao i ostvarenje potrošnje ranijih godina, korigirani su iznosi prijave kod:

— INA — Kutina	180 GWh, odnosno za 31,0 GWh niže od prijave
— Tv »Dalmacija« Dugi Rat	430 GWh, odnosno za 30,0 GWh niže od prijave.

Uz korigirane vrijednosti plana potreba izdvojenih direktnih i specijalnih potrošača proizlazi plan potreba u 1991. godini u iznosu 2 954 GWh.

Realno planiranje potrošnje direktnih i specijalnih potrošača, a time prava i obveza kako potrošača tako i isporučioaca, trebaju biti regulirani godišnjim ugovorima s potrošačima.

1.3. Gubici električne energije u prijenosnoj mreži

Prema kriteriju utvrđenim SAS-om o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sustavu, gubici električne energije u prijenosnoj mreži planiraju se, u odnosu

prema planiranom prometu električne energije u mreži, u istom postotku koji je ostvaren u prethodnoj godini.

Procjena ostvarenja u 1990. godini

Ukupni promet	Gubici
18 022 GWh	492,0 GWh ili 2,73 posto ukupnog prometa

Plan za 1991.

Ukupni promet	Gubici
18 315,0 GWh	500,0 GWh ili 2,73 posto ukupnog prometa

2. Plan raspoložive električne energije na mreži prijenosa

Potrebe potrošača za električnom energijom podmiruju se proizvodnjom hidroelektrana, termoelektrana, kao i isporukama električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama za potrebe Hrvatske. Elektroenergetski sustav Hrvatske raspolagat će u 1991. godini snagom od 3 966 MW u proizvodnim jedinicama.

2.1. Plan proizvodnje hidroelektrana

Prema kriteriju utvrđenim SAS-om o zajedničkom radu u jugoslavenskom sustavu, godišnja proizvodnja hidroelektrana planira se na razini koja odgovara 70-postotnoj godišnjoj vjerojatnosti pojave dotoka vode na profilu svakog sliva u hidrološkom nizu od 40 godina.

Do 1990. godine pri izradi elektroenergetskih bilanci korišten je hidrološki niz od 40 godina za razdoblje od 1926. do 1965. godine. Budući da većina tih podataka zadire u daleku prošlost i utvrđena je ekstrapolacijskim metodama na bazi korelacijskih modela sličnosti, postoji opravdana sumnja u njihovu vjerodostojnost.

Stručne službe Hrvatske elektroprivrede izradile su novu bazu hidroloških podataka o dotocima za niz 1950. do 1989. radi realnijeg planiranja proizvodnje hidroelektrana u elektroenergetskim bilancama i procjenama tijekom godine.

Spomenuti niz će se 1991. godini dopuniti podacima za 1990. godinu, uz napomenu da će se odbaciti 1950. godina, te ovako dobiven niz 1951. do 1990. godine na isti način »osvježavati« svakih pet godina.

Tijekom 1991. godine ne ulazi u pogon ni jedna novoizgrađena hidroelektrana. Planirana proizvodnja hidroelektrana u 1991. godini pri mjesečnim dotocima koji odgovaraju 70-postotnoj godišnjoj dojadi dotoka iznosi 5 463 GWh (protodne HE proizvode 1 573,0 GWh i akumulacijske 3 890,0 GWh).

2.2. Plan preuzimanja električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama

Plan preuzimanja električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama za 1991. godinu utvrđen je na temelju Osnovnih ugovora i aneksa Osnovnim ugovorima o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata, kao i Samoupravnim sporazumu za TE Gacko.

Plan godišnjih isporuka		MW	GWh
— TE Tuzla	GI	182,0	1 090,0
— TE Kakanj	GII	46,0	276,0
— TE Gacko	GIV	92,0	522,0
— TE Obrenovac	GII	280,0	1 680,0
Ukupno		600,0	3 568,0

Stupanj garancije isporuka električne energije utvrđen je prema Samoupravnim sporazumu o zajedničkom radu jugoslavenskog elektroenergetskog sustava, za TE Tuzla kao apsolutno garantiranje isporuke (G I), za TE Kakanj i TE Obrenovac kao isporuke uz garanciju sustava isporučioaca i (G II) te za TE Gacko vezano za pogonsko stanje elektrane (G IV).

2.3. Plan proizvodnje termoelektrana

Prema Samoupravnim sporazumu o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sustavu godišnje proizvodnje 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.

U 1991. godini ne ulazi u pogon ni jedna novoizgrađena termoelektrana. Plan proizvodnje termoelektrana u 1991. godini iznosi 6 305,0 GWh.

Proizvodnju TE Plomin planirana je sa 5 011 sati, odnosno za približno 1 000 sati manje zbog stanja cijevnog sustava kotla. Proizvodnja NE Krško planirale su stručne službe NE Krško, a budući da u 1991. godini nije predviđen remont, plan proizvodnje znatno je veći od dosadašnjih. Tijekom 1991. godine može se očekivati 15-dnevna obustava proizvodnje. U tom slučaju očekuje se proizvodnju NE Krško od 2 080 GWh, odnosno 6 582 sati rada u 1991. godini.

Proizvodnja TE Rijeke i TE Sisak planirane su do iznosa koji je potreban za potpunu opskrbu električnom energijom (TE Rijeka sa 4 419 sati, a TE Sisak sa 4 383 sati rada godišnje).

Toplane su planirane za proizvodnju električne energije samo u vrijeme ogrjevne sezone u protutlačnom režimu, njihovo stvarno angažiranje ostvarit će se prema redosljedu troškova, odnosno optimumu troškova u elektroenergetskom sustavu.

Plinske elektrane nisu predviđene u planu proizvodnje termoelektrana za 1991. godinu zbog visokih troškova proizvodnje. Budući da su plinske elektrane interventnog karaktera, njihov ulazak u pogon predviđen je samo u slučaju većih poremećaja u elektroenergetskom sustavu. Ako se za rad osigura zemni plin, njihovo angažiranje ovisit će o troškovima njihove proizvodnje.

3. Potrebe goriva za planiranu proizvodnju termoelektrana i toplana

Kao pogonsko gorivo u termoelektranama koristi se

Ukupno	za elek. energ.	za topl. energ.	ukupno
— ugljen	239 200 tona	—	239 200 tona
— lož-ulje	778 400 tona	72 100 tona	850 500 tona
— zemni plin	117,2 × 10 ⁶ m ³	287,5 × 10 ⁶ m ³	404,7 × 10 ⁶ m ³
— koksni plin	53,1 × 10 ⁶ m ³	—	53,1 × 10 ⁶ m ³

U 1990. godini sklopljen je ugovor s Gradskom plinarom o planskim količinama zemnog plina koji će biti isporučen Zagrebačkim toplanama TE-TO i EL-TO Zagreb u 1991. godini.

Znatno veće količine zemnog plina u odnosu na planirane ranijih godina supstituiraju tekuće gorivo u toplanama i time olakšavaju mogućnosti osiguranja tekućeg goriva u zimskim mjesecima.

4. Zaključak

Elektroenergetski sustav Hrvatske raspolože s dovoljno proizvodnih i prijenosnih kapaciteta za urednu opskrbu po-

trošača električnom energijom. U prvom tromjesječju 1991. godine planirano je vraćanje duga Italiji u iznosu od 10% GWh na ime zaduženja u 1990. godini.

Dinamika sadržaja akumulacijskih bazena hidroelektrana planirana je u smislu postizanja maksimalnih energetske vrijednosti u ljetnim mjesecima, kada su dotoci vode hidroelektrane najniži.

Termoelektrane na tekuće gorivo angažirane su do iznosa koji je potreban za potpunu opskrbu potrošača električnom energijom, TE Rijeka sa 4 419 i TE Sisak sa 4 383 sati rada godišnje.

U slučaju eventualnih poteškoća u osiguranju potrebnih količina tekućeg goriva, shodno tehničko — sigurnosnom aspektu elektroenergetskog sustava, kao i troškovnom optimumu, planirane količine tekućeg goriva morat će se supstituirati:

- dodatnom nabavom električne energije s naslova iskazanih viškova u elektroenergetskim bilancama drugih republika
- uvozom električne energije iz inozemstva
- dodatnom nabavom zemnog pliva u ljetnim mjesecima za TE Sisak i plinske elektrane.

Za planiranu proizvodnju termoelektrana i za proizvodnju toplinske i električne energije u toplanama potrebno je osigurati 850 500 tona tekućeg goriva. Od toga za proizvodnju električne energije otpada 778 400 tona, a za proizvodnju toplinske energije 72 100 tona.

I. R.

PRERADA SIROVE NAFTE

Rafinerije nafte u Hrvatskoj utvrdile su plan prerade sirove nafte u 1991. godini. Rafinerija nafte Sisak preradit će 3,4 milijuna tona sirove nafte, što je na prošlogodišnjoj razini. Domaća nafta trebala bi u preradi sudjelovati sa 58 posto, a uvozna sa 42 posto.

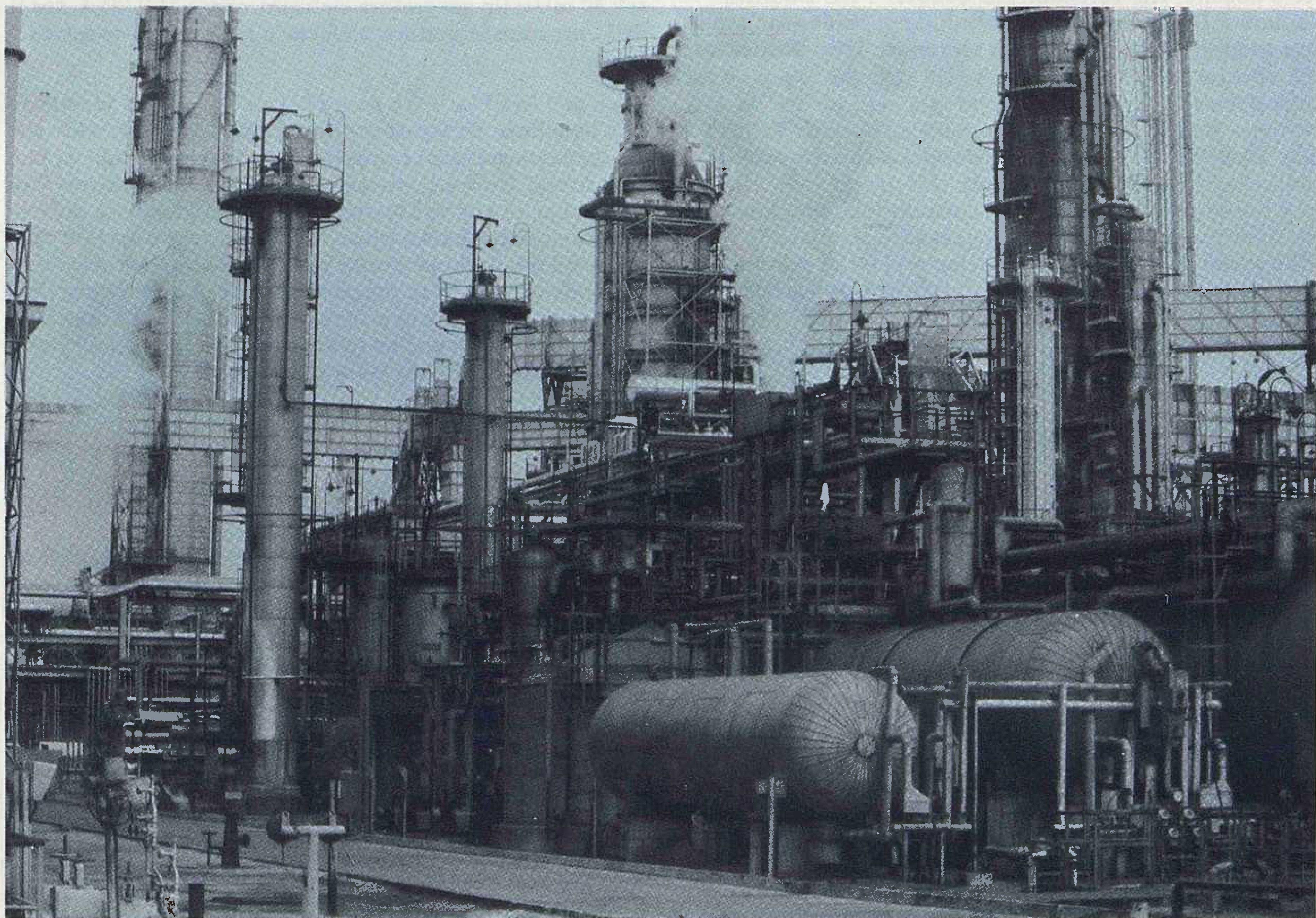
Očekuje se da će ove godine Rafinerija proizvesti 3 031 700 tona naftnih derivata, što bi u odnosu na prošlu godinu bilo za 1,5 posto više. U strukturi ukupne prerade robna proizvodnja čini 89 posto, a 11 posto otpada na vlastitu potrošnju i gubitke.

Rafinerija nafte Rijeka u ovoj godini planira preraditi 3,7 milijuna tona sirove nafte, što je 8,6 posto više nego 1990. godine.

Predviđeno je da u količini od 3,7 milijuna tona sirove nafte sovjetska nafta sudjeluje sa 1,730 milijuna tona, a ostalo otpada na naftu iz Irana, Libije, Egipta, Saudijske Arabije i Angole.

Planiranom preradom 3,7 milijuna tona sirove nafte trebalo bi se proizvesti oko 3,6 milijuna tona gotovih proizvoda, od čega bi se čak 3,3 milijuna tona plasiralo na tržište. Proizvodnjom gotovih proizvoda zadovoljile bi se sve potrebe domaćeg tržišta, a dio robe bi se i izvezao.

I. R.



Rafinerija nafte u Sisku

IZGRADNJA NOVIH PLINOVODA

Preko terminala Omišalj (Krk) Jugoslavenskog naftovoda — »JUNA« prevezeno je 1990. godine 8,3 milijuna tona uvozne nafte, što je više nego ijedne prethodne godine. Najveći dio nafte raspoređen je na domaće rafinerije: Sisak, Bosanski Brod, Pančevo i Novi Sad, te rafinerije u Mađarskoj i Češko-Slovačkoj.

Nadalje, prevezeno je i oko milijun tona kondenzata za potrebe rafinerije u Lendavi i Pačevu.

Za proširenje plinifikacije u Hrvatskoj poduzeće INA-Naftaplin planira izgradnju plinovoda za transport plina iz Alžira. Za gradnju tog plinovoda zainteresirane su i susjedne države: Austrija, Mađarska i Češko-Slovačka, kao i domaći potrošači iz Vojvodine i Bosne i Hercegovine. Lokacija plinovoda vjerojatno bi išla od terminala u Omišlju preko hrvatske u smjeru susjednih država.

Ove godine početak će i gradnja plinovoda Osijek (Zeleno polje) — Borovo dugoga oko 30 kilometara. U osiguranju investicijskih ulaganja sudjelovat će osim INA-Naftaplina i više proizvodnih organizacija s područja općina Osijek, Vukovar i Borovo.

I. R.

SPOR O LOKACIJI HE OSIJEK

Ukupni hidroenergetski potencijal Drave u Hrvatskoj koji se može iskoristiti procijenjen je na 2 836 milijuna kilovatsati električne energije godišnje. Planirano je da se ovaj vodni potencijal iskoristi na sedam vodnih stepenica. Tri su već u pogonu: HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava.

Na donjoj Dravi, zajednički s republikom Mađarskom, planira se gradnja četiriju vodnih stepenica: HE »Đurđevac«, HE »Borcs«, HE »Moslavina« i HE »Osijek«. Za prve tri hidroelektrane izrađeni su idejni projekti, ali ne iza HE »Osijek«. Naime, došlo je do spora između općina Valpovo i Beli Manastir s investitorima Hrvatska elektroprivreda i poduzeće Hrvatske vodoprivrede. Još uvijek nije riješen spor o izboru lokacije za ovu buduću dravsku hidroelektranu, ali pripremni radovi za taj objekt se nastavljaju. Organiziran je rad na izradi studije i idejne projektne dokumentacije. Preostaje da se pronađe najprihvatljivija varijanta za podizanje hidroelektrane.

I. R.

SPORAZUM O IZGRADNJI HIDROELEKTRANA

Sredinom veljače 1991. godine predstavnici Hrvatske elektroprivrede i američke tvrtke Hidra-company Enterprises i Universal consortiuma potpisali su sporazum o pripremi i namjeri izgradnje hidroelektrana »Krčić« kod Knina i »Lešće« u Lici te akumulacijskog sustava »Čaprazlije« iznad Sinja.

Sporazumom su utvrđeni uvjeti i procedura priprema i vrednovanja projekta. Hrvatska elektroprivreda omogućit će raspolaganje pripremljenom dokumentacijom i sve ostale pripreme radnje za izgradnju objekata, a inozemne će tvrtke ogirurati financijsku konstrukciju. Vrijednost ovog posla procjenjuje se 150 do 200 milijuna dolara.

Podaci pojedinih objekata

Hidroelektrana Krčić je jednonamjensko energetska postrojenje derivacijskog tipa na izvorištu Krke otprilike 4 km istočno od Knina. Koristiti se hidroenerget-

skim potencijalom voda Krke i Krčića na prirodnoj sedrenoj barijeri slapa Topolje koji je visok 40 do 42 metra.

Osnovni tehnički podaci: dužina nastupa pregrade 108,55 m, temeljni ispušt, promjera 2,3 m i dužine 150 m; tlačni tunel, betonski, promjera 3,20 m; strojarnica instalirani protok $2 \times 10 \text{ m}^3/\text{s}$ i instalirana snaga $2 \times 3,93 \text{ MW}$; konstruktivni parametri — turbina Francis, neto-pad 46,65 m; generator snage 4,587 MVA i napon 6,3 kV; te prosječna godišnja proizvodnja 37,97 GWh; akumulacija ukupne zapremine $0,64 \text{ hm}^3$ i korisni volumen $0,49 \text{ hm}^3$.

Hidroelektrana Lešće — predstavlja drugu stepenicu u iskorištavanju vodenog potencijala Gojačke Dobre. Uloga HE Lešće je proizvodnja električne energije u varijabilnom dijelu dnevnog dijagrama potrošnje, čime se u znatnoj mjeri povećava vrijednost hidroelektrane. HE Lešće je locirana na toku Gojačke Dobre, na stacionaži 38+860 u blizini sela Goranci.

Glavni sastavni dijelovi HE Lešće jesu: pregrada, akumulacijski bazen, strojarnica s dvije glavne proizvodne grupe i agregatom biološkog minimuma, šahtni preljev koji se veže na horizontalni odvodni kanal. Strojarnica je smještena nizvodno od lučne pregrade u sredini riječnog korita. Dovod do turbine predviđen je s dva čelična cjevovoda promjera 3,95 m. Od desnog cjevovoda predviđen je odvojak promjera 0,70 m za turbinu biološkog minimuma.

HE Lešće je pribransko postrojenje s dvije glavne proizvodne grupe i jednom pomoćnom.

Ukupni volumen akumulacije $25,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, dužina akumulacije 12,6 km i površina akumulacije 146 ha, horisna zapremina akumulacije $17,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ Energetski podaci HE Lešće — snaga 37,8 MW; godišnja proizvodnja 92,64 GWh; tip turbine Francis, osovina agregata vertikalna, instalirani protok $50 \text{ m}^3/\text{s}$; tip generatora sinhroni, snage 21,0 MVA, $\cos \phi$ 0,85; tip transformatora trofazni uljni nazivne snage 21,0 MVA.

Akumulacija »Čaprazlije« — zapravo je retenzijska s kanalima. Omogućava privođenje korištenju voda sjeverozapadnog dijela Livanjskog polja na već izgrađenoj hidroelektrani Orlovac. hvatanjem vodenih valova u retenciji Čaprazlije, te kontroliranim dovođenjem kanalima do velike akumulacije Buško blato i upumpavanjem vode u akumulaciju (ili direktno u tunel prema HE Orlovac) privodi se dio vode ($6,3 \text{ m}^3/\text{s}$) za potrebe HE Orlovac. treba napomenuti da se radi o dijelu projekta HE Orlovac, koji nije izveden sedamdesetih godina (u vrijeme izgradnje HE Orlovac) zbog nedostatka financijskih sredstava.

I. R.

REKONSTRUKCIJA TS 110/30 kV MATULJI

Pogon Prijenos Opatija planira 1991. godine rekonstruirati TS 110/30 kV »Matulji« koja je u pogonu duže od 50 godina. To je važan prijenosni objekt za napajanje turističkog područja Opatije i njezine šire okolice. U prvo vrijeme rada stanica je imala transformaciju 132/50 kV, da bi tek prvom rekonstrukcijom 1955. godine prešla na današnju 110/30 kV transformaciju. Zbog velikog tereta postrojenje je dobrim dijelom dotrajalo, naročito glavna oprema.

Radi sigurnosti pogona potrebno je ubrzati rekonstrukciju koja se odnosi na prekidače, rastavljače i odvodnike, kao i 20 MVA transformatore. Ostali dijelovi vanjskog dijela postrojenja (portali, betonski elementi, sabirnice i signalni kabele) također su dotrajali.

Radove na dijelu objekta 110 kV financirat će sektor Prijenosa Hrvatska elektroprivreda iznosom od 16,08 milijuna dinara. Za rekonstrukciju transformacije od 110/10(20) kV

sredstva će osigurati pogon distribucije Rijeka. Cijeli projekt izveo je pogon Projekt Split, a oprema je ugovorena s proizvođačem »Radom Končarom« Zagreb.

I. R.

KUPNJA DODATNE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Hrvatska elektroprivreda prema dispečerskim podacima u 1990. iskazala je manjak od 1 743,4 GWh koji je podmiren dodatnom kupnjom električne energije u zemlji i inozemstvu.

Najveći pad proizvodnje izkazale su hidroelektrane, ostvarivši proizvodnju oko 65 posto od plana 1990. godine. Termoelektrane izgrađene u drugim republikama za potrebe Hrvatske isporučile su za 4,3 GWh manje od plana. Termoelektrane u Hrvatskoj ostvarile su proizvodnju za 21,0 posto više od plana.

Da bi se zadovoljile potrebe potrošača, kupljeno je u zemlji 579,1 GWh. Iz inozemstva je nabavljeno 1 164,3 GWh električne energije, i to iz ČSR-A, SSSR-a, Švicarske, Austrije, Albanije i Bugarske.

I. R.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

SAMO TREĆINA TERMoeLEKTRANA BIVŠE NJEMAČKE DR SPOSOBNO ZA DALJNI POGON

Polovina do dvije trećine termoelektrana bivše Njemačke DR morat će se zaustaviti zbog ekonomskih ili ekoloških razloga. Takvo je mišljenje energetskih eksperata. Na temelju današnjih gledanja u daljnjem pogonu mogu ostati samo one termoelektrane na smeđi ugljen koje imaju blokove od 500 MW. No takve blokove ima jedva jedna trećina termoelektrana.

ETZ god. 111 (1990), br. 11

Mrk.

NIZOZEMSKA ŽELI IZVOZITI VIŠE ZEMNOG PLINA

Kako je objavilo nizozemsko poduzeće Gusunie N. V, u sljedećih 25 godina moći će izvesti ukupno 600 milijardi m³ zemnog plina. glavni bi kupci bili Njemačka, Francuska, Belgija, Italija i Švicarska. U 1989. izvoz je iznosio 32,9 milijardi m³, što je za 6,3 milijarde više od izvoza 1988. Planira se da će se izvoz povećati godišnje za 1 milijardu do 1,5 milijardi m³.

ETZ, god. 111 (1990), br. 11

Mrk.

KORIŠTENJE SOLARNE ENERGIJE U SSSR-u

SSSR je stupio u suradnju s Njemačkom na području korištenja solarne energije. Fraunhoferov institut u Freiburgu sklopio je ugovor o kooperaciji sa Saveznim institutom za elektrifikaciju poljoprivrede u Moskvi.

Ugovor predviđa izmjenu znanstvenih informacija i obradu zajedničkih projekata. Sovjeti su posebno zainteresirani za direktnu pretvorbu Sunčeve energije u električnu energiju za potrebe udaljenih područja. Procjenjuje se da bi za takve svrhe trebalo oko 500 MW fotovoltaičkih uređaja. Osim to-

ga se planira da se u sljedećim godinama ugradi oko 2,5 milijuna m² solarnih kolektora za toplinske svrhe.

ETZ god. 111 (1990), br. 11

Mrk.

ELEKTRIČNA DOSTAVNA VOZILA U SAD

U SAD je nedavno predstavljeno vozilo koje bi moglo zadovoljiti stroge ekološke uvjete u budućnosti. To je električno dostavno vozilo koje zrak zagađuje 97% manje od benzinskog automobila. Može razviti brzinu od 115 km/h s dosegom od 160 km. Baterije su nikalno-željezne 30% lakše od olovnih istog kapaciteta. Američki eksperti vjeruju da će upravo dostavna vozila, koja u gradu prevaljuju male razdaljine, brzo naći svoje tržište. Godišnja bi proizvodnja mogla iznositi oko 100 000 vozila.

ETZ, god. 111 (1990), br. 11

Mrk.

U POGONU ISTOSMJERNI PRIJENOSNI SISTEM U KINI

Od kolovoza 1990. godine u Kini je u pogonu istosmjerni visokonaponski prijenosni sistem, prijenosne snage 1200 MW. Energija se prenosi iz hidroelektrane Gezhouba u centralnoj Kini u Šangaju, na udaljenosti većoj od 1 000 km. Kao član europskog konzorcija, njemačka tvrtka Siemens dobivala je opremu za terminalnu stanicu u Šangaju.

EGZ, god. 111 (1990), br. 22/23

Mrk.

SSSR — AUSTRIJA DOGOVORI IZ PODRUČJA ENERGETIKE

U rujnu 1990. Austriju je posjetila sovjetska delegacija visokog ranga pod vodstvom zamjenika ministra energetike i elektrifikacije. Posjet je učinjen prilikom 9. zasjedanja rad-

IZGRADNJA NOVIH PLINOVODA

Preko terminala Omišalj (Krk) Jugoslavenskog naftovoda — »JUNA« prevezeno je 1990. godine 8,3 milijuna tona uvozne nafte, što je više nego ijedne prethodne godine. Najveći dio nafte raspoređen je na domaće rafinerije: Sisak, Bosanski Brod, Pančevo i Novi Sad, te rafinerije u Mađarskoj i Češko-Slovačkoj.

Nadalje, prevezeno je i oko milijun tona kondenzata za potrebe rafinerije u Lendavi i Pačevu.

Za proširenje plinifikacije u Hrvatskoj poduzeće INA-Naftaplin planira izgradnju plinovoda za transport plina iz Alžira. Za gradnju tog plinovoda zainteresirane su i susjedne države: Austrija, Mađarska i Češko-Slovačka, kao i domaći potrošači iz Vojvodine i Bosne i Hercegovine. Lokacija plinovoda vjerojatno bi išla od terminala u Omišlju preko hrvatske u smjeru susjednih država.

Ove godine početak će i gradnja plinovoda Osijek (Zeleno polje) — Borovo dugoga oko 30 kilometara. U osiguranju investicijskih ulaganja sudjelovat će osim INA-Naftaplina i više proizvodnih organizacija s područja općina Osijek, Vukovar i Borovo.

I. R.

SPOR O LOKACIJI HE OSIJEK

Ukupni hidroenergetski potencijal Drave u Hrvatskoj koji se može iskoristiti procijenjen je na 2 836 milijuna kilovatsati električne energije godišnje. Planirano je da se ovaj vodni potencijal iskoristi na sedam vodnih stepenica. Tri su već u pogonu: HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava.

Na donjoj Dravi, zajednički s republikom Mađarskom, planira se gradnja četiriju vodnih stepenica: HE »Đurđevac«, HE »Borcs«, HE »Moslavina« i HE »Osijek«. Za prve tri hidroelektrane izrađeni su idejni projekti, ali ne iza HE »Osijek«. Naime, došlo je do spora između općina Valpovo i Beli Manastir s investitorima Hrvatska elektroprivreda i poduzeće Hrvatske vodoprivrede. Još uvijek nije riješen spor o izboru lokacije za ovu buduću dravsku hidroelektranu, ali pripremni radovi za taj objekt se nastavljaju. Organiziran je rad na izradi studije i idejne projektne dokumentacije. Preostaje da se pronađe najprihvatljivija varijanta za podizanje hidroelektrane.

I. R.

SPORAZUM O IZGRADNJI HIDROELEKTRANA

Sredinom veljače 1991. godine predstavnici Hrvatske elektroprivrede i američke tvrtke Hydra-company Enterprises i Universal consortiuma potpisali su sporazum o pripremi i namjeri izgradnje hidroelektrana »Krčić« kod Knina i »Lešće« u Lici te akumulacijskog sustava »Čaprazlije« iznad Sinja.

Sporazumom su utvrđeni uvjeti i procedura priprema i vrednovanja projekta. Hrvatska elektroprivreda omogućit će raspolaganje pripremljenom dokumentacijom i sve ostale pripremne radnje za izgradnju objekata, a inozemne će tvrtke ogirurati financijsku konstrukciju. Vrijednost ovog posla procjenjuje se 150 do 200 milijuna dolara.

Podaci pojedinih objekata

Hidroelektrana Krčić je jednonamjensko energetska postrojenje derivacijskog tipa na izvorištu Krke otprilike 4 km istočno od Knina. Koristiti se hidroenerget-

skim potencijalom voda Krke i Krčića na prirodnoj sedrenoj barijeri slapa Topolje koji je visok 40 do 42 metra.

Osnovni tehnički podaci: dužina nastupa pregrade 108,55 m, temeljni ispuš, promjera 2,3 m i dužine 150 m; tlačni tunel, betonski, promjera 3,20 m; strojarnica instalirani protok $2 \times 10 \text{ m}^3/\text{s}$ i instalirana snaga $2 \times 3,93 \text{ MW}$; konstruktivni parametri — turbina Francis, neto-pad 46,65 m; generator snage 4,587 MVA i napon 6,3 kV; te prosječna godišnja proizvodnja 37,97 GWh; akumulacija ukupne zapremine $0,64 \text{ hm}^3$ i korisni volumen $0,49 \text{ hm}^3$.

Hidroelektrana Lešće — predstavlja drugu stepenicu u iskorištavanju vodenog potencijala Gojačke Dobre. Uloga HE Lešće je proizvodnja električne energije u varijabilnom dijelu dnevnog dijagrama potrošnje, čime se u znatnoj mjeri povećava vrijednost hidroelektrane. HE Lešće je locirana na toku Gojačke Dobre, na stacionaži 38+860 u blizini sela Goranci.

Glavni sastavni dijelovi HE Lešće jesu: pregrada, akumulacijski bazen, strojarnica s dvije glavne proizvodne grupe i agregatom biološkog minimuma, šahtni preljev koji se veže na horizontalni odvodni kanal. Strojarnica je smještena nizvodno od lučne pregrade u sredini riječnog korita. Dovod do turbine predviđen je s dva čelična cjevovoda promjera 3,95 m. Od desnog cjevovoda predviđen je odvojak promjera 0,70 m za turbinu biološkog minimuma.

HE Lešće je pribransko postrojenje s dvije glavne proizvodne grupe i jednom pomoćnom.

Ukupni volumen akumulacije $25,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, dužina akumulacije 12,6 km i površina akumulacije 146 ha, horisna zapremina akumulacije $17,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ Energetski podaci HE Lešće — snaga 37,8 MW; godišnja proizvodnja 92,64 GWh; tip turbine Francis, osovina agregata vertikalna, instalirani protok $50 \text{ m}^3/\text{s}$; tip generatora sinhroni, snage 21,0 MVA, $\cos \phi$ 0,85; tip transformatora trofazni uljni nazivne snage 21,0 MVA.

Akumulacija »Čaprazlije« — zapravo je retenzijska s kanalima. Omogućava privođenje korištenju voda sjeverozapadnog dijela Livanjskog polja na već izgrađenoj hidroelektrani Orlovac. hvatanjem vodenih valova u retenziji Čaprazlije, te kontroliranim dovodenjem kanalima do velike akumulacije Buško blato i upumpavanjem vode u akumulaciju (ili direktno u tunel prema HE Orlovac) privodi se dio vode ($6,3 \text{ m}^3/\text{s}$) za potrebe HE Orlovac. treba napomenuti da se radi o dijelu projekta HE Orlovac, koji nije izveden sedamdesetih godina (u vrijeme izgradnje HE Orlovac) zbog nedostatka financijskih sredstava.

I. R.

REKONSTRUKCIJA TS 110/30 kV MATULJI

Pogon Prijenos Opatija planira 1991. godine rekonstruirati TS 110/30 kV »Matulji« koja je u pogonu duže od 50 godina. To je važan prijenosni objekt za napajanje turističkog područja Opatije i njezine šire okolice. U prvo vrijeme radna stanica je imala transformaciju 132/50 kV, da bi tek prvom rekonstrukcijom 1955. godine prešla na današnju 110/30 kV transformaciju. Zbog velikog tereta postrojenje je dobrim dijelom dotrajalo, naročito glavna oprema.

Radi sigurnosti pogona potrebno je ubrzati rekonstrukciju koja se odnosi na prekidače, rastavljače i odvodnike, kao i 20 MVA transformatore. Ostali dijelovi vanjskog dijela postrojenja (portali, betonski elementi, sabirnice i signalni kabeli) također su dotrajali.

Radove na dijelu objekta 110 kV financirat će sektor Prijenosa Hrvatska elektroprivreda iznosom od 16,08 milijuna dinara. Za rekonstrukciju transformacije od 110/10(20) kV

sredstva će osigurati pogon distribucije Rijeka. Cijeli projekt izveo je pogon Projekt Split, a oprema je ugovorena s proizvođačem »Radom Končarom« Zagreb.

I. R.

KUPNJA DODATNE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Hrvatska elektroprivreda prema dispečerskim podacima u 1990. iskazala je manjak od 1 743,4 GWh koji je podmiren dodatnom kupnjom električne energije u zemlji i inozemstvu.

Najveći pad proizvodnje izkazale su hidroelektrane, ostvarivši proizvodnju oko 65 posto od plana 1990. godine. Termoelektrane izgrađene u drugim republikama za potrebe Hrvatske isporučile su za 4,3 GWh manje od plana. Termoelektrane u Hrvatskoj ostvarile su proizvodnju za 21,0 posto više od plana.

Da bi se zadovoljile potrebe potrošača, kupljeno je u zemlji 579,1 GWh. Iz inozemstva je nabavljeno 1 164,3 GWh električne energije, i to iz ČSR-A, SSSR-a, Švicarske, Austrije, Albanije i Bugarske.

I. R.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

SAMO TREĆINA TERMoeLEKTRANA BIVŠE NJEMAČKE DR SPOSOBNO ZA DALJNI POGON

Polovina do dvije trećine termoelektrana bivše Njemačke DR morat će se zaustaviti zbog ekonomskih ili ekoloških razloga. Takvo je mišljenje energetske eksperata. Na temelju današnjih gledanja u daljnjem pogonu mogu ostati samo one termoelektrane na smeđi ugljen koje imaju blokove od 500 MW. No takve blokove ima jedva jedna trećina termoelektrana.

ETZ god. 111 (1990), br. 11

Mrk.

NIZOZEMSKA ŽELI IZVOZITI VIŠE ZEMNOG PLINA

Kako je objavilo nizozemsko poduzeće Gusunie N. V, u sljedećih 25 godina moći će izvesti ukupno 600 milijardi m³ zemnog plina. glavni bi kupci bili Njemačka, Francuska, Belgija, Italija i Švicarska. U 1989. izvoz je iznosio 32,9 milijardi m³, što je za 6,3 milijarde više od izvoza 1988. Planira se da će se izvoz povećati godišnje za 1 milijardu do 1,5 milijardi m³.

ETZ, god. 111 (1990), br. 11

Mrk.

KORIŠTENJE SOLARNE ENERGIJE U SSSR-u

SSSR je stupio u suradnju s Njemačkom na području korištenja solarne energije. Fraunhoferov institut u Freiburgu sklopio je ugovor o kooperaciji sa Saveznim institutom za elektrifikaciju poljoprivrede u Moskvi.

Ugovor predviđa izmjenu znanstvenih informacija i obradu zajedničkih projekata. Sovjeti su posebno zainteresirani za direktnu pretvorbu Sunčeve energije u električnu energiju za potrebe udaljenih područja. Procjenjuje se da bi za takve svrhe trebalo oko 500 MW fotovoltaičkih uređaja. Osim to-

ga se planira da se u sljedećim godinama ugradi oko 2,5 milijuna m² solarnih kolektora za toplinske svrhe.

ETZ god. 111 (1990), br. 11

Mrk.

ELEKTRIČNA DOSTAVNA VOZILA U SAD

U SAD je nedavno predstavljeno vozilo koje bi moglo zadovoljiti stroge ekološke uvjete u budućnosti. To je električno dostavno vozilo koje zrak zagađuje 97% manje od benzinskog automobila. Može razviti brzinu od 115 km/h s dosegom od 160 km. Baterije su nikalno-željezne 30% lakše od olovnih istog kapaciteta. Američki eksperti vjeruju da će upravo dostavna vozila, koja u gradu prevaljuju male razdaljine, brzo naći svoje tržište. Godišnja bi proizvodnja mogla iznositi oko 100 000 vozila.

ETZ, god. 111 (1990), br. 11

Mrk.

U POGONU ISTOSMJERNI PRIJENOSNI SISTEM U KINI

Od kolovoza 1990. godine u Kini je u pogonu istosmjerni visokonaponski prijenosni sistem, prijenosne snage 1200 MW. Energija se prenosi iz hidroelektrane Gezhouba u centralnoj Kini u Šangaju, na udaljenosti većoj od 1 000 km. Kao član europskog konzorcija, njemačka tvrtka Siemens dobivala je opremu za terminalnu stanicu u Šangaju.

EGZ, god. 111 (1990), br. 22/23

Mrk.

SSSR — AUSTRIJA DOGOVORI IZ PODRUČJA ENERGETIKE

U rujnu 1990. Austriju je posjetila sovjetska delegacija visokog ranga pod vodstvom zamjenika ministra energetike i elektrifikacije. Posjet je učinjen prilikom 9. zasjedanja rad-

ne grupe »Energetika« mješovite sovjetsko-austrijske komisije za znanstvenu i ekonomsku suradnju. Sovjetski su gosti razgledali energetska postrojenja, a u razgovorima se govorilo o ponudi Austrije da dade projekte za poboljšanje stupnja djelovanja i pročišćavanje dimnih plinova termoelektrana u SSSR-u. Pokrenuto je i pitanje austrijskih planova u području gradnje vodova visokog napona i proširenja razmjene električne energije.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 11

Mrk.

EVROPSKO ISTRAŽIVANJE VISOKOTEMPERATURNIH SUPRAVODIČA

Šest velikih poznatih elektrotehničkih tvrtki, i to Asea Brown Boveri AG, engleski BICC i GEC, francuski Les Câbles de Lyon, tajvanski Pirelli i Siemens AG, zaključili su da zajednički rade na istraživanju i razvoju visokotemperaturnih supravodiča, na temelju dvaju projekata Europske zajednice. Cilj je projekta konstrukcija supravodljivog kabela koji bi mogao biti u pogonu pri temperaturi od 77K (-196°C) ili višoj. Suradnja bi prvo obuhvatila dugogodišnji program vrijedan 4,5 milijuna EOU. Pokušalo bi se proizvesti poboljšan supravodljivi materijal i novi postupak za izradu kablinskih vodiča. U daljnjem bi se radu istražila mogućnost primjene supravodljivog materijala.

Udružene tvrtke uvjerene su da će zajednički rad uroditi uspjehom i biti novi impuls energetske tehnici.

Elektrizitätswirtschaft, god. 89 (1990), br. 12

Mrk.

POKUSNI UREĐAJI ZA KORIŠTENJE OBNOVLJIVE ENERGIJE

Premda se korištenjem energije sunca i vjetra ne mogu supstituirati termonuklearne i nuklearne elektrane, ipak je potrebno ispitati mogućnosti i takvih izvora energije. U tu je svrhu njemačko elektroprivredno poduzeće Energie Versorgung Schwaben AG (EVS) izgradilo na visoravni Schwebische Alb fotovoltaičke i vjetrove elektrane. Time će se pod prirodnim i tehničkim uvjetima ispitati njihova proizvodnja i ekonomičnost.

U fotovoltaičkim uređajima primijenjena je modulna tehnika, pa su proširenja uvijek moguća. EVS se odlučio da izgradi 8 solarnih polja, svako površine 10 m² solarnih ćelija. Ugrađene su ćelije različitog stupnja djelovanja, i to 14% i 11,5%. Napon ćelija iznosi 200 V istosmjernje struje koju presmjerivač presmjeruje u trofaznih 380 V. Uređaji će raditi odvojeno i s priključkom na javnu mrežu.

Jedno polje ćelija ugrađeno je na pokretni nosač koji automatski prati Sunce, a jedno pak uz to ima posebna zrcala koja povećavaju efekt Sunčeva zračenja 70%. Neka se mogu kretati samo na jednoj osovini, a ostala su fiksna pod kutom od 45°. Pri dobrom sunčanom danu vođeno polje sa zrcalima može proizvesti 8,5 kWh/m², vođeno polje bez zrcala 5 kWh/m², a fiksna polja 3 kWh/m². Ukupna snaga cijele solarne elektrane iznosi maksimalno 10 kW. Investicije su iznosile, ne računajući mjerenja i obradu podataka, oko 920 000 DEM. Točniji podaci o ekonomičnosti proizvodnje znat će se tek nakon duljeg pogona, no nije vjerojatno da budu niži od 2 DEM/kWh. Očekuje se da bi godišnja proizvodnja mogla iznositi 10 000 kWh do 12 000 kWh.

Za ispitivanje vjetroelektrana montirana su dva tipa: Darrieusov uređaj s vertikalnim listovima snage 55 kW i trokrilna propelerna vjetroelektrana snage 80 kW.

Tvrtka Dornier gradi tri tipa Darrieusovih vjetroelektrana snage 50 kW, 500 kW i 2 MW s visinama stupa 27 m, 62 m i 112 m. Prednost je takvog tipa da otpada usmjeravanje prema vjetru, čime se pri brznoj promjeni smjera vjetra dobiva bolje iskorištenje. Osim toga, lakši je pristup svim elementima uređaja, lakše montaže i održavanja i manja buka. Na maloj udaljenosti smješten je propelerni uređaj Enercon. Generator je smješten na vodu betonskog stupa visine 28 m.

Investicije za obje vjetroelektrane iznosile su 650 000 DEM. Ako se računa s proizvodnjom od ukupno 130 000 kWh godišnje (za obje elektrane), cijena jednog kWh iznosila bi 0,5 DEM.

ETZ, god. 111 (1990), br. 22/23

Mrk.

MOTorni ČAMAC NA POGON SOLARNOM ENERGIJOM

Austrijskoj javnosti prikazan je u rujnu 1990. na akumulacijskom jezeru Ottenstein motorni čamac »Korona« na pogon Sunčevom energijom. Čamac je dug 7,2 m, a širok 2,2 m. U njega su ugrađene fotovoltaičke ćelije, baterije i elektromotor snage 2,2 kW. Postiže najveću brzinu od 12 km/h i putnu brzinu do 9 km/h. U prvom slučaju vožnja može trajati 4 sata, a u drugom 12 sati. Brod, za razliku od cestovnih vozila ima dovoljno mjesta za smještaj ploča s fotovoltaičkim ćelijama, a prostor i težina baterija, koje se pune iz ćelija, nisu toliki problem kao u elektroautomobilu. Normalno pogon broda ide posredovanjem baterija, no pri punom sijanju sunca energije se može uzimati i direktno iz ćelija.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 11

Mrk.

NJEMAČKO — FRANCUSKI UGOVOR O NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Vlasnici njemačkih nuklearnih elektrana i francusko državno elektroprivredno poduzeće EDF potpisali su prošle 1990. godine ugovor o tehničkoj suradnji. Zajednički će raditi na razvoju lakovodnih nuklearnih reaktora, nadalje poboljšati nivo sigurnosti i ujednačiti propise. Osim toga, bit će tješnja suradnja s proizvođačima nuklearnih elektrana osobito što se tiče gradnje nuklearnih parogeneratora.

Elektrizitätswirtschaft, god. 89 (1990), br. 13

Mrk.

GRIJANJE STANOVA U NJEMAČKOJ

Uz ostale mnoge razlike u energetici i privredi SR Njemačke i bivše Njemačke DR zanimljive su razlike u načinu grijanja stanova. Dok na zapadu dominira loživo ulje i plin, na istoku je glavni energent za grijanje prostorija smeđi ugljen. U 26,8 milijuna stanova na zapadu lož-uljem se grije 42% stanova, plinom 32%, ugljenom 9%, strujom 9%, a iz toplane i ostalo 8%. Naprotiv, u bivšoj Njemačkoj DR ugljen sudjeluje u grijanju 65%, plin 9%, struja 3%, a toplane i ostalo 23%. Ti se pak postoci odnose na grijanje 7 milijuna stanova na istoku.

Energie, god. 42 (1990), br. 12

Mrk.

POSTOJI LI UOPĆE PRAKTIČNO UPOTREBLJIV SOLARNI AUTO

Smatra se da bi se upotrebom elektromotora riješili problemi zagađivanja zraka ozonom i ugljik-dioksidom, no takva vozila imaju svojih problema. Zbog baterija ona su teška, a baterije imaju malu gustoću energije, a time je ograničena brzina i doseg puta. Usto im je još danas cijena visoka, no ipak bi mogla zadovoljiti za ograničenu gradsku vožnju. Ekolozi imaju, međutim, prigovor da takva vozila trebaju struju iz elektrana, a one su uvijek neugodne, bilo da su hidroelektrane ili termoelektrane. Prvima se prigovara da štete podzemnim vodama, a pri gradnji se uništavaju svi biotopi, a druge emitiraju štetne plinove.

Takvih problema ne bi bilo u pogonu solarnog automobila koji bi bio pokretan Sunčevom energijom posredstvom solarnih modula. No dosadašnji pokušaji da se takvo vozilo izgradi izjalovili su se. Doduše, izgrađeni su neki modeli koji imaju na krovu ploče s fotovoltaičkim ćelijama, no oni više sličje avionima nego automobilima. Moraju stajati satima na suncu da u baterijama skupe dovoljno energije za kratku vožnju. Prema tome nisu prikladni za svakodnevnu upotrebu.

Zbog tih se poteškoća došlo na ideju da se fotovoltaički uređaj zasebno izgradi, fiksno na terenu s odgovarajućim baterijama iz kojih bi elektroautodolazio napuniti svoje baterije. Vozilo ne treba elektrane i može se nazvati solarno. Punjenje se naravno provodi danju da se omogući vožnja noću. Posebno je neugodno ako dan nije sunčan, pa se baterije ne mogu potpuno napuniti. Da se pak i taj problem riješi, solarni izvor energije priključuje se na javnu mrežu, pa elektroauto može uzimati energiju prema potrebi. Auto se i u takvom slučaju naziva solarnim, premda što se napajanja tiče, nema razlike prema bilo kojem trošilu u mreži. Na primjer, priključeni štednjak mogao bi se tada nazvati također »solarni«. S druge pak strane elektrovozilo moglo bi biti jednako tako hidroauto, termoauto ili čak nuklearni auto, već prema energetske izvora. Elektroautomobile koji se napajaju iz mreže na koje su priključene solarne elektrane nazvati solarnim čista je besmislica. Solarni auto za svakodnevnu upotrebu dakle ne postoji.

Elektroautomobili ipak imaju svoju primjenu kao dostavna i osobna vozila u gradovima i mogu biti važan čimbenik u smanjenju smoga, ali bez veze sa solarnom energijom.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 9

Mrk.

ITALIJA RAZMIŠLJA O SVOM NEDAVNOM ODUSTAJANJU OD NUKLEARNE ENERGIJE

Nakon ministra predsjednika Giulia Andreottia sad je i ministar industrije Adolfo Battaglia najavio namjeru da se revidira državni energetske plan. On je istaknuo da bi, ako bi se odmah pristupilo nuklearnom programu, Italija svoje zaostajanje za europskim zemljama mogla ispraviti tek za 10 do 12 godina.

Talijanska je vlada sredinom 1990, na temelju navodnog zahtjeva, zaključila konačno zaustavljanje postojećih nuklearnih elektrana i potvrdila odustajanje od gradnje novih. Razlog za nova talijanska razmišljanja su najnoviji razvoj cijena nafte i jaka ovisnost zemlje od uvoza energije.

ETZ, god. 112 (1991), br. 1

Mrk.

ODLAGALIŠTE RADIOAKTIVNOG OTPADA U POGONU

Njemačka ima sada svoje prvo definitivno odlagalište radioaktivnog otpada. Savezni ured za zaštitu od zračenja (BIS) ovlastilo je poduzeće koje se bavi odlaganjem otpadnih materijala da preuzme pogon radioaktivnog odlagališta u Morslebenu na teritoriju bivše Njemačke DR. Taj je uređaj na temelju zakon od srpnja 1990. dobio status državnog uređaja.

ETZ, god. 112 (1991) br. 1

Mrk.

REZULTATI MJERENJA STRUJA MUNJE U ČEŠKO-SLOVAČKOJ

U Češko-Slovačkoj je od 1959. do 1988. godine provedeno mjerenje karakteristika struja od atmosferskih pražnjenja na 4 964 dimnjaka i tornjeva.

Pri tome je registrirano 498 udara groma. Visine objekata su se kretale od 25 do 140 m. Analizom rezultata mjerenja stvoreni su između ostaloga i sljedeći zanimljivi zaključci. Vjerojatnost udara munje raste linearno, a zatim s kvadratom visine objekta. Učestalost udara u objekte jednake visine ima veliko rasipanje i slijedi Poasonovu razdiobu. Nema objekta koji bi bio posebno ugrožen od munje. Što se tiče polariteta, nađeno je da je 20% struja munje pozitivno. Struje preko 2 kA ovisne su o visini objekta za oba polariteta.

Utvrđeno je razdoblje da broj pozitivnih struja raste s visinom objekta, a negativnih pada. Na temelju struja munje mjerenih na 160 objekata, visine 25 do 65 m i sumarne krivulje učestalosti pokazalo se da je 50% vrijednosti do 30,2 kA.

ETZ, god. 112 (1991), br. 1

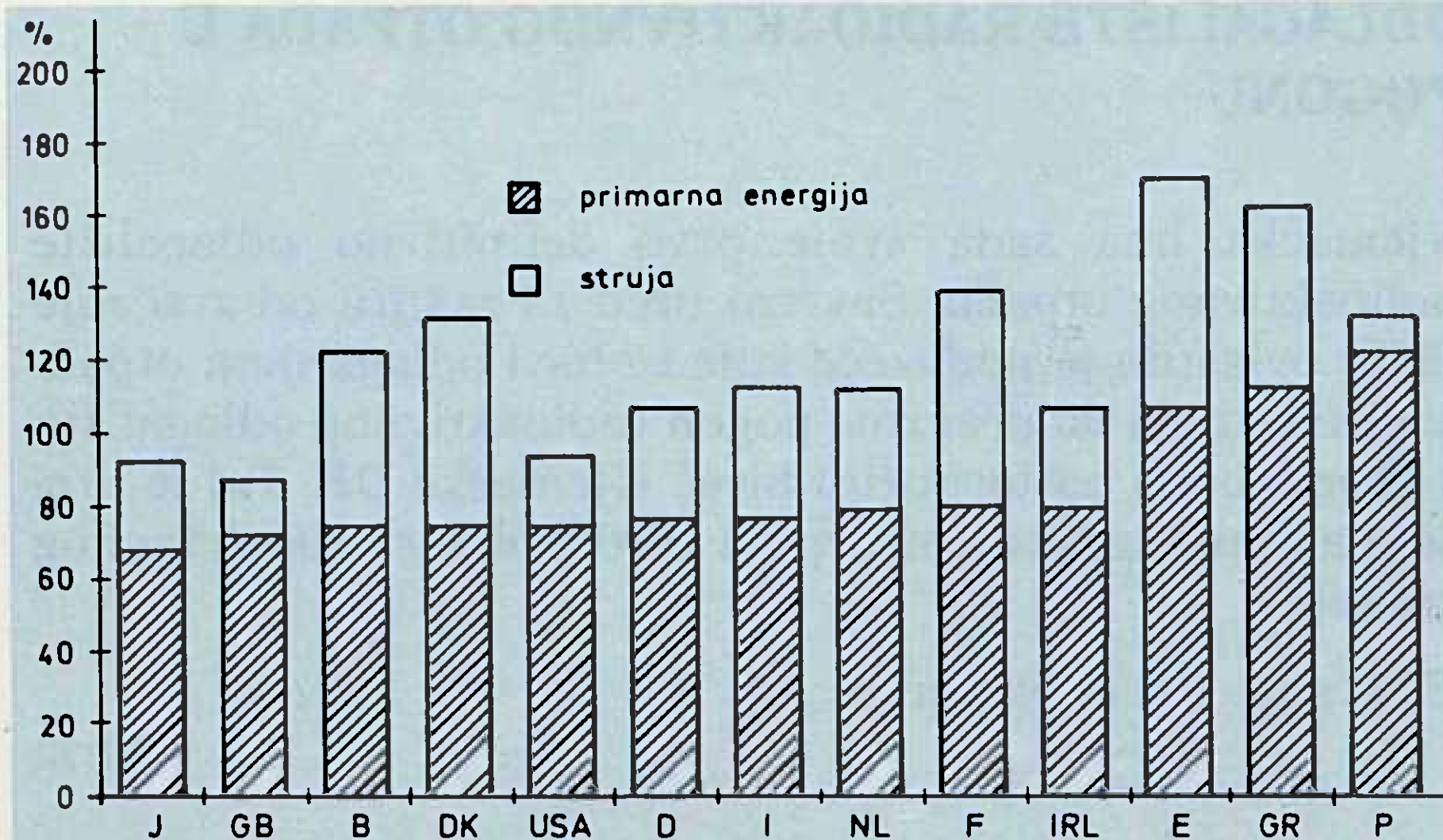
Mrk.

1990 — ENERGIJA U NJEMAČKOJ

U brošuri »Energetika« (izdavač Njemačka elektroprivreda, izdanje za 1990. godinu) može se osim podataka o proizvodnji energije, potrošnji različitih oblika energije, proizvodnim kapacitetima i slično naći i niz zanimljivih činjenica o povećanju energetske efikasnosti njemačkog, a i ostalih zapadnih privrednih sustava, te u ulaganjima u zaštitu okoline i smanjenju emisije štetnih tvari.

Energetska efikasnost se promatra uspoređivanjem potrošnje primarne energije i samo električne energije po bruto jedinici proizvoda. Kao bazna godina uzima se 1973. — godina prve naftne krize. Na slici 1. navedeno je na kojem nivou u postocima je potrošnja u 1988. godini prema baznoj godini. Pad potrošnje primarne energije po jedinici proizvoda imaju sve razvijene zapadne zemlje. Energetska efikasnost je najviše povećana u Japanu — tamo se troši samo 68% količina iz 1973. U zemljama u razvoju (Španjolska, Grčka i Portugal) potrošnja primarne energije je povećana. Iz slike se također vidi da potrošnja električne energije po jedinici proizvoda raste u gotovo svim zemljama, a najviše ponovo u tri već navedene zemlje.

Na temelju alarmantnih prognoza klimatologa u prvi plan zanimanja izbila je problematika ugljik-dioksida. Porast svih vrsta otpadnih plinova u zraku označen je kao uzrok efekta staklenika i globalnog zatopljenja. Industrijske zemlje zapada su glavni »proizvođači« CO₂ — Na primjer, Njemačka s udjelom u svjetskom stanovništvu od 1% u emisiji



Slika 1. Razvoj potrošnje primarne energije i električne energije od 1973. do 1988. godine

dioksida ima udio od 3.6%. Godine 1987. u Njemačkoj je izgaranjem nastalo oko 750 milijuna tona dioksida, a od toga u elektranama jedna trećina. Dok se na smanjenje emisije sumpor-dioksida i dušičnih oksida može utjecati tehničkim mjerama, količina ugljik-dioksida se može smanjiti isključivo gašenjem elektrana na fosilna goriva, znači njihovom zamjenom nuklearnim elektranama ili obnovljivim izvorima energije. Korištenje zemnog plina (izgaranjem se stvara relativno manje dioksida) i poboljšanje stupnja korisnosti elektrana daju tek neznatne efekte. U tablici 1. navedene su količine pojedinih otpadnih plinova i stope smanjenja u postocima u odnosu na 1982. godinu.

Njemačka elektroprivreda ističe da je praktično završen program odsumporavanja i da su ispunjeni zadani ciljevi. Emisija sumpor-dioksida smanjena je za 85%, a uređajima za pročišćavanje opremljene su elektrane ukupne snage 38 000 MW. Program smanjenja emisije dušik-oksida reali-

Tablica 1. Količine plinova i postoci smanjenja prema 1982. godini

Godina	CO ₂	SO ₂		NO _x	
	mil. t	mil. t.	manje %	mil. t.	manje %
1982.	212.8	1.55	—	0.74	—
1983.	218.2	1.5	3.2	0.75	—
1984.	214.4	1.39	10.3	0.75	—
1985.	199.7	1.24	20.0	0.70	5.4
1986.	201.9	1.15	25.8	0.65	12.2
1987.	196.3	0.98	36.8	0.58	21.6
1988.	196.5	0.38	75.5	0.51	31.1
1989.	201.6	0.22	85.8	0.37	50.0

zira se nešto sporije. Odgovarajućim uređajima opremljene su elektrane ukupne snage 28 000 MW, pa je količina ispuštenoga plina smanjena za 50%. Energija koja se troši u uređajima za odsumporavanje i odstranjivanje dušik-oksida nadoknađena je poboljšanim stupnjem korisnosti u postrojenjima. Pa ipak, godišnji troškovi za zaštitu okoline su znatni — 5 milijardi DM. Zbog toga je cijena električne energije iz termoelektrana loženih ugljenom opterećena s dodatnih 0.029 DM/kWh od toga 2 pfeninga za odsumporavanje i 0.9 za ostalo.

Energiewirtschaft — kurz und bündig. Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt/M, 1990.

ŽC

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

MEĐUNARODNI STRUČNI SAJAM I KONGRES ZA GEOLOŠKE ZNANOSTI I GEOTEHNIKU — GEOTECHNICA KÖLN 1991.

UN-program za zaštitu okoline predstavlja svoje aktivnosti diljem svijeta

Ujedinjeni narodi dolaze u Köln. Kao međunarodni doprinos visokog ranga prvom Međunarodnom stručnom sajmu i kongresu za geološke znanosti i geotehniku skraćenog imena »GEOTECHNICA« prikazat će se od 18. do 21. rujna 1991, uz vodeću ulogu Programa za okolinu Ujedinjenih naroda UNEP, najvažniji dio iz širokog spektra aktivnosti koje se diljem svijeta provode za očuvanje zemlje kao životnog prostora. Nova kölnska priredba, kojoj je prvi put cijeli globus tema jednog tehnološkog sajma, dobiva time na međunarodnom značenju i skreće na sebe pozornost cijelog svijeta. I sam sajam i Ujedinjeni narodi okreću se urgentnoj razmjeni iskustava i suradnji svih odgovornih u svla-

davanju zadataka zaštite okoline preko granica država i kontinentata, kao i razmjeni iskustava i suradnji svih specijalnih disciplina geoloških znanosti i područja primjene geotehnike.

Težnja posebnog izlaganja Ujedinjenih naroda pod naslovom »Međunarodna koordinacija istraživanja i vođenja poslova zaštite okoline« jest upoznavanje s međunarodnim aktivnostima, a njegova svrha su način rada i postupci pri uzimanju i obradi podataka o stanju okoline, što je preduvjet za ispravne odluke u efikasnom vođenju poslova zaštite okoline. Osim ureda za harmonizaciju mjerenja stanja okoline u okviru projekta Ujedinjenih naroda za zaštitu okoline (UNEP-HEM = United Nations Environment Programme, Harmonisation of Environmental Measurement), na ovoj posebnoj izložbi sudjeluju UNESCO-Program »Čovjek i biosfera«, Bonn, Sekretarijat za svjetsku razmjenu (GLOBAL CHANGE-Sekretariat) iz Bremerhavena, Međunarodni savjet za mjesne inicijative (International Council of Local Initiatives) iz Freiburga, Međunarodni institut za primjenu sistemsku analizu (IIASA) iz Laxenburga i Europski

odbor odgovornih za službenu kartografiju (C.E.R.C.O. = Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle) u Brüsselu. Ova izložba naglašava objedinjene postavke zajedničkog rada, ne obrađujući prikaze pojedinih projekata i tehnologija. Dio izloženog prostora obuhvaća diskusione zone za razmjenu iskustava između posjetilaca i s predstavnicima organizacija sudionika. Najveći dio materijala preveden je na njemački jezik, i ne obraća se samo specijalistima nego i običnim posjetiocima.

Potražnja za tehničko-tehnološkim i poslovnim znanjem (tzv. Know How), kod koje ova izložba, uz brojne slične aktivnosti, može posredovati, kao i u Kölnu ponuđeni sistemi, strojevi, aparati i postupci za korisnike u istraživanju i u praksi su ogromni i odgovaraju svim vrstama industrija investicijskih dobara diljem svijeta. Broj dosadašnjih prijava i brojne predbilježbe interesenata za izlaganje omogućuju zaključke o opsegu odgovarajućih potreba. Trenutno Kölnski sajam računa s oko 300 ponuđača na 8 000 m² izložbene površine. U Kölnu će prvi put pod krovom istog sajma izmjenjivati iskustva geolog s pomorskim istraživačem, kartograf s rudarskim inženjerom, astronom s geodetom, a proizvođač laboratorijskih uređaja i optičkih sistema s klimatologom i geodetom. Težište je na geološkim znanostima krutog tla, a zatim na geodeziji, hidrologiji, oceanografiji i meteorologiji. Industrija nudi svoje proizvode prije svega područjima primjene, kao što su tehnika otpada, ispitivanje s udaljenosti, fotogrametrija, mjerna tehnika i tehnika zaštite okoline.

XXV. SAVJETOVANJE JUKO CIGRE

U Neumu je od 21. do 25. travnja održano jubilarno XX Savjetovanje JUKO CIGRE. Ovo Savjetovanje se je održalo u godini koja obilježava 40-godišnjicu JUKO CIGRE, 70-godišnjicu međunarodne CIGRE i 100-godišnjicu prvog prijena električne energije trofaznim sistemom. Sve ove godišnjice bile su obilježene na odgovarajući način, a naročito 40-godišnjica JUKO CIGRE koja je bila predstavljena prigodnom izložbom. Izložba je prikazala presjek kroz rad JUKO CIGRE u proteklom periodu izlaganjem raznih edicija, fotografija za savjetovanja, simpozija i sl. kao i s dokumentima o osnivanju JUKO CIGRE i njenom djelovanju. Ovom prilikom izašla je i monografija »40 godina rada 1951 – 1991. JUKO CIGRE«.

Uoči savjetovanja, u nedjelju 21. travnja, održani su sastanci Nadzornog odbora, Predsjedništva studijskih komiteta (PSTK), Izvršnog odbora i Skupštine JUKO CIGRE. Na tim sastancima su između ostalog izvršene analize priprema za

XX Savjetovanje, produžen mandat predsjedniku JUKO CIGRE dr Jovi Mandiću za daljnje dvije godine i donesen novi Statut JUKO CIGRE koji je prethodno prošao javnu raspravu.

Otvorenje XX Savjetovanja održano je u nedjelju u 18 sati. Tom prilikom prisutne su pozdravili predstavnik domaćina elektroprivrede BiH, predstavnik vlade BiH, predstavnik JUGELA i predstavnik grada domaćina. Predsjednik JUKO CIGRE dao je zatim kratki prikaz djelovanja organizacija od svog osnutka do ovog XX jubilarnog savjetovanja. Nakon toga dodijeljene su plakete JUKO CIGRE zaslužnim članovima prema odluci Skupštine JUKO CIGRE održane 25. veljače 1991. godine. Sa zadovoljstvom je primljen poziv inž. Miloševića da Elektroprivreda Srbije bude domaćin XXI Savjetovanja koje će se održati 1993. godine. Otvorenje je završeno prigodnim umjetničkim programom.

Od ponedjeljka do četvrtka Savjetovanje se održalo prema predviđenom programu paralelno u tri dvorane tako da su istovremeno zasjedale tri grupe. Ukupno je bilo prezentirano 216 referata odnosno informacija.

Po prvi put održan je i zajednički zastanak triju grupa Gr 37, Gr 38 i Gr 39 posvećen isključivo problemu kompenzacije jalove snage s obzirom na ozbiljnost koju taj problem predstavlja u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu. Prije i poslije rada svake grupe održan je i sastanak odgovarajućeg STK. Na prvom sastanku je osim tekućih problema dogovoren način rada pojedinih grupa na savjetovanju dok su na drugom sastanku izabrani najzapaženiji referati određene grupe i izabrane su preferencijalne teme za slijedeće XXI Savjetovanje. Posljednjeg dana savjetovanja održan je već uobičajeni Okrugli stol JUKO CIGRE. Tema Okruglog stola je bila »Elektroprivreda i ekologija«.

Kao uvodni referat poslužilo je izlaganje Dr Dixy Lee Ray na otvorenju Savjetovanja CIGRE 1990. godine u Parizu.

Pozvani stručnjaci iznijeli su svoje poglede na problem zagađenja uzrokovana elektroprivredom i tražili realna rješenja i moduse koegzistencije.

Razmatrani su utjecaji hidroelektrane, termoelektrane i dalekovoda na okolicu, razmatrani nedostaci našeg zakonodavstva na tom polju i preporučena veća uključenost domaće znanosti u rješavanju te problematike i njenih specifičnosti na našem području.

I ovo savjetovanje je dalo podršku međusobnom druženju i izmjeni mišljenja što su prisutni, a bilo ih je oko 700 registriranih, višestruko iskoristili. Konačno treba napomenuti da je tijekom savjetovanja u hotelu Neum organizirana izložba na kojoj su svoje proizvode izlagale neke domaće i strane firme.

Dr. Zorĉko Cvetković

»Brodomaterijal« je u okviru svog širokog polja djelatnosti stekao ugled obavljajući i mnoge poslove za Elektroprivredu.

Postao je priznata firma na području građenja trafostanica 110/20 kV i 110/35 kV po sistemu inženjeringa i isporukom opreme za DV 110 kV i DV 400 kV.

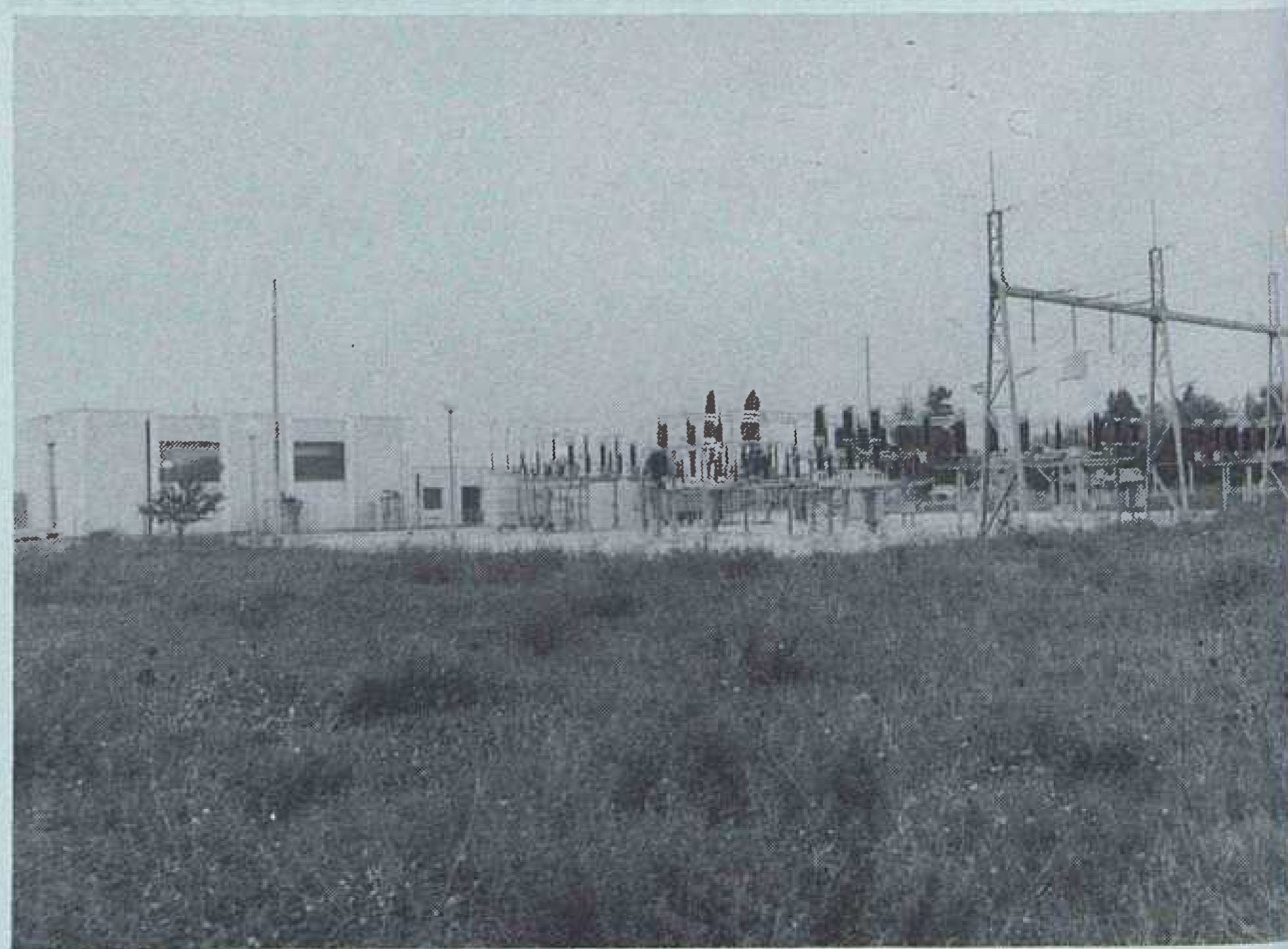
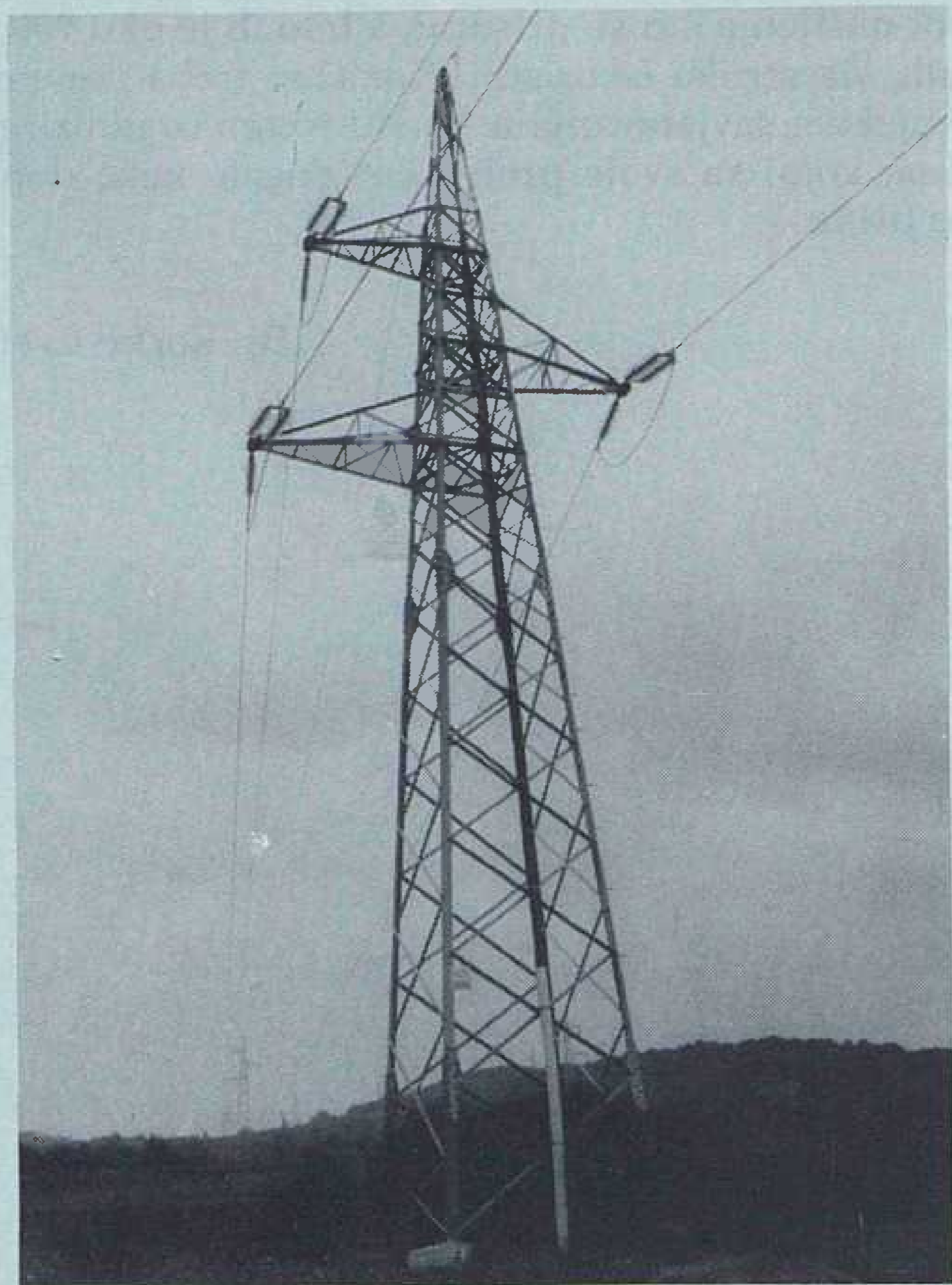
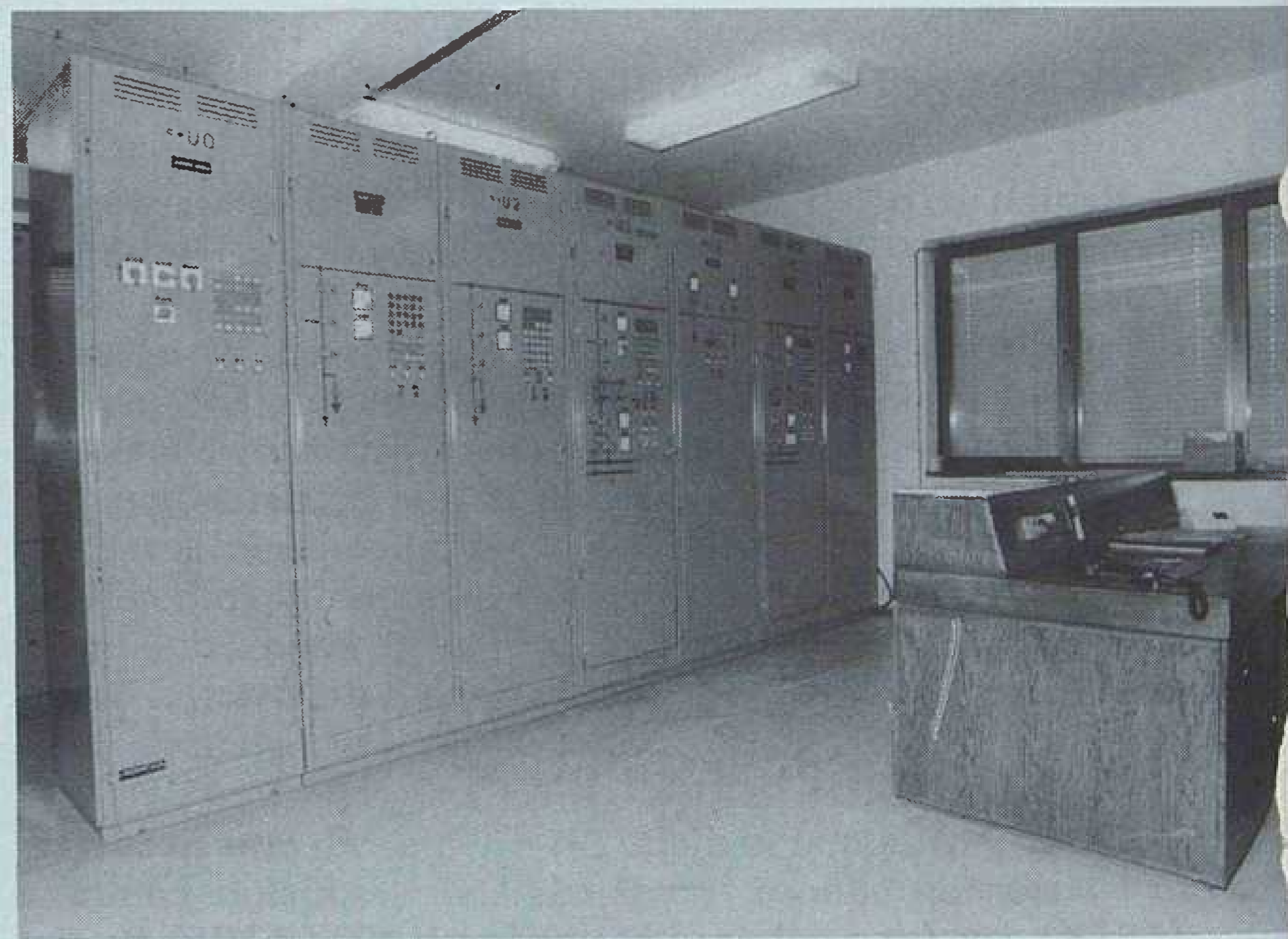
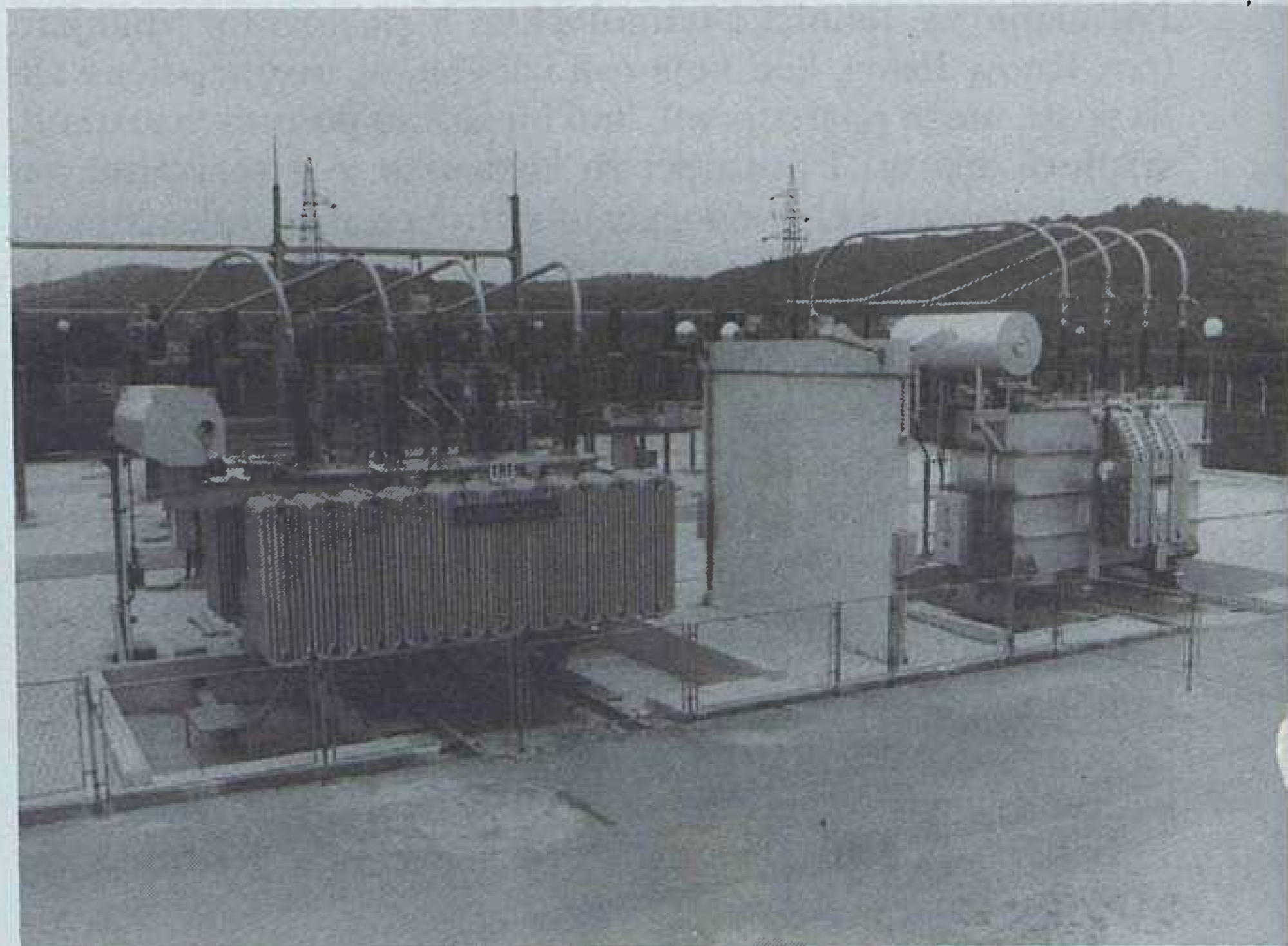
Na regiji Hrvatskog primorja i Istre obavio je sljedeće poslove za Hrvatsku elektroprivredu:

- uvoz podmorskih kabela za Krk – Rab 110 kV,
- isporuka kompletne opreme za TS 110 kV Rovinj – Lošinj – Šijana,
- DV 110 kV Rovinj – Vodnjan – Pula
- isporuka opreme za DV 400 kV TS Melina – TS Tumbri
- isporuka opreme i izgradnja objekta po sistemu ključ u ruke za TS Matulji 110/20 kV.

Za sve informacije izvolite se obratiti na poslovnicu Elektromaterijal 146, na telefone:

051/211-211 kućni: 206, 207 i 211

051/213-541, (telefax br. 32-882 ili 213-541, telex br. 24205).



IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 40 (1991)

Zagreb 1991

Br. 4

Hrvatska elektroprivreda
Institut za elektroprivredu, Zagreb
Ministarstvo znanosti, tehnologije i
informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Dr. Niko *Malbaša*, Institut za elektroprivredu, Zagreb — Josip *Antić*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Distribucija Rijeka — Anđelko *Modrčin*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Rijeka — Anđelko *Dujmović*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Osijek — mr. Damir *Subašić*, dipl. inž., Ministarstvo energetike — 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«, Krno-slav *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.

Redakcija završena 1991 — 6 — 12

SADRŽAJ

<i>Kalea M.</i> : Kretanja u opskrbi Osijeka energijom (Prethodno priopćenje)	207
<i>Šimunić J.</i> : Analiza korelacije za informacije EES-a u realnom vremenu (Prethodno priopćenje)	223
<i>Neveščanin J.</i> : Trendovi tehnološkog razvoja i nova orijentacija projektiranja i izvedbe postrojenja SN i mjesnih TS SN/NN u elektrodistribuciji (Pregledni rad)	231
<i>Naumovski I.</i> — <i>Bistrić M.</i> : Izbor osnovnih karakteristika sklopne opreme u izmjeničnim sistemima nazivnog napona iznad 420 kV (Pregledni rad)	241
<i>Žunec M.</i> — <i>Šagovac G.</i> : Uvod u problematiku viših harmonika u distributivnim mrežama (Pregledni rad)	245
<i>Ravlić V.</i> — <i>Radošević Ž.</i> : Problem buke u transformatorskim stanicama i najvažnije mjere za njeno smanjivanje (Pregledni rad)	249
<i>Čaršimamović S.</i> : Proračunavanje prijelaznog prenapona oklopa metalom oklopljenih plinom SF ₆ izoliranih postrojenja (Originalni znanstveni rad)	257
<i>Kovačević P.</i> : Primjena personalnih računala kao inteligentnih terminala u okruženju sistema za nadzor i upravljanje procesima PROZA 11D/R (Stručni rad)	263
Rad Instituta za elektroprivredu u 1990. godini	267
Vijesti iz elektroprivrede	281
Iz strane stručne literature	284
Oglasi	289

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)

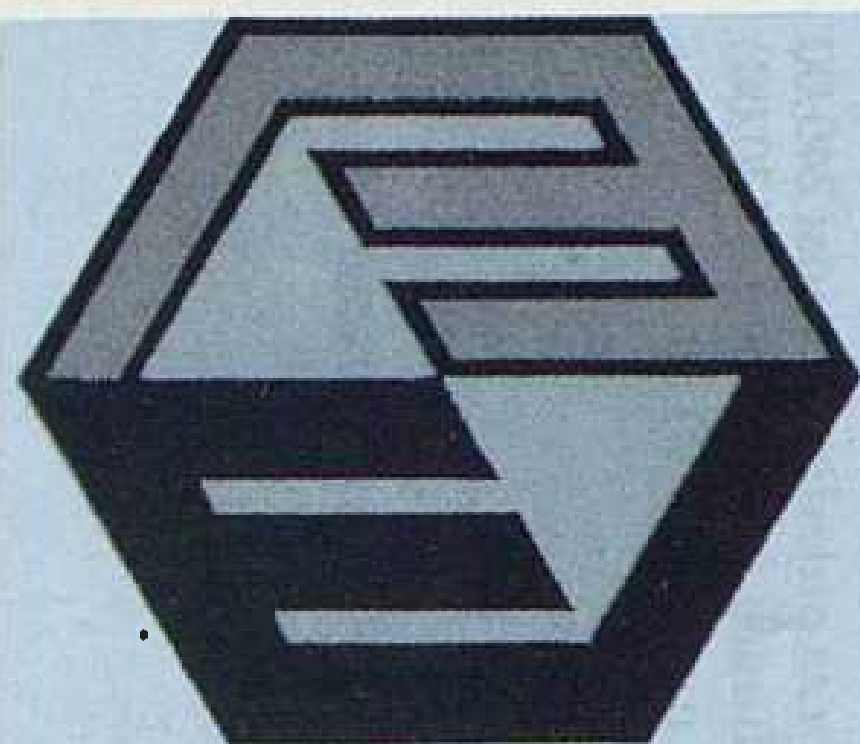
Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 240,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 600,00 dinara (za studente 120,00) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 90,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

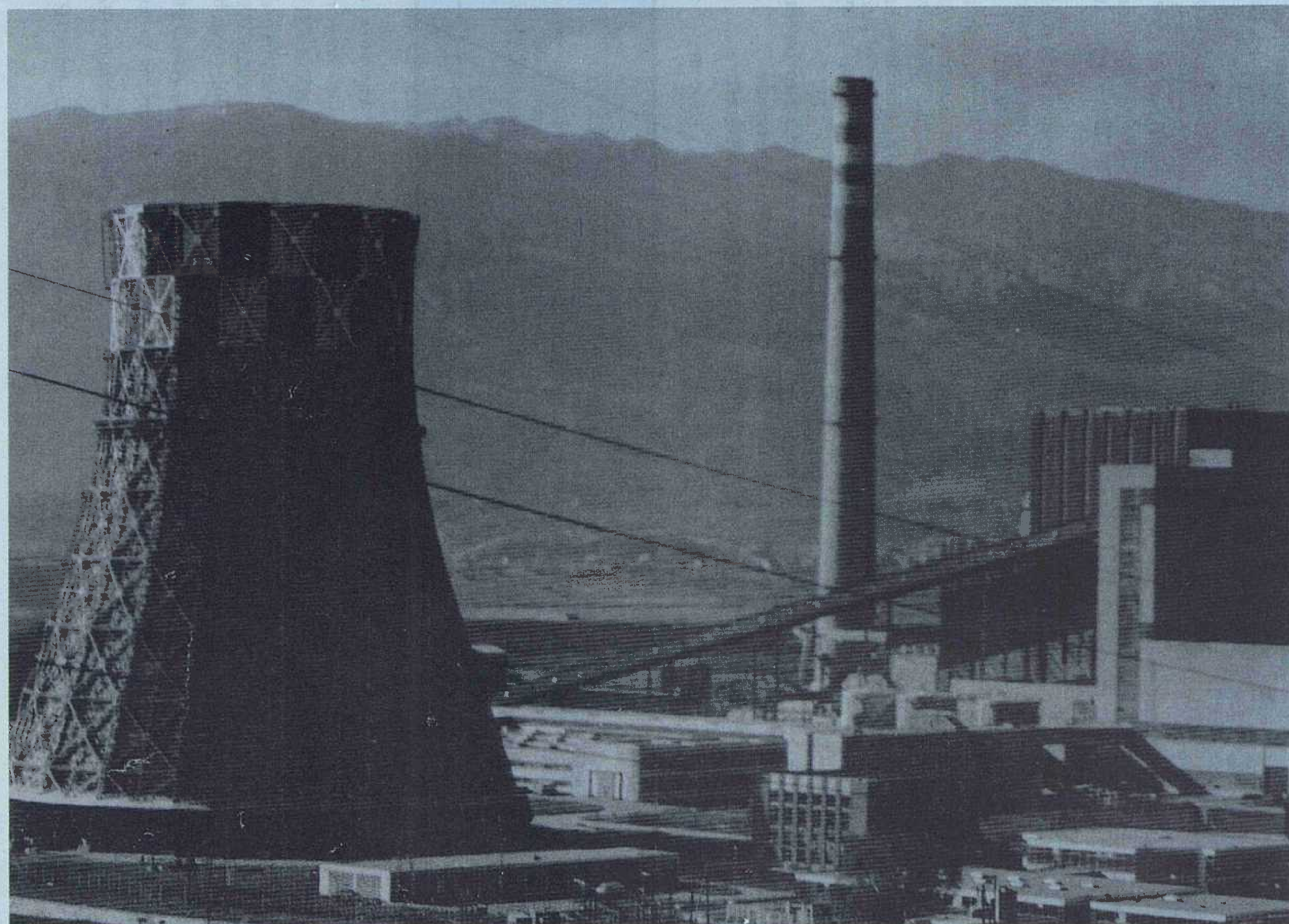
Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

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



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.

KRETANJA U OPSKRBI OSIJEKA ENERGIJOM

Marijan Kalea, Osijek

UDK 621.316.1

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Iznose se glavni nalazi opširne studije što ju je grupa autora izradila pod naslovom Opskrba Osijeka energijom. Studija je objavljena 1990. godine, a prikazuje korištenje energije na području općine Osijek u razdoblju od 1975. do 1987. godine, kretanje cijena energije, ekonomsku efikasnost njezina korištenja i stanje aerozagadenja, te projekcije potražnje do 2000. godine.

Ključne riječi: opća energetika, sadašnje stanje, Osijek.

1. UVOD

Energija je nezaobilazna osnova društvenog i osobnog života i rada, te razvoja svake ljudske zajednice. Izvori energije su u materiji, na i u Zemlji, te u energetske aktivnosti Sunca. Spoznaja o ograničenosti izvora na i u Zemlji, izrasta u posljednjoj četvrtini stoljeća u vrlo naglašen princip planiranja života, rada i razvoja u svijetu: uz što manje energije osigurati očekivane tekuće i buduće materijalne i društvene zahtjeve ljudi.

Do početnih sedamdesetih godina (svjetska naftna kriza, energetska kriza) smjenjuje se jedino pretežni oblik energetske opskrbe svijeta: ugljen početkom industrijske revolucije zamjenjuje drvo, sredinom ovog stoljeća glavninu potreba osigurava nafta, uz izrastanje nuklearne energije. Međutim, sve doskora redovito se određeni rast društvenog proizvoda ostvaruje većim rastom korištene energije, naglašenije u zemljama na nižem dostignutom stupnju razvoja. Od sredine sedamdesetih godina brojne su zemlje u svijetu kod kojih se ostvaruje veći ili manji godišnji rast društvenog proizvoda uz neznatan godišnji rast — stagnaciju — pad ukupno korištene energije. U nas takve tendencije nisu još aktivirane: u posljednjem razdoblju još uvijek ostvarujemo znatan rast ukupno korištene energije uz vrlo skroman rast društvenog proizvoda.

Posljednje vrijeme svijet karakterizira i širenje spoznaje o nemogućnosti pridobivanja, transformacije, transporta i korištenja energije bez stanovitog (kod pojedinog oblika energije i pojedinih faza njezine preobrazbe: veoma naglašenog) opterećenja okoline, kao i zahtjevi da se uz povećanu cijenu i druge napore — to opterećenje učini razumnim.

U takvim glavnim okolnostima objavljuje se ovaj rad o opskrbi energijom općine Osijek u razdoblju od 1975. do 1987. godine (promatrano razdoblje).

2. KRATAK POVIJESNI PREGLED

Osijek je grad sa — za naše prilike — bogatom privrednom: obrtničkom, trgovačkom i industrijskom tradicijom. Status slobodnog i kraljevskog grada stekao je 1809. godine.

Glavni zabilježeni događaji iz energetske povijesti Osijeka su:

- 1883. godine puštena je u rad gradska plinara u kojoj je prerađivan visokokvalitetni uvozni ugljen, ukinuta 1965. godine s plinskom mrežom dugom 80 kilometara;
- 1901. godine u gradu ima ukupno 50 parnih kotlova u kojima je korišten kameni ugljen i ogrjevno drvo u cjepanicama;
- 1926. godine puštena je u rad javna električna centrala, koja se koristila ugljenom; proširena je 1938. godine na ukupnu snagu 3,7 MW i ukinuta 1963. godine;
- 1929. godine je tvornica alkohola i kvasca u Osijeku preuređena u rafineriju nafte čiji je kapacitet prerade bio oko 6 000 tona godišnje, a sirova nafta dopremana je iz Rumunjske; rafinerija je uništena bombardiranjem 1944. godine, a danas je na tom prostoru skladište tekućih goriva za šire područje;
- 1957. godine puštena je u rad transformatorska stanica 110/35 kV čime je grad priključen na jugoslavenski elektroenergetski sistem, bitnija pojačanja nastupila su 1967. i 1977. godine kada je 110 kV mreža na širem području povezana na jugoslavensku mrežu 220 kV odnosno 400 kV;
- 1963. godine, nakon obustave termoelektrane, počinju se instalirati kotlovi koristiti za centraliziranu proizvodnju topline radi distribucije industrijskim i komunalnim potrošačima; 1967. godine ugrađen je novi parni kotao ložen srednjim loživim uljem, a 1973. i 1981. godine još po jedan vrelovodni kotao, ložen mazutom i prirodnim plinom;
- 1965. godine počinje organizirano korištenje tekućeg naftnog plina u Osijeku, izgradnjom stovariš-

- ta za prodaju koje je 1969. godine preuređeno u punionicu — i za automobile;
- 1974. godine puštena je u rad Plinsko-turbinska elektrana instalirane električne snage 2×25 MW; jedan agregat opremljen je kotlom na otpadnu toplinu 37,5 MW, a cijeli toplinski dio upotpunjen je i neovisnim kotlovima toplinske snage $3 \times 12,5$ MW; gorivo za plinsko-turbinsku elektranu je prirodni plin i ekstralako loživo ulje a za kotlove mazut;
- 1977. godine počinje distributivno korištenje prirodnog plina u Osijeku, dovedenog magistralnim plinovodom od nalazišta u Bokšić-Lugu; grad je podijeljen na zone predviđene za toplifikaciju i zone predviđene za plinifikaciju;
- 1985. godine puštena je u rad Termoelektrana-toplana za spregnutu proizvodnju električne (45 MW) i toplinske energije (spregnutom proizvodnjom 110 MW i dopunski još oko 30 MW), gorivo je srednje i teško loživo ulje ili prirodni plin; od 1987. godine to je osnovni izvor vrelovodnog sistema daljinskog grijanja.

O počecima javno organizirane dobave krutih goriva u Osijeku nema zapisa. Na prikladnim lokacijama, uz željezničku prugu koja ide duž grada, ustanovljena su stovarišta za prodaju ogrjevnog drveta i ugljena gdje se obavlja istovar iz vagona, uskladištenje i distribucija. Vrlo vjerojatno: iz vremena prvog željezničkog priključka Sombor — Osijek — Beli Manastir, godine 1870. Za transport krutih goriva uvijek je korišten i riječni prijevoz Dravom, kojom se redovna plovidba brodova odvija od 1855. godine.

3. TERITORIJALNI OBUHVAT I KLIMATSKA SVOJSTVA

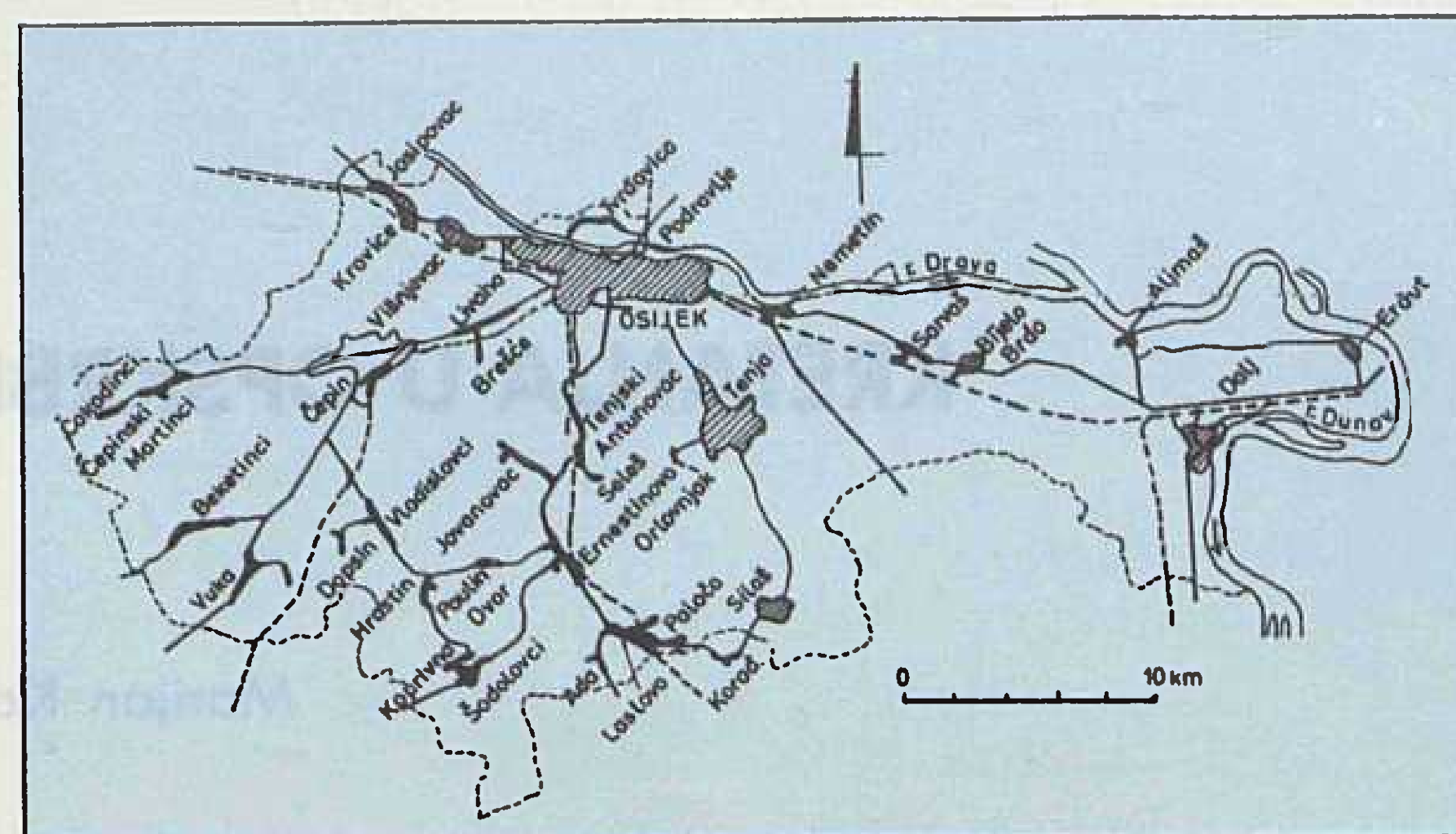
Promatrano područje je teritorij općine Osijek, površine 668 km², prosječne nadmorske visine 90 m, sjeverne geografske širine od oko 45 °. Općina Osijek ima 27 naselja (slika 1). Energetska kretanja i svi nalazi ovog rada odnose se na teritorij općine Osijek, ako u pojedinom slučaju i za pojedini segment nije rečeno drugačije.

Važniji meteorološki podaci, Meteorološke stanice Osijek iz razdoblja 1931–1960. godine:

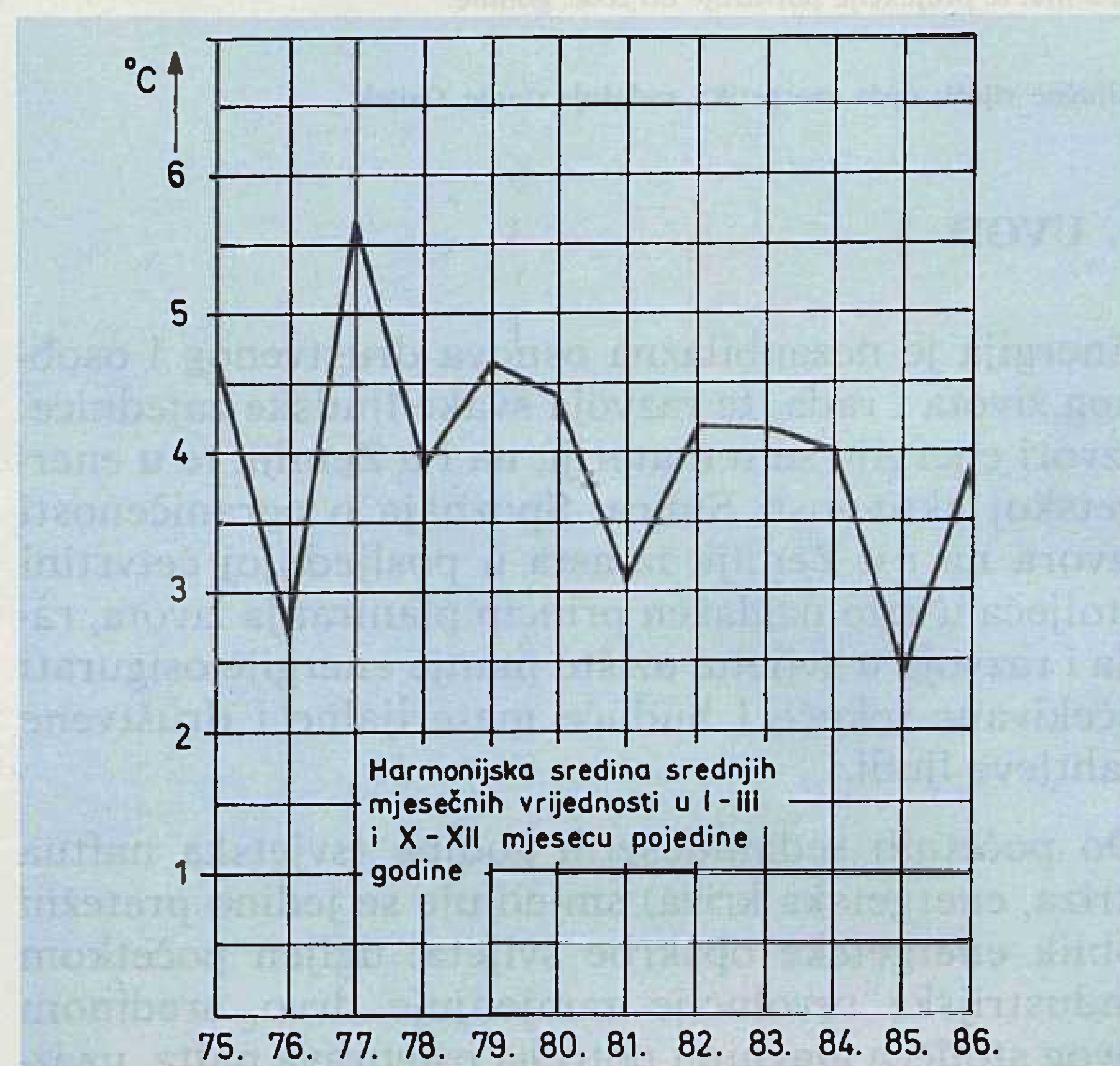
Temp. zraka (° C)	Mjesec											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
sred.	-1,0	1,0	5,9	11,7	16,6	20,0	22,0	21,1	17,1	11,3	6,0	1,6
maks.	17,0	19,0	25,9	30,0	34,5	38,0	40,2	39,0	35,9	30,5	24,0	18,3
min.	-25,5	-24,7	-15,6	-5,8	-3	4	4,6	6,5	0	6	-10	-19,4

Izvor: [6]

Tridesetogodišnja prosječna srednja mjesečna temperatura je 11,1 °C. Također, u tom razdoblju prosječno je godišnje bilo: srednja relativna vlaga zraka 79 %, godišnja količina oborina 706 mm, sunčanih sati 2 027, dana s kišom 124 i dana sa snijegom 24,5. Prosječna temperatura zraka u zimskim mjesecima



Slika 1. Područje općine Osijek. Izvor: Statistički godišnjak općine Osijek, 1983.



Slika 2. Prosječna temperatura zraka na području Osijeka u zimskim mjesecima. Izvor: SGO 1982. i SGO 1987.

(siječanj — ožujak i listopad — prosinac) u našem radu promatranog razdoblja, od 1975. do 1987. godine, prikazana je slikom 2.

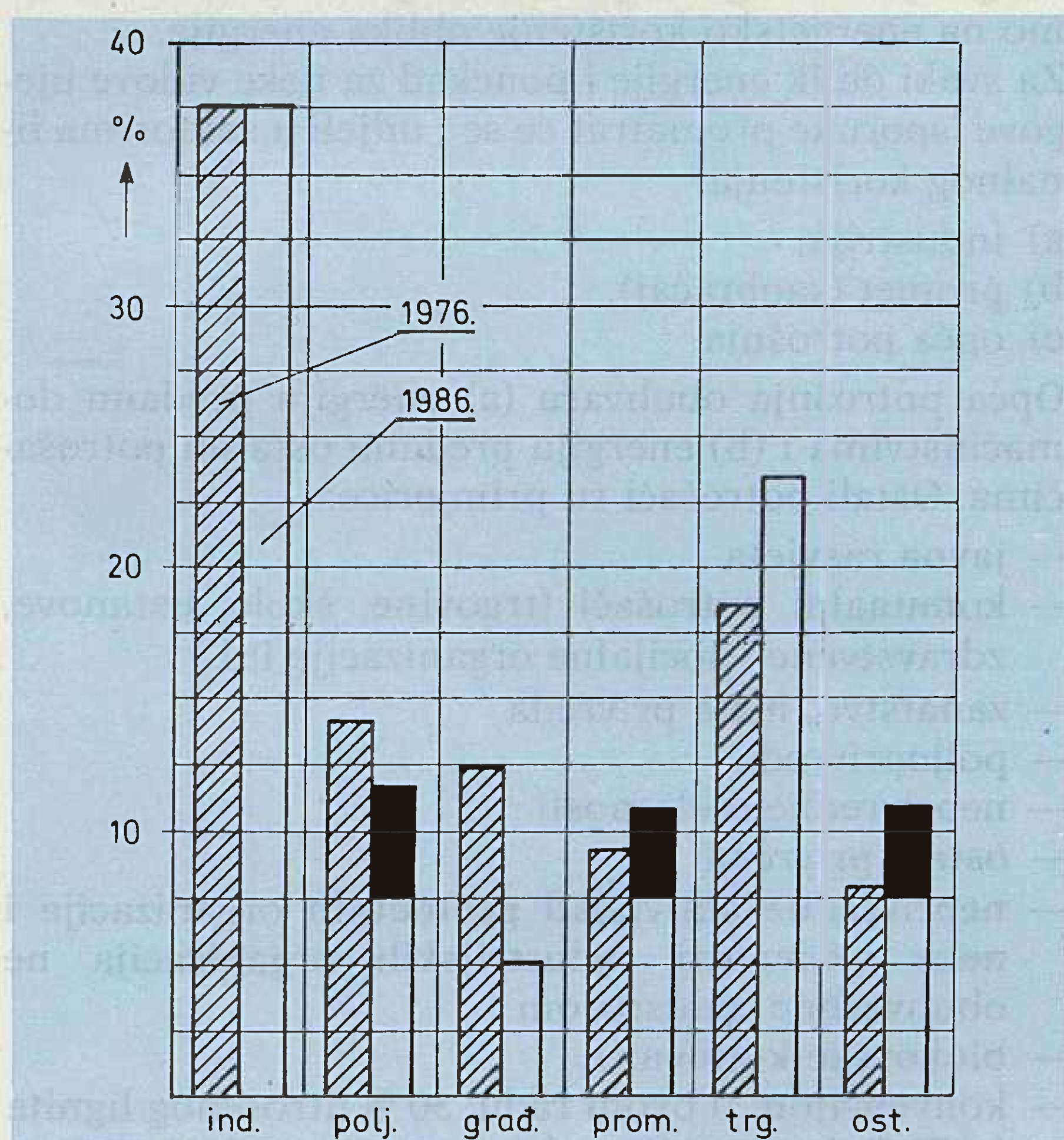
4. DRUŠTVENO-EKONOMSKA KRETANJA

Prema popisu stanovnika 1981. godine na području općine Osijek stalno je živjelo 158 790 stanovnika, a u gradu 104 775. Procijenjeno je da je stanovništvo u promatranom razdoblju raslo po prosječnoj stopi od

1,16 % ili od 150 390 stanovnika u 1976. godini, povećano je na 168 828 stanovnika u 1986. godini. (Društveno-ekonomska kretanja iznose se za razdoblje koje čini promatrano razdoblje umanjeno za početnu i krajnju godinu, jer podaci za njih ne čine homogen skup s ostalima.)

U društvenom sektoru općine Osijek 1976. godine bilo je zaposleno 49 712 radnika. U razdoblju 1976–1986. godine, zaposlenost je rasla po prosječnoj godišnjoj stopi od 2,50 %, te je u 1986. godini ukupno bilo zaposleno 63 627 radnika. Od ukupnog broja zaposlenih radnika društvenog sektora u općini Osijek, 1986. godine, više od 82 % zaposleno je u privredi. U industriji je zaposleno više od 35 %, u trgovini 11 % građevinarstvu i prometu oko 10 %. U neprivredi je zaposleno 17,7 % (u obrazovanju i kulturi 7 %, u zdravstvu 6,6 %).

Najzastupljenija privredna oblast u društvenom proizvodu općine Osijek je industrija, čiji se udio kreće između 37,8 % (1976. i 1986. godine) i 32,2 % (1982. godine). Trgovina sudjeluje s otprilike 25 %, poljoprivreda je treća oblast s učešćem u društvenom proizvodu između 12 i 15 %. Promet je zastupljen s otprilike 10 %, građevinarstvo s oko 5 %, zanatstvo i stambeno-komunalna djelatnost s otprilike 3 %, te šumarstvo, vodoprivreda, ugostiteljstvo i financijske usluge s udjelom oko 1,5 % pojedinačno. Proizvodni dio obrazovanja i kulture te proizvodni dio zdravstva sudjeluje s otprilike 0,2 %. Vidi sliku 3.



Slika 3. Udjeli oblasti privrede u društvenom proizvodu općine Osijek

Društveni proizvod općine Osijek u stalnim cijenama (1985. godine) kretao se:

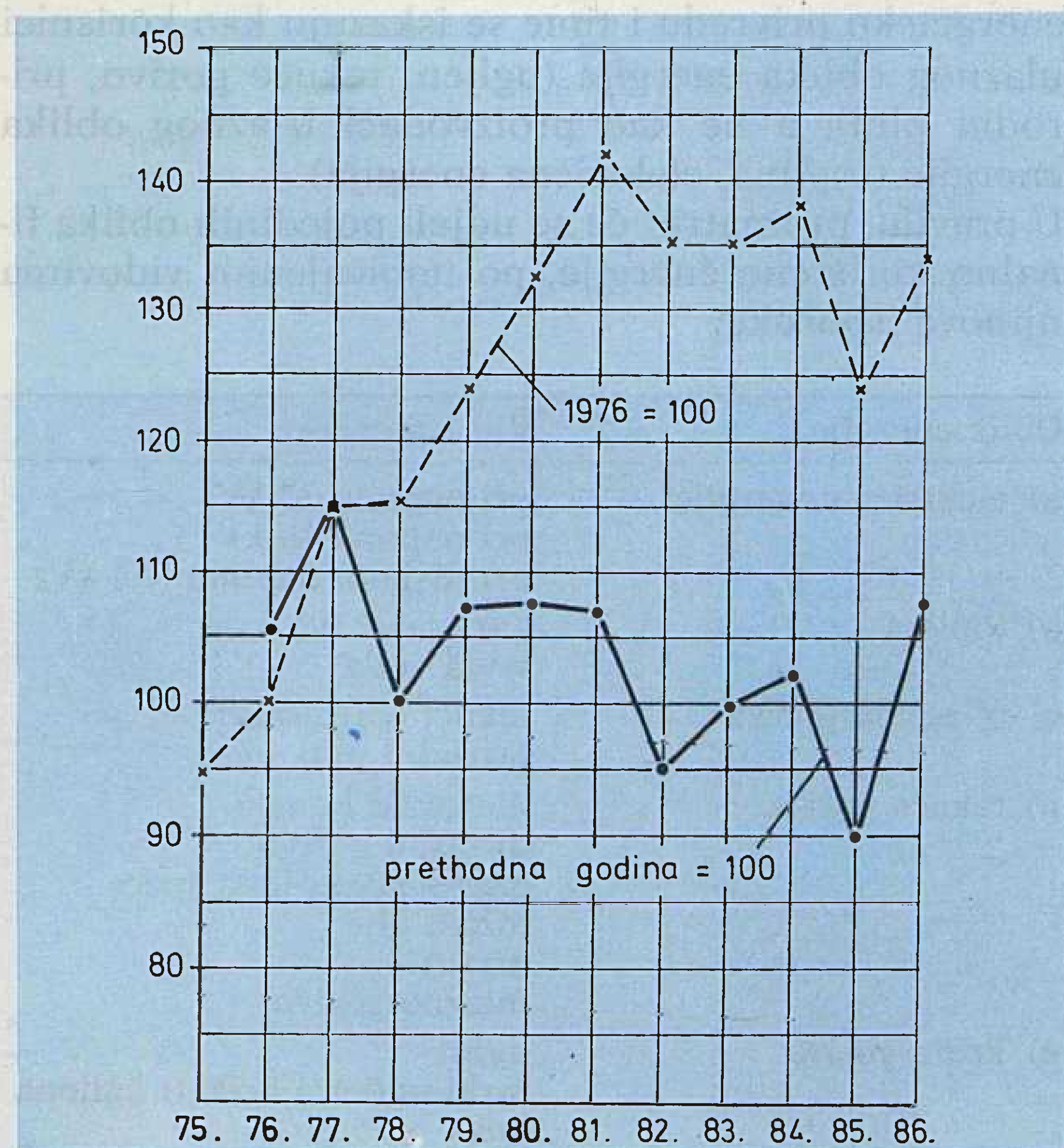
	1976.	1980.	1985.	1986.
Indeks 1976 = 100	100	97,5	98,3	98,7

Društveni proizvod na području općine Osijek je od 1976. godine u padu, s prosječnom stopom 0,13 % godišnje. Industrija općine Osijek u razdoblju 1976. do 1986. godine ostvarila je pad društvenog proizvoda po prosječnoj godišnjoj stopi od 0,23 %.

Najzastupljenija grana industrije u općini Osijek jest proizvodnja prehrambenih proizvoda. Njen udio u strukturi industrijske proizvodnje u općini Osijek iznosi od 20,6 % do 23,3 %. Druga po rangu industrijska proizvodnja jest prerada kemijskih proizvoda s udjelom otprilike 16 %. Strojogradnja je s udjelom od 9,8 % do 13,5 % i proizvodnja gotovih tekstilnih proizvoda s udjelom od 8,2 % do 10,6 %. Te industrijske grane čine oko 2/3 ukupne industrijske proizvodnje općine Osijek.

Negativnu prosječnu stopu rasta fizičkog obujma industrijske proizvodnje ostvarile su sljedeće industrijske grane: metaloprerađivačka, drvena industrija, proizvodnja prehrambenih proizvoda i grafička djelatnost. Visoke stope rasta ostvarile su strojogradnja, proizvodnja električnih strojeva, proizvodnja kože i krzna i proizvodnja stočne hrane. Ostale su grane imale niže i niske stope rasta. Računski promatrajući — industrija na području općine ostvarila je prosječnu godišnju stopu porasta od 1976. do 1986. godine od 2,94 %, slika 4.

Međutim, kada se promatra dinamika rasta fizičkog obujma industrijske proizvodnje, utvrđuje se da je proizvodnja rasla u razdoblju do 1981. godine, a u vremenu nakon toga stagnirala odnosno opadala. Proizvodnja iz 1981. godine nije više niti dostignuta. Osnovna karakteristika razdoblja 1982. do 1986. godine su velike oscilacije industrijske proizvodnje, što je posljedica problema u proizvodnji pojedinih grana (neravnomjerna snabdjevenost resursima).



Slika 4. Fizički obujam industrijske proizvodnje u općini Osijek. Izvor: Analiza uvjeta i mogućnosti dugoročnog razvoja općine Osijek do 2000. godine, Zavod za plan općine Osijek, 1987.

U razdoblju 1976. do 1986. godine porasla je realna masa osobnih dohoda uz prosječan godišnji porast od 0,42 %. Porast mase sredstava za osobne dohotke niži je od prosječne stope porasta stanovništva (1,16 %) ili stope porasta ukupno zaposlenih radnika društvenog sektora privrede (2,50%). Znači, na kraju razdoblja (1986) stanovništvo općine Osijek raspolagalo je s realno manjim sredstvima potrošnje nego u početnoj godini (1976). Broj stanova na području općine Osijek u tih je 10 godina rastao po stopi od 1,48 % prosječno godišnje. U 1986. godini na području općine postoje 54 382 stana u privatnom i društvenom vlasništvu.

Javne površine obuhvaćaju površinu ulica, parkova i trgova u gradu Osijeku, što se statistički snima svake treće godine. Od 3,9 milijuna m² u 1976. godini veličina javnih površina u gradu Osijeku je povećana u 1984. godini na 5,3 milijuna m² što govori o povećanom stupnju urbanizacije grada, povoljnijim životnim uvjetima, ali i povećanim troškovima za održavanje i energiju.

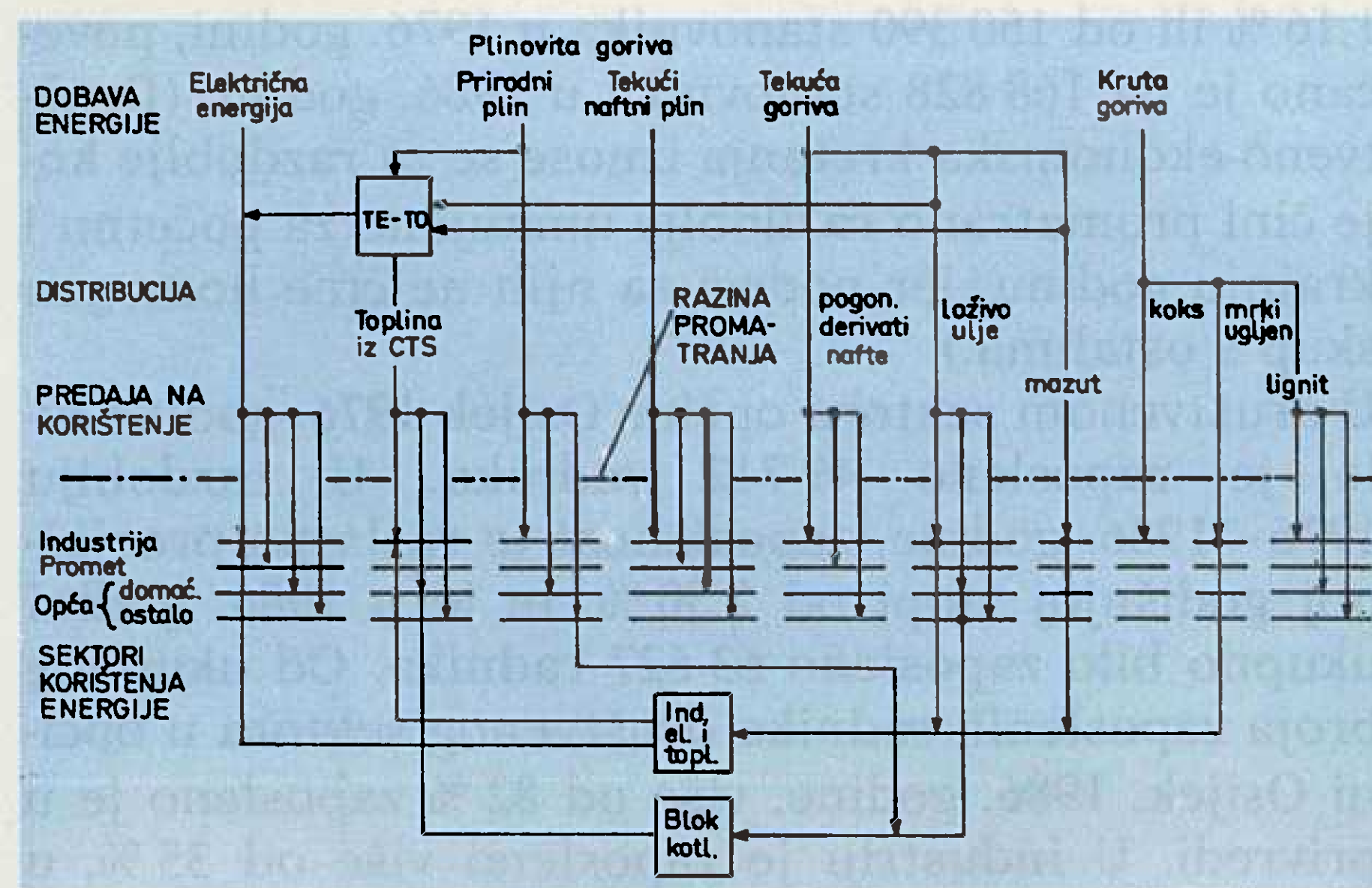
5. POJMOVNI OBUHVAT I RAZINA PROMATRANJA

Radom se promatra veličina i struktura finalnog korištenja energije — na mjestu predaje te energije iz javnih energetske organizacije — njezinim korisnicima, potrošačima. U odnosu na metodologiju izrade energetske bilance Jugoslavije, Saveznog zavoda za statistiku [4], takav obuhvat predstavlja razliku u pogledu tretmana blokovskih kotlovnica i industrijskih kotlovnica, energana i toplana, jer one po primijenjenom pristupu u ovom radu ne pripadaju u javnu energetske privredu i time se iskazuju kao korisnici ulaznog oblika energije (ugljen, tekuće gorivo, prirodni plin), a ne kao proizvođači izlaznog oblika energije (toplina, električna energija).

U pravilu, promatrat će se udjeli pojedinih oblika finalno korištene energije, po uobičajenim vidovima njihove isporuke:

Oblik energije	Vid isporuke
a) električna energija	pri naponu 35 kV pri naponu 10 kV pri niskom naponu (0,4 kV)
b) toplina	para vrela voda
c) plinovita goriva	tekući naftni plin prirodni plin
d) tekuća goriva	motorski benzin dizelsko gorivo ekstra-lako i lako spec. loživo ulje mazut mlazno gorivo
e) kruta goriva	lignit mrki ugljen i briketi ugljena koks

Obuhvaćeni su oni vidovi isporuke za koje je utvrđeno da se koriste na području općine Osijek. Slikom 5. precizno je prikazan obuhvat pojedinih oblika ener-



Slika 5. Opskrba Osijeka energijom — oblici energije, vidovi isporuke i sektori korištenja

gije i vidova njihove isporuke, razina promatranja i načina razvrstavanja po sektorima finalnog korištenja.

Ponekad će se primijeniti i neki skupni nazivi, koji su se uobičajili, sa značenjem: a) fosilna goriva: ugljen, lignit, sirova nafta, prirodni plin; b) loživi derivati nafte: ekstralako (EL) i lako specijalno (LS) loživo ulje, mazut; c) loživo ulje, loživo ulje: EL i LS ulje; d) derivati nafte: tekuća goriva (iz prethodne tablice) i tekući naftni plin; e) pogonski derivati nafte: motorški benzin, dizelsko gorivo i mlazno gorivo. Ako se drugačije ne naglasi, promatranja će se odnositi samo na energetske korištenje oblika energije.

Za svaki oblik energije i ponekad za neke vidove njegove isporuke promatrat će se i udjeli u sektorima finalnog korištenja:

- industrija,
- promet (saobraćaj),
- opća potrošnja.

Opća potrošnja obuhvaća (a) energiju predanu domaćinstvima i (b) energiju predanu ostalim potrošačima. Ostali potrošači su primjerice:

- javna rasvjeta
- komunalni potrošači (trgovine, škole, ustanove, zdravstvene i socijalne organizacije itd.)
- zanatstvo, mala privreda
- poljoprivreda
- neprivredne djelatnosti
- ostala privreda
- neprivredne aktivnosti prometnih organizacija i neke aktivnosti industrijskih organizacija ne obuhvaćene industrijom
- blokovske kotlovnice
- konvencijom u ovom radu: 30 % utrošenog lignita (a 70 % je uračunato kao potrošnja domaćinstava).

Vrijednost ostale potrošnje za pojedini oblik energije i vid njegove isporuke dobivena je računski: odbijanjem industrijske, prometne i potrošnje u domaćinstvima od stvarno predane ukupne količine energije u pojedinoj godini. Stoga se ostala potrošnja ne promatra odvojeno, jer sadržava u sebi kumulirane pozitivne i negativne doprinose pogrešaka pri iskazivanju svih drugih sektora korištenja. Promatranje se

obavlja za opću potrošnju u cjelini (dakle domaćinstva + ostala potrošnja) i za njezin pouzdani dio: domaćinstva.

Zbog svega toga ponekad će se reći: električna energija iz mreže (naglašavajući time da nije obuhvaćena ona proizvedena u industrijskim elektranama) i toplina iz centraliziranog toplinskog sistema-CTS (jer nije obuhvaćena ona proizvedena u industrijskim energanama i toplinama, te blokovskim kotlovnica-ma). Isto tako bit će ponekad naglašeno: prirodni plin, loživo ulje ili mazut predan industriji bez TE-TO, da se upozori kako u tim vrijednostima nisu obuhvaćene količine iskorištene za transformacije u TE-TO.

Za pojedina goriva utvrđivane su količine isporučene distribucijom, kao i one koje su osigurane neposrednom dobavom od dobavljača.

Obuhvaćena je sva finalno korištena energija isporučena na području općine Osijek, bez obzira na to koliki je njezin dio preobražen u korisne oblike energije na tom području (npr. pogonski derivati nafte isporučeni finalnom korisniku na području općine Osijek, iskorišteni su svakako i izvan tog područja).

6. ENERGETSKI EKVIVALENTI, VREMENSKI OBUHVAT I OSTALE UVODNE OPASKE

Za preračunavanje količina energije iskazanih naturalnim jedinicama, koriste se energetske ekvivalenti koliki se primjenjuju u izradi energetske bilance SFRJ za 1986. godinu [4]. Za pojedine oblike energije koji se obrađuju u ovom radu, ti su ekvivalenti prikazani tablicom donjih ogrjevnih vrijednosti:

Oblik energije	kJ/kg	ostale jed.
a) koks	28 000	
b) mrki ugljen za transf. i fin. potrošnju	15 000	
c) lignit za transf. i fin potrošnju	10 000	
d) derivati nafte za fin. potrošnju	42 672	
e) mazut, EL i LS loživo ulje	40 617	
f) tekući naftni plin	46 892	
g) prirodni plin za fin. potrošnju		35 588 kJ/m ³
h) električna energija		3 600 kJ/kWh

Za mrki ugljen (i brikete) i za lignit uzeta je aritmetička sredina donjih ogrjevnih vrijednosti isporuka za transformaciju te za finalnu potrošnju, jer je dio obuhvaćenih količina namijenjen transformaciji (u kotlovnica-ma, energanama i industrijskim toplinama), a dio neposrednom korištenju (u industriji i domaćinstvima).

Tablica 1. Energija predana potrošačima u općini Osijek

Godina	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	1987.
Energija (PJ)	6,63	6,75	7,11	8,00	8,31	8,82	8,29	8,85	8,89	9,00	8,92	8,76	9,70
God. stopa rasta (%)	—	1,73	5,43	12,44	3,91	6,10	-5,97	6,76	1,58	0	-0,91	-1,41	10,72
1975 = 100	100	101,7	107,3	120,6	125,3	132,9	125	133,5	135,6	135,7	134,5	132	146,2

Vremensko razdoblje na koje se odnosi sagledavanje svih energetske kretanja je od 1975. do 1987. godine, uključivši i te godine. Vremenska jedinica je jedna kalendarska godina. Sve stope rasta iskazivat će se u godišnjim postocima rasta, s oznakom godina na koje se odnose. Prosječna godišnja stopa rasta određena je omjerom veličina u krajnjoj i početnoj godini, neovisno o kretanju unutar tih godina. Negativna stopa rasta znači smanjenje vrijednosti u krajnjoj godini u odnosu na vrijednost u početnoj godini. Pozitivna stopa neće se označavati svojim predznakom. U tabličnim prikazima namjesto vrijednosti stoji crtica (—) ako pojave nema, tri točke (. . .), ako njezina vrijednost nije poznata i nula (0), ako je njezina vrijednost manja od najmanje vrijednosti prikazivanja. Ako je vrijednost pretpostavljena, nedovoljno sigurna ili interpolirana, bit će stavljena u zagrade.

7. UKUPNA KRETANJA U KORIŠTENJU ENERGIJE I STANJE NA KONCU PROMATRANOG RAZDOBLJA

Kretanje ukupne energije predane potrošačima na području općine Osijek, ostvareno u promatranom razdoblju, stopa rasta prema prethodnoj godini i indeks prema početnoj godini promatranja prikazani su tablicom 1, također najvišom linijom na slikama 6 odnosno 12.

Prema rastu ukupne energije predane potrošačima općine Osijek, u promatranom razdoblju od 1975. do 1987. godine, mogu se uočiti dva podrazdoblja:

- od 1975. do 1980. godine — razdoblje višeg rasta ukupne energije: od oko 6,6 PJ u 1975. godini na oko 8,8 PJ u 1980. godini, uz prosječan godišnji rast od nešto ispod 6 % (točno: 5,86 %);
- od 1981. do 1987. godine — razdoblje nižeg rasta ukupne energije, na vrijednost od oko 9,5 PJ, uz prosječan godišnji rast od oko 1,4 % (točno: 1,37 %).

U čitavom promatranom razdoblju od 12 godina ostvaren je — na takav način — prosječan godišnji rast ukupne energije od otprilike 3 % (točno: 3,22 %).

Prijelomna točka nastupila je, dakle, u vrijeme druge svjetske naftne krize (1979/1980), kada je ionako uzdignuta cijena sirove nafte još jednom podvostručena (s nešto ispod 15 na nešto iznad 30 dolara po barelu). Do tada u Osijeku ne opaža se bitniji utjecaj prve svjetske naftne krize (1973), kao i drugdje u Jugoslaviji.

Razmotri li se energetska bilanca općine Osijek za 1985. godinu (slika 16), kao karakteristična za tekuće stanje, uočavaju se sljedeće glavne osobitosti:

- a) najveći korisnik je industrija, koristi nešto ispod polovine ukupne energije predane potrošačima;
- b) najzastupljeniji oblik su tekuća goriva, oko 40 % energije predane potrošačima; električna energija, toplina, plinovita i kruta goriva dijele preostatak na praktički — podjednake dijelove;
- c) najzastupljeniji vid isporuke su pogonski derivati nafte (motorski benzin + dizelsko gorivo + mlazno gorivo), čine gotovo četvrtinu ukupne energije predane potrošačima;
- d) u industriji, najveći udjel imaju kruta goriva, promet je (praktički) isključivo na tekućim gorivima, dok presudan udio u domaćinstvima ima električna energija;
- e) promatra li se ukupno dobavljena energija na područje općine Osijek (radi predaje potrošačima i radi transformacija u TE-TO Elektroslavonije), onda tekuća goriva čine preko polovine udjela, slijede plinovita goriva, kruta goriva i — na posljed-

njem mjestu — dobavljena električna energija iz elektroenergetskog sistema.

U posljednjoj promatranoj godini (1987) ostvaren je visok rast korištenja energije u odnosu na prethodnu godinu (10,75 %). On je naglašen i time što slijedi nakon dvije godine laganog pada, te što je visok rast ostvaren u svim sektorima korištenja (u prometu nešto manji) i kod svih oblika energije (osim kod prirodnog plina).

Tablicom 2. prikazan je broj potrošača električne energije, topline i prirodnog plina na području općine Osijek, koji su ostvarili iskazano korištenje tih oblika energije. Tablicom 3. prikazan je razvoj mreža za distribuciju tih oblika energije. Impresivan je rast plinovoda: prosječnom godišnjom stopom od oko 50 %, u toku osam godina promatranog razdoblja!

Dodajmo i podatke o distributivnim kapacitetima na području grada Osijeka za isporuku onih oblika energije koji nisu prikazani tablicom 3.

Tablica 2. Broj potrošača električne energije, topline i prirodnog plina u općini Osijek

Potrošači		1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	1987.	%/god.
Električne energije															
1 Industrijski potr. 35kV	kom	5	6	4	4	4	4	4	4	5	6	6	6	6	1.53
2 Industrijski potr. 10kV	kom	68	74	74	80	90	88	91	96	97	101	103	107	109	4.01
3 Industrijski potr., ukupno	kom	73	80	78	84	94	92	95	100	102	107	109	113	115	3.86
4 Domaćinstva 0.4kV	kom	48991	53396	54304	55376	56456	58026	52053	53411	55425	56194	57308	57866	59050	1.57
5 Javna rasvjeta 0.4 kV	kom	243	257	251	265	287	266	333	338	345	357	358	368	363	3.40
6 Razni potrošači 0.4kV	kom	4328	3719	3328	3434	3492	3442	3370	3362	3451	3365	3352	3412	3409	— 1.97
7 Potrošači, sveukupno	kom	53635	57452	57961	59159	60329	61826	55851	57241	59323	60023	61127	61759	62937	1.34
Toplinske energije															
8 Industrijski potrošači	kom	...	6	6	6	7	7	11	11	12	13	13	16	17	9.93
9 Poslovni potrošači	kom	...	271	294	310	320	343	359	376	384	389	413	453	494	5.61
10 Domaćinstva	kom	...	3361	3918	3928	4287	4734	5472	5703	5857	6006	7316	7667	8125	8.36
11 Potrošači, ukupno	kom	...	3638	4218	4244	4614	5084	5842	6090	6253	6408	7742	8136	8636	8.18
Prirodnog plina															
12 Industr. + komunalni potr.	kom	—	—	1	5	12	14	24	43	50	80	91	100	110	79.96
13 Domaćinstva	kom	—	—	240	544	798	1240	1534	2366	2725	3151	3333	3622	4174	42.90
14 Potrošači, ukupno	kom	—	—	241	549	810	1254	1558	2409	2775	3231	3424	3722	4284	43.29

3 = 1 + 2; 7 = 3 + 4 + 5 + 6; 11 = 8 + 9 + 10; 14 = 12 + 13; Prosječna stopa rasta prirodnog broja potrošača prirodnog plina određena je omjerom vrijednosti 1987/1979. godine.

Tablica 3. Mreže za distribuciju električne energije, topline i prirodnog plina u općini Osijek

Distribucija		1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	1987.	%/god.
Električne energije															
1 Trafostanica 35/10kV	kom	10	10	10	10	11	12	12	12	12	12	12	12	12	1.53
2 — Instalirana snaga	MVA	123.5	123.5	122.0	122.0	125.0	171.5	177.5	180.5	180.5	186.5	186.5	186.5	186.5	3.49
3 Trafostanica 10/0.4 kV	kom	238	268	289	304	317	340	359	368	380	390	400	408	418	4.81
4 — Instalirana snaga	MVA	76.0	89.0	99.9	107.2	115.3	127.0	128.8	134.1	139.1	145.0	148.6	151.2	159.7	6.38
5 Nadzemni vodovi 10kV	km	268	276	273	276	283	294	318	314	312	321	320	326	327	1.67
6 Kabelski vodovi 10kV	km	81	95	99	107	115	124	138	146	152	156	160	163	168	6.27
7 Mreža 10kV, ukupno	km	349	371	372	383	398	418	456	460	464	477	480	489	495	2.96
8 Nadzemna mreža 0.4kV	km	931	921	925	934	952	962	974	979	981	986	989	993	996	0.56
9 Kabela mreža 0.4kV	km	218	262	276	304	327	365	397	415	427	438	458	468	480	6.80
10 Mreža 0.4kV, ukupno	km	1149	1183	1201	1238	1279	1327	1371	1394	1408	1424	1447	1461	1476	2.11
Toplinske energije															
11 Vrelovodna mreža	km	14.4	15.8	17.1	17.7	18.8	21.4	23.8	25.1	25.3	25.5	26.2	26.9	32.5	7.02
12 Parovodna mreža	km	7.5	7.5	8.7	8.8	8.6	6.4	11.2	11.2	11.4	11.5	11.6	12.0	12.1	4.07
13 Toplinska mreža, ukupno	km	21.9	23.3	25.8	26.5	27.4	27.8	35.0	36.3	36.7	37.0	37.8	38.9	44.6	6.11
14 Toplin. stanice, vrelovod	kom	117	137	154	169	186	210	230	253	262	269	278	299	323	8.83
15 Toplin. stanice, parovod	kom	36	37	38	37	30	26	28	29	31	33	35	40	42	1.29
16 Toplin. stanice, ukupno	kom	153	174	192	206	216	236	258	282	293	302	313	339	365	7.51
Prirodnog plina															
17 Plinovodi	km	—	—	2.6	7.9	12.2	18.0	39.8	49.7	54.1	62.3	65.4	72.5	104.5	50.74
18 Redukcione stanice	kom	—	—	1	2	5	6	12	14	14	20	22	24	27	44.22

7 = 5 + 6; 10 = 8 + 9; 13 = 11 + 12; 16 = 14 + 15; Prosječna stopa rasta plinske mreže utvrđena je omjerom vrijednosti 1987/1979. godine.

Stanje potkraj 1987. godine bilo je:

- 7 mjesta za prodaju tekućeg naftnog plina u bocama
- 1 mjesto za istakanje tekućeg naftnog plina u automobile
- 12 benzinskih stanica za prodaju automobilskog goriva
- 4 mjesta za prodaju krutih goriva.

Lokacije tih prodajnih objekata raspoređene su po gradskom teritoriju tako da je omogućen povoljan pristup potrošačima.

8. KRETANJA PO SEKTORIMA KORIŠTENJA ENERGIJE

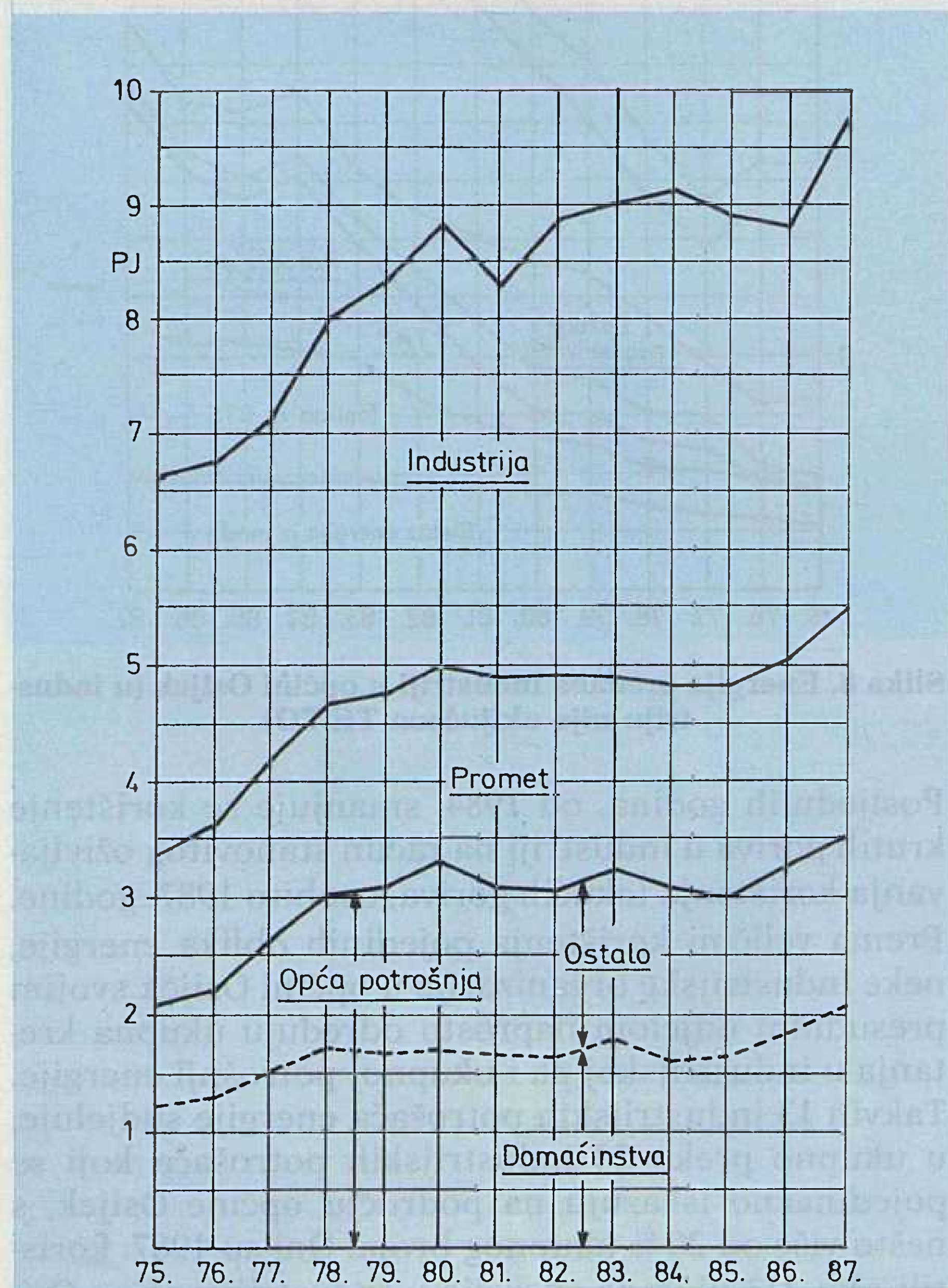
a) Ukupna kretanja po sektorima korištenja

Za kretanja udjela sektora korištenja energije (vidi tablicu 4. i slike 6. i 7) karakteristična je nepretjerana dinamika promjena. Međutim, nekoliko najvećih industrijskih potrošača energije svojom neravnomjernošću određuju ipak stanovitu neravnomjernost udjela sektora korištenja u toku promatranih godina.

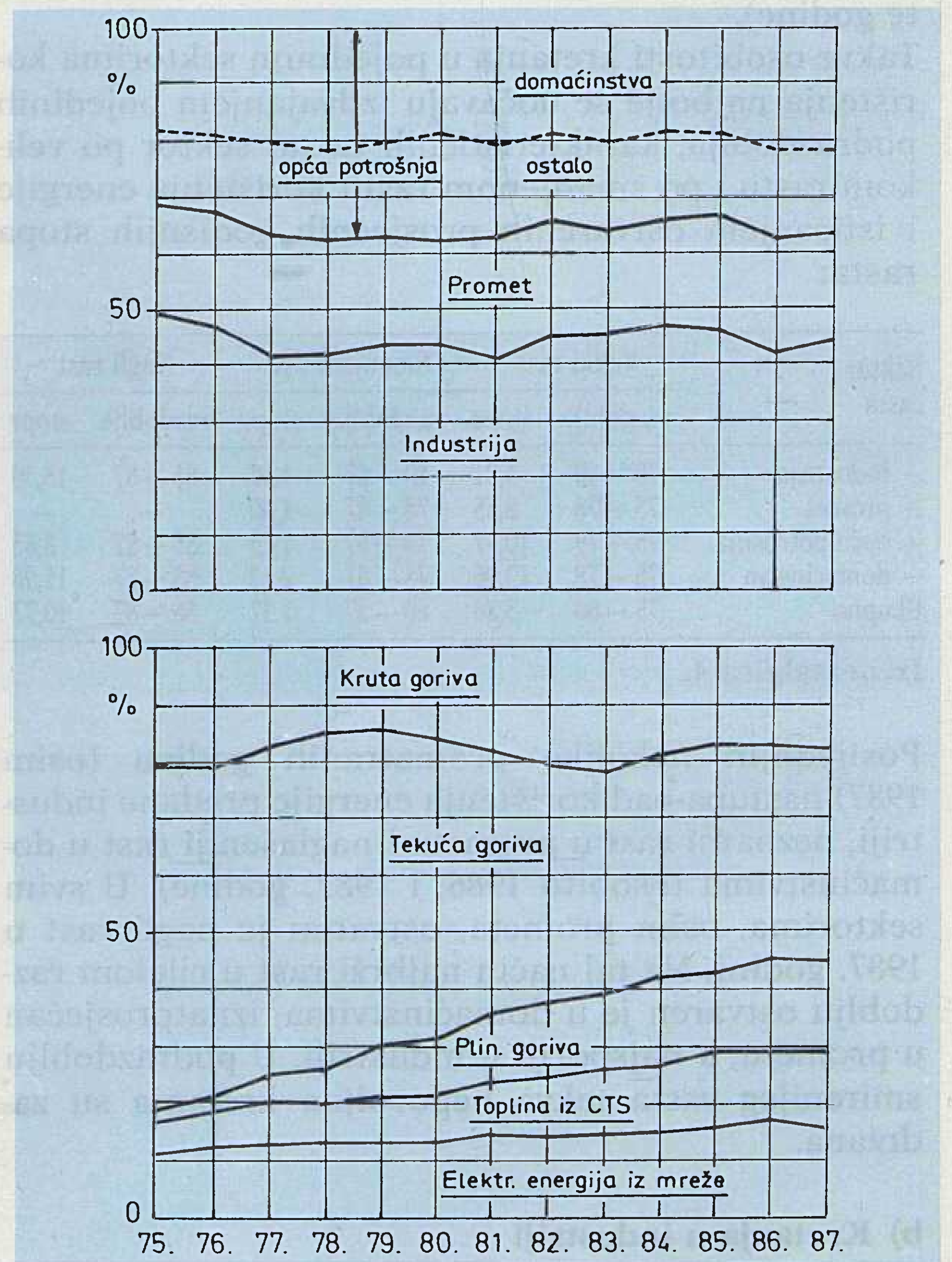
Tablica 4. Energija predana potrošačima po sektorima korištenja u općini Osijek

Sektor korištenja		1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	1987.	%/god.
(a) iskaz vrijednostima															
1 Industrija	TJ	3274.0	3162.7	2922.4	3341.7	3602.5	3816.6	3377.3	3971.7	4074.2	4200.4	4104.4	3704.4	4271.2	2.24
2 Promet	TJ	1286.5	1390.2	1583.4	1646.2	1633.2	1699.3	1837.5	1824.8	1689.7	1739.5	1826.6	1799.9	1898.7	3.30
3 Opća potrošnja	TJ	2072.4	2194.7	2608.2	3010.9	3075.5	3302.1	3077.4	3056.3	3228.8	3060.8	2987.8	3253.7	3527.1	4.53
4 – domaćinstva	TJ	1207.3	1299.5	1515.0	1725.9	1676.7	1706.0	1677.5	1648.5	1795.8	1609.7	1662.5	1861.1	2084.6	4.66
5 – ostala potrošnja	TJ	865.1	895.2	1093.2	1285.0	1398.9	1596.1	1399.8	1407.8	1433.0	1451.1	1325.3	1392.6	1442.5	4.35
6 Ukupno	TJ	6632.8	6747.5	7114.0	7998.8	8311.2	8818.0	8292.2	8852.8	8992.7	9000.8	8918.8	8757.9	9697.0	3.22
(b) udjeli sektora															
1 Industrija	%	49.4	46.9	41.1	41.8	43.3	43.3	40.7	44.9	45.3	46.7	46.0	42.3	44.0	
2 Promet	%	19.4	20.6	22.3	20.6	19.7	19.3	22.2	20.6	18.8	19.3	20.5	20.6	19.6	
3 Opća potrošnja	%	31.2	32.5	36.7	37.6	37.0	37.4	37.1	34.5	35.9	34.0	33.5	37.2	36.4	
4 – domaćinstva	%	18.2	19.3	21.3	21.6	20.2	19.3	20.2	18.6	20.0	17.9	18.6	21.3	21.5	
5 – ostala potrošnja	%	13.0	13.3	15.4	16.1	16.8	18.1	16.9	15.9	15.9	16.1	14.9	15.9	14.9	
6 Ukupno	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

3 = 4 + 5; 6 = 1 + 2 + 3;



Slika 6. Energija predana potrošačima po sektorima korištenja u općini Osijek



Slika 7. Udjeli oblika energije predane potrošačima i sektori korištenja u općini Osijek

Udjeli u strukturi po sektorima korištenja ukupne energije u karakterističnim godinama i prosječan godišnji rast ukupne energije u pojedinom sektoru u cijelom razdoblju, na području općine Osijek, ostvareni su:

Sektor korištenja	Struktura %			Prosječna stopa rasta 87/75
	1975.	1980.	1987.	
— industrija	49,4	43,3	44	2,24
— promet	19,4	19,3	19,6	3,30
— opća potrošnja	31,2	37,4	36,4	4,53
— domaćinstva	18,2	19,3	21,5	4,66
Ukupno	100,0	100,0	100,0	3,22

Izvor: tablica 4.

(Napomenimo opet: opća potrošnja obuhvaća domaćinstva, a ona su u prethodnoj tablici iskazana i izdvojeno.)

Na samom početku promatranog razdoblja, od 1975. do 1978. godine, visok ukupni rast energije naglašene se ostvaruje rastom u sektoru domaćinstva (prosječna stopa rasta u tim godinama preko 12 %) i prometa (preko 8 %). To je doba kada industrija pada s približno 50 %-tnog na približno 40 %-tni udio, rastući prosječnom stopom ispod 5 %. Međutim, još u razdoblju visokog rasta ukupne energije, do 1980. godine, potrošnja u domaćinstvima i prometu posustaje i već iza 1978. godine prelazi u fazu bitno smanjenog rasta. To kod industrije nastupa nakon 1980. godine (čime i ukupna kretanja ostvaruju usporenje nakon te godine).

Takve osobitosti kretanja u pojedinim sektorima korištenja najbolje se uočavaju izdvajanjem pojedinih podrazdoblja, karakterističnih za taj sektor po velikom rastu i po smanjenom rastu korištenja energije i isticanjem ostvarenih prosječnih godišnjih stopa rasta:

Sektor rasta	Veliki rast		Smanjeni rast		Nagli rast	
	razdoblje	stopa	razdoblje	stopa	razdoblje	stopa
— industrija	70–80	4,81	80–87	1,62	86–87	15,30
— promet	75–78	8,55	78–87	1,60	—	—
— opća potrošnja	75–79	10,37	79–87	1,73	85–87	8,65
— domaćinstva	75–78	12,06	78–87	2,12	85–87	11,98
Ukupno	75–80	5,86	80–87	1,37	86–87	10,72

Izvor: tablica 4.

Posljednjih nekoliko promatranih godina (osim 1987) nastupa pad korištenja energije predane industriji, neznatni rast u prometu i naglašeniji rast u domaćinstvima (osobito 1986. i 1987. godine). U svim sektorima, osim prometa, ostvaren je nagli rast u 1987. godini. Na taj način najbrži rast u cijelom razdoblju ostvaren je u domaćinstvima, iznatprosječan u prometu, a najsporiji u industriji. U podrazdoblju smirenijeg rasta takva nepovoljna kretanja su zadržana.

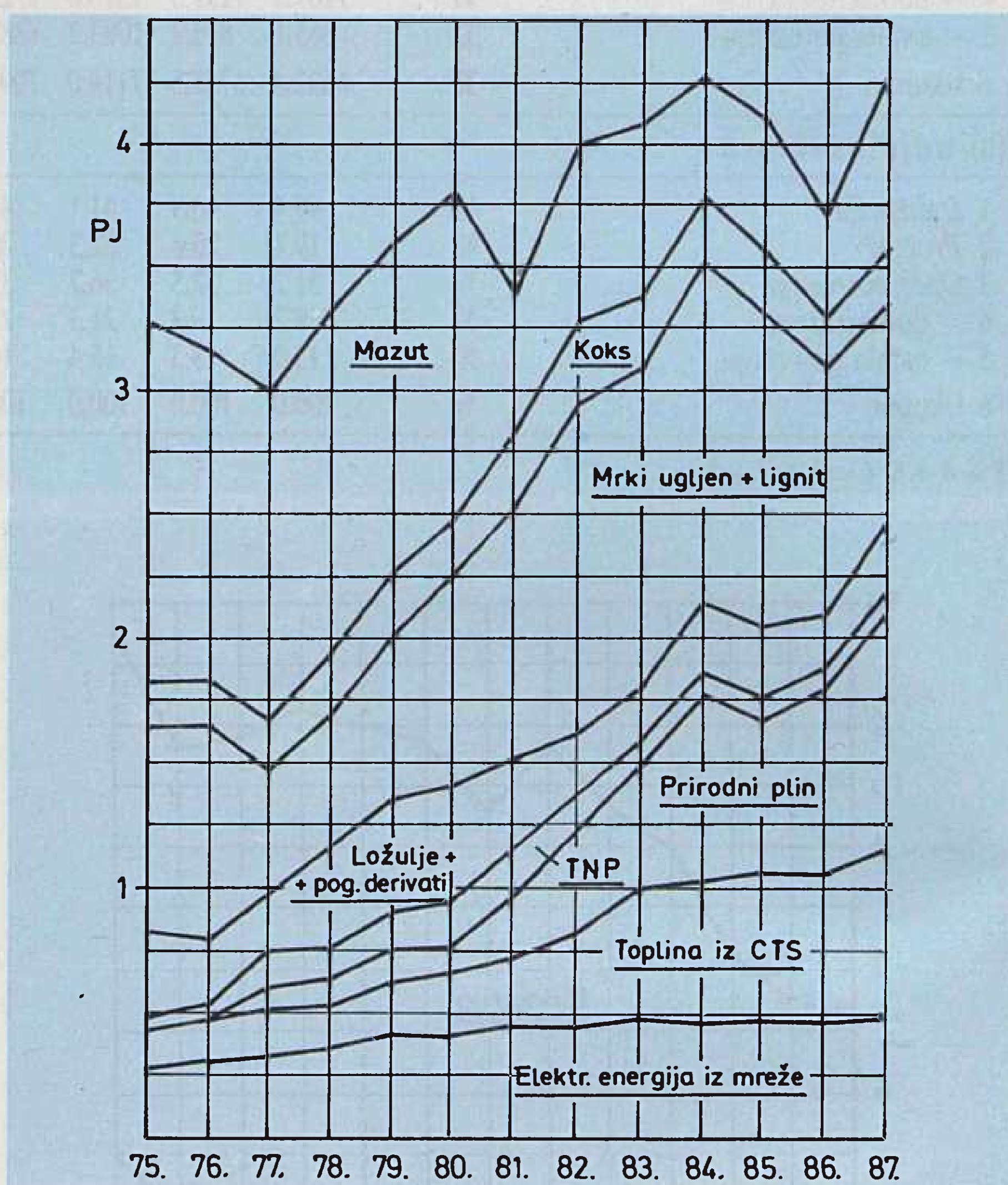
b) Kretanja u industriji

Promjene korištenja pojedinih oblika energije u industriji općine Osijek u razdoblju od 1975. do 1987.

godine (u slijedu od najbržeg rasta do najvećeg pada) iskazane prosječnim godišnjim porastom i sadašnje stanje jest (%):

Oblik energije u industriji	Struktura 1975.	Stopa rasta 1987/75.	Struktura 1987.
— plinovita goriva	1,9	+26,30	23,7
— toplina iz CTS	4,5	+13,61	15,9
— električna energija iz mreže	8,8	+4,42	11,3
— kruta goriva	25,4	+2,38	25,8
— tekuća goriva	59,5	–5,44	23,3
Svi oblici energije	100	2,24	100

Veoma je povoljno, s ekološkog i energetskeg stajališta, ostvareno iznatprosječno povećanje korištenja povoljnijih oblika energije, kao što je povoljno i bitno smanjenje korištenja tekućih goriva s ekonomskog i ekološkog stajališta. Vidi sliku 8.



Slika 8. Energija predana industriji u općini Osijek (u industriji nije uključena TE-TO)

Posljednjih godina, od 1984, smanjuje se korištenje krutih goriva u industriji na račun stanovitog oživljavanja korištenja tekućih goriva, osobito 1987. godine. Prema veličini korištenja pojedinih oblika energije, neke industrijske organizacije u općini Osijek svojim presudnim udjelom naprosto određuju ukupna kretanja u industrijskoj pa i ukupnoj potrošnji energije. Takvih 13 industrijskih potrošača energije sudjeluje, u ukupno preko 50 industrijskih potrošača koji se pojedinačno iskazuju na području općine Osijek, s nešto više od 20 % ukupnog broja. Oni su 1987. koristili oko 2/3 ukupne energije u industriji općine Osijek ili preko 1/4 ukupne energije na području općine Osijek (preko 2,8 PJ).

Najveći industrijski korisnici energije su Tvornica šećera, u sastavu IPK Osijek (mrki ugljen, mazut, koks), i pojedine tvornice u sastavu OLT-Osijek (koks, TNP, tekuće gorivo bez mazuta, električna energija). Ostali veliki korisnici energije u industriji su oni kod kojih se prethodno obavlja transformacija preuzetog oblika energije u toplinski oblik (toplu vodu do 100 °C, vrelu vodu preko 100 °C i paru). U dvije organizacije proizvodi se i električna energija u spojenom procesu (Tvornica šećera i Drava, tvornica žigica).

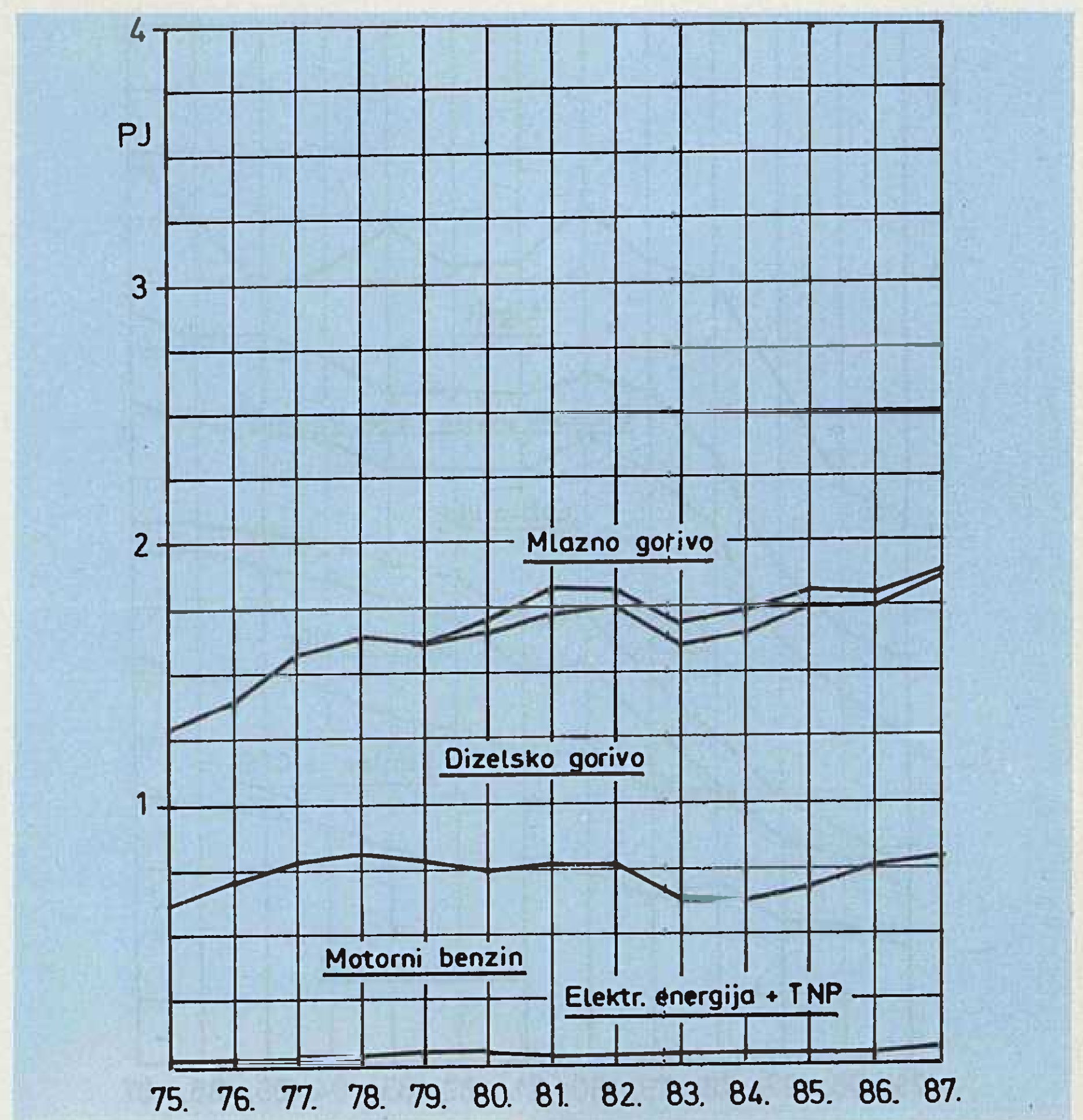
Kada se uspoređi ostvarena prosječna stopa rasta korištenja energije u industriji (2,24 %) s prosječnim rastom fizičkog obujma industrijske proizvodnje (2,94 %) na području općine Osijek, mora se utvrditi da industrija ostvaruje racionalnije korištenje energije u promatranom razdoblju, usprkos otežavajućim okolnostima. Čak i u podrazdoblju stagniranja – pada proizvodnje, od 1982. do 1986. godine, takav povoljan odnos energija/industrijska proizvodnja je očuvan: prosječna stopa pada energije u industriji (-1,72 %) veća je od prosječnog pada fizičkog obujma industrijske proizvodnje (-0,24 %).

c) Kretanja u prometu

Promjene korištenja pojedinih vidova energije predanih prometu na području općine Osijek, u razdoblju 1975. do 1987. godine, iskazane prosječnim godišnjim stopama rasta i sadašnje stanje je (%):

Vid energije u prometu	Struktura 1975.	Stopa rasta 87/75.	Struktura 1987.
– tekući naftni plin	0,2	+26,22	1,9
– dizelsko gorivo	52,4	+3,97	56,7
– motorski benzin	46,2	+1,92	39,3
– električna energija	1,2	0,00	0,8
– mlazno gorivo (1987/1980)	–	-3,81	1,3
Svi oblici energije	100,00	+3,30	100,00

Ovdje treba pripomenuti da TNP danas sudjeluje s manje od 2 % u energiji prometa, međutim rast njegova korištenja kao pogonskog sredstva za automobile je znatan, osobito ako se ima na umu da je već



Slika 9. Energija predana prometu u općini Osijek

jednom (1980) praktički ostvarena potrošnja iz 1987. godine.

Povoljno je što dizelska goriva znatno brže rastu od motorskog benzina, jer to znači da prevladava rast privrednih vozila nad vozilima za osobni promet (ili se kod ovih značajnije povećao udjel dizel-motora u odnosu na benzinske motore). Prema potrošnji električne energije, nepovoljno je da tramvajski promet – u toku punih 12 godina – neprekidno stagnira. Vidi sliku 9.

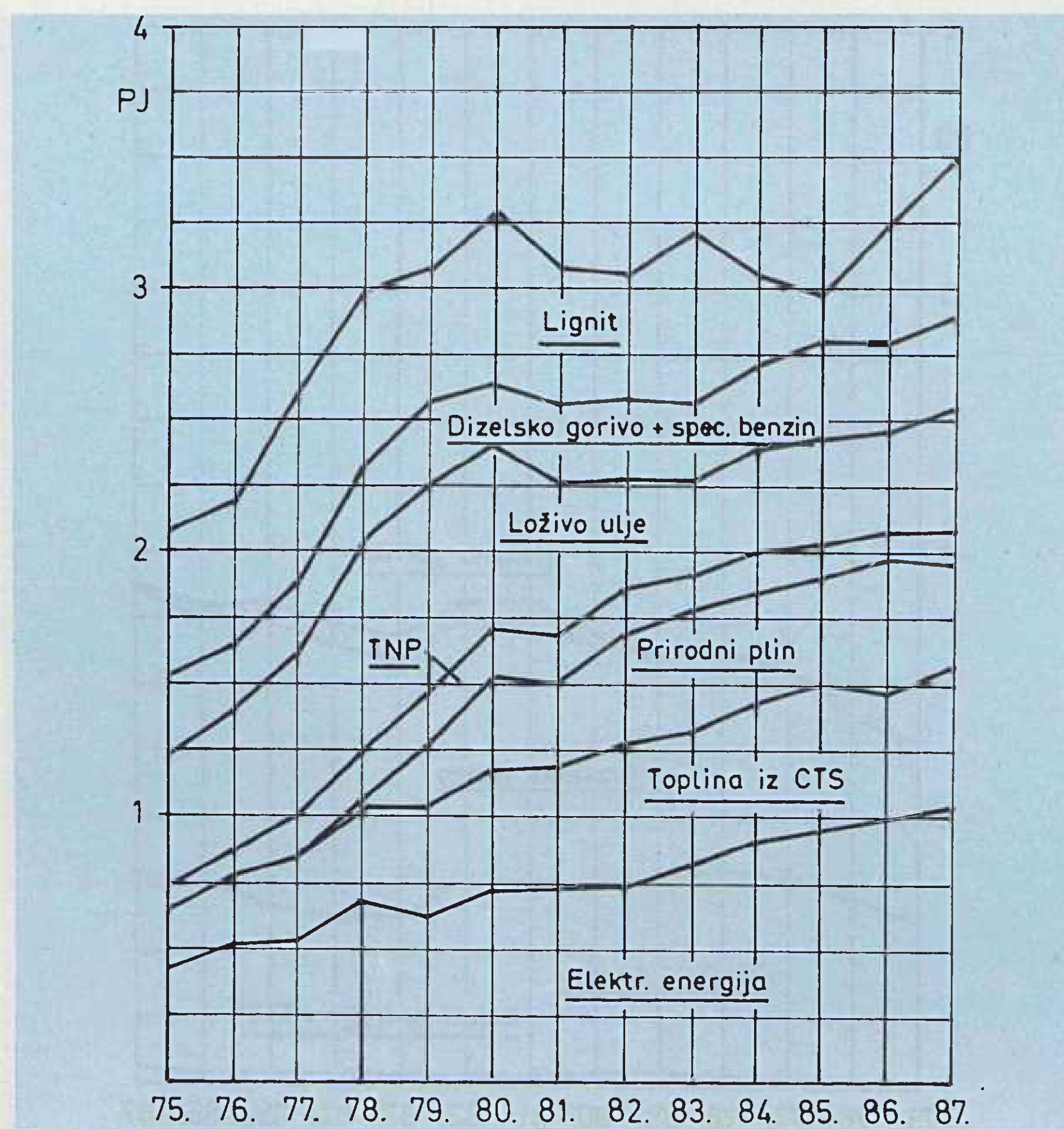
d) Kretanja u općoj potrošnji

Prosječan godišnji rast pojedinih oblika energije predanih općoj potrošnji (domaćinstva + ostala potrošnja), te samo domaćinstvima ostvaren u razdoblju od 1975. do 1987. godine i struktura u 1987. godini na području općine Osijek (%):

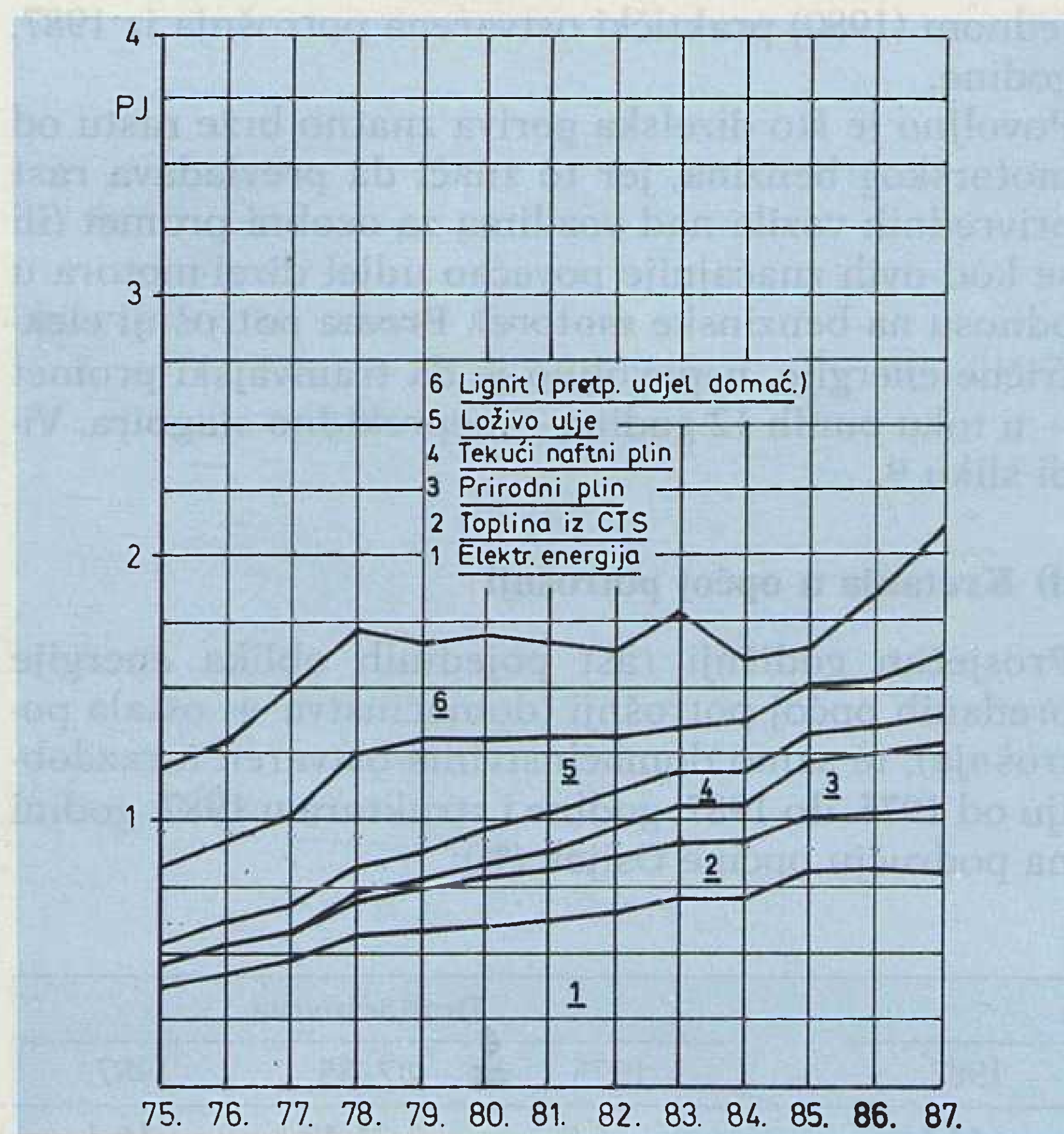
Oblik energije	Opća potrošnja			Domaćinstva		
	1975.	87/75	1987.	1975.	87/85	1987.
– plinovita goriva	4,4	+15,47	14,6	6,5	+31,48	16,4
– toplina iz CTS	10,7	+7,64	15,2	7,7	+8,56	12,0
– električna energija	21,3	+7,43	29,6	3,8	+6,48	39,1
– tekuća goriva	37,0	+0,47	23,0	22,1	-0,78	11,7
– kruta goriva	16,5	+1,00	17,6	31,9	+1,00	20,0
Svi oblici energije	100,0	+4,53	100,0	100,00	+4,66	100,00

Značajno je što najbrže rastu povoljniji oblici energije, a električna energija – u tome – ne pretjerano. Svakako, to je omogućila toplifikacija i plinifikacija grada. Povoljno je i to da je ostvaren nešto brži rast korištenja plinovitih goriva i električne energije u ostaloj potrošnji nego u domaćinstvima. Čak posljed-

nje tri promatrane godine stagnira korištenje električne energije u domaćinstvima. Međutim, ne uz bitnije povećanje korištenja prirodnog plina i topline, nego ponajprije povećanjem korištenja lignita – što je, vrlo vjerojatno, ekonomski motivirano, ali ekološki nepoželjno. Vidi slike 10. i 11.



Slika 10. Energija predana općoj potrošnji (domaćinstva + ostala potrošnja) u općini Osijek



Slika 11. Energija predana domaćinstvima u općini Osijek

9. KRETANJA PO OBLICIMA KORIŠTENE ENERGIJE

Kako bi se uočila kretanja koja su se zbila u promatranom razdoblju u pogledu korištenja pojedinih oblika energije i vidova njihove isporuke, iznosi se struktura oblika energije u karakterističnim godinama, te ostvarena prosječna stopa rasta korištenja u cijelom razdoblju:

Oblik energije	Struktura %			Prosječna stopa rasta 87/75
	1975.	1980.	1987.	
— električna energija	11,2	13,2	15,9	+ 6,26
— toplina iz CTS	5,6	8,2	12,5	+ 10,45
— plinovita goriva	2,3	9,7	16,1	+ 21,21
— tekuća goriva	60,1	53,0	37,7	- 0,72
— kruta goriva	20,8	15,9	17,7	+ 1,86
Ukupno	100,0	100,0	100,0	+ 3,22

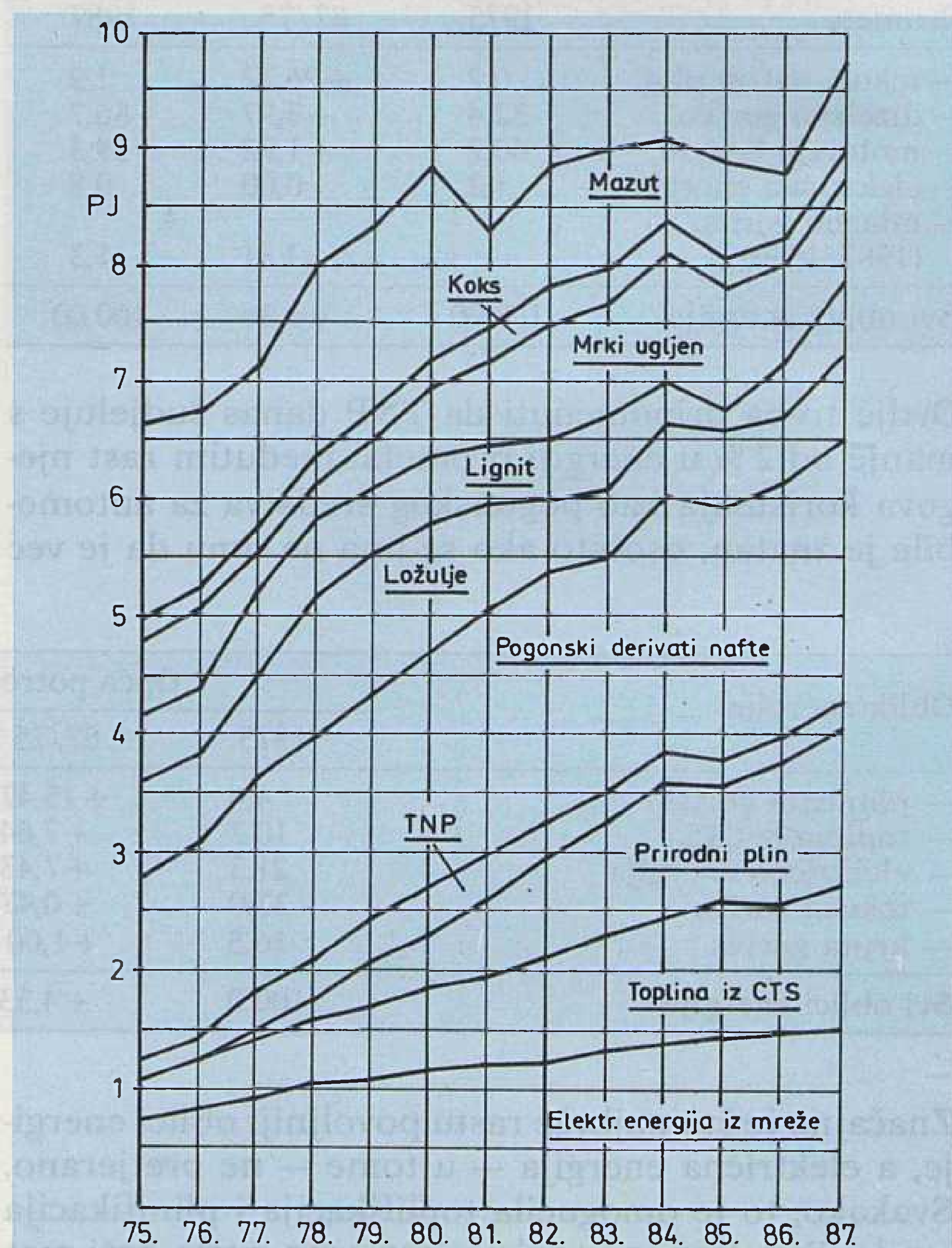
Izvor: tablica 5.

(Napomenimo da se iskazana prosječna stopa rasta odnosi na godišnje količine energije u prirodnim jedinicama, a ne rast strukturnih udjela iskazanih postocima.)

Potpuni podaci o kretanjima su u tablici 5. Strukturne promjene prikazane su slikom 7, a ukupna kretanja slikom 12.

Razdoblje visokog rasta ukupne energije, do 1980. godine, jest i razdoblje pretežnog udjela tekućih goriva: gotovo 60 % do 1978. godine. Rast korištenja plinovitih goriva i topline, dotada, ostvaruje se naglašenijim smanjenjem korištenja krutih goriva. U tom razdoblju udio krutih goriva smanjuje se s oko 21 % na otprilike 14 % (1979).

Početak razdoblja smanjenog rasta ukupne energije od 1981. do 1983. godine poklapa se s odlučnijim opadanjem udjela tekućih goriva, ponovnim rastom udjela krutih goriva, upornim rastom korištenja topline iz centraliziranog toplinskog sistema i naročito brzim rastom korištenja prirodnog plina. Kruta gori-



Slika 12. Energija predana potrošačima po oblicima u općini Osijek

Tablica 5. Energija predana potrošačima prema oblicima korištenja u općini Osijek

Oblik energije		1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	1987.	%/god.
(a) iskaz vrijednostima															
1 El. energija iz mreže	TJ	744.5	834.1	902.5	1059.1	1084.0	1161.4	1216.1	1214.6	1331.6	1321.9	1449.0	1485.4	1542.2	6.26
2 Toplina iz CTS	TJ	369.0	415.6	493.0	540.0	621.7	722.4	748.6	927.2	1023.9	1080.8	1145.5	1071.8	1216.8	10.45
3 Prirodni plin	TJ	—	0.0	102.2	133.6	365.1	455.6	564.7	831.1	931.0	1172.2	1051.2	1252.9	1344.3	17.69
4 Tekući naftni plin	TJ	155.5	163.0	287.0	314.6	371.1	403.4	404.4	315.8	250.1	266.6	210.0	207.6	219.5	2.91
5 Plinovita goriva	TJ	155.5	163.0	389.2	448.1	736.2	859.0	969.1	1146.9	1181.1	1438.8	1261.2	1460.5	1563.8	21.21
6 Pogonski derivati nafte	TJ	1554.6	1648.5	1860.9	1933.5	1897.2	1970.0	2095.5	2120.9	1995.5	2085.4	2163.4	2124.1	2250.4	3.13
7 Loživo ulje	TJ	818.7	788.0	819.6	1186.2	1237.7	1137.8	927.4	629.8	557.2	638.2	659.4	558.4	707.0	-1.21
8 Mazut	TJ	1610.6	1493.4	1409.2	1625.0	1547.3	1563.3	822.3	997.0	990.1	724.9	769.4	571.8	696.1	-6.75
9 Tekuća goriva	TJ	3983.9	3930.0	4089.8	4744.7	4682.2	4671.1	3845.2	3747.8	3542.8	3448.5	3592.2	3254.2	3653.5	-0.72
10 Koks	TJ	180.0	186.7	201.5	239.8	243.5	224.5	296.6	327.1	290.6	295.3	243.8	203.3	231.6	2.12
11 Mrki ugljen	TJ	650.0	673.6	279.8	282.2	417.2	600.8	692.8	969.0	966.4	1111.8	1032.4	827.1	868.9	2.45
12 Lignit	TJ	550.0	544.6	758.3	684.9	526.5	579.0	523.9	520.3	656.4	333.7	194.8	455.7	620.2	1.01
13 Kruta goriva	TJ	1380.0	1404.9	1239.6	1206.8	1187.2	1404.2	1513.3	1816.4	1913.4	1710.8	1470.9	1486.1	1720.7	1.86
14 Ukupno	TJ	6632.8	6747.5	7114.0	7998.8	8311.2	8818.0	8292.2	8852.8	8992.7	9000.8	8918.8	8757.9	9697.0	3.22
(b) udjeli oblika															
15 El. energija iz mreže	%	11.2	12.4	12.7	13.2	13.0	13.2	14.7	13.7	14.8	14.7	16.2	17.0	15.9	
16 Toplina iz CTS	%	5.6	6.2	6.9	6.8	7.5	8.2	9.0	10.5	11.4	12.0	12.8	12.2	12.5	
17 Plinovita goriva	%	2.3	2.4	5.5	5.6	8.9	9.7	11.7	13.0	13.1	16.0	14.1	16.7	16.1	
18 Tekuća goriva	%	60.1	58.2	57.5	59.3	56.3	58.0	46.4	42.3	39.4	38.3	40.3	37.2	37.7	
19 Kruta goriva	%	20.8	20.8	17.4	15.1	14.3	15.9	18.2	20.5	21.3	19.0	16.5	17.0	17.7	
20 Ukupno	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

5 = 3 + 4; 13 = 10 + 11 + 12; 17 = (5/14).100; 18 = (9/14).100; 19 = (13/14).100

va postižu 1983. godine opet udio otprilike 21 %, a tekuća goriva dopijevaju na oko 40 %.

Niz posljednjih godina, od 1983, nestalan je u pogledu tendencija. Najprije ponovo opada udio krutih goriva a tekućih oscilirajuće stagnira, da bi u posljednjoj godini promatranja (1987) udio i krutih i tekućih goriva porastao. Time udio povoljnijih oblika (električne energije iz mreže, topline iz CTS i plinovitih goriva) sve do 1986. godine postupno raste, na oko 46 %, da bi posljednje godine pao na ispod 45 %. Zanimljivo je razmotriti brzinu i smjer promjene korištenja pojedinog oblika energije u pojedinim sektorima korištenja. Prosječan godišnji rast, ostvaren za pojedini oblik energije i vid njegove isporuke u pojedinom sektoru korištenja, u razdoblju od 1975. do 1987. godine jest:

Oblik energije i vid isporuke	Prosječan godišnji rast (%)				
	ukupno	ind.	promet	opća	domać.
Električna energija	6,26	4,42	0,00	7,43	6,48
Toplina iz CTS	10,45	13,61	—	7,64	8,56
— prirodni plin/ ¹	17,69	29,04	—	6,39	31,48
— tekući naftni plin	2,91	0,43	26,22	2,17	3,40
Plinovita goriva	21,21	26,30	26,22	15,47	13,10
— pogonski deriv. nafte	3,13	3,05	3,18	3,00	—
— loživo ulje	-1,21	-1,50	—	-1,05	-0,78
— mazut	-6,75	-6,75	—	—	—
Tekuća goriva	-0,72	-5,44	3,18	0,47	-0,78
— koks	2,12	2,12	—	—	—
— mrki ugljen	2,45	2,45	—	—	—
— lignit	1,01	—	—	1,00	1,00
Kruta goriva	1,86	2,38	—	1,00	1,00
Sveukupno	3,22	2,24	3,30	4,53	4,66

1/1987. prema 1979. godini

Izrazito visok ukupan prosječan rast imaju plinovita goriva, preko 20 %/god. U sektoru industrije to je vi-

še od 26 %, prometa isto toliko (tekući naftni plin), a kod domaćinstava približno 13 %.

Najveći pad korištenja ostvaren je kod mazuta, čak -6,75 % god. Ukupno, tekuća goriva opadala su prosječnom godišnjom stopom od oko -0,7 %. U tome pogonski derivati nafte su, dakako, rasli (nešto preko 3 %). S obzirom na objektivnu udaljenost od izvora krutih goriva, ostvaren je neočekivano povoljan rast njihova korištenja (nešto ispod 2 %), ekološki svakako nepoželjan, no ekonomski uvjetovan (ponajviše smanjenjem korištenja tekućih goriva u industriji i djelomice susprezanjem od električnog grijanja u općoj potrošnji).

Godine 1987. postignuta je sljedeća struktura korištenja pojedinih oblika energije i vidova njihove isporuke, ukupno i u pojedinim sektorima korištenja na području općine Osijek:

Oblik energije i vid isporuke	Struktura 1987 (%)				
	ukupno	ind.	promet	opća	domać.
Električna energija	15,9	11,3	0,8	29,6	39,1
Toplina iz CTS	12,5	15,9	—	15,2	12,0
— prirodni plin	13,9	22,2	—	11,3	10,8
— tekući naftni plin	2,3	1,5	1,9	3,4	5,6
Plinovita goriva	16,1	23,7	1,9	14,6	16,4
— pogonski deriv. nafte	23,2	1,0	97,3	10,2	—
— loživo ulje	7,3	6,0	—	12,8	11,7
— mazut	7,2	16,3	—	—	—
Tekuća goriva	37,7	23,3	97,3	23,0	11,7
— koks	2,4	5,4	—	—	—
— mrki ugljen	9,0	20,3	—	—	—
— lignit	6,4	0,0	—	17,6	20,8
Kruta goriva	17,7	25,8	—	17,6	20,8
Sveukupno	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(Napomena: opća potrošnja = domaćinstva + ostalo)

Povoljno je što je u industriji natprosječni udjel ostvaren čak kod tri oblika energije: topline iz CTS, plinovitih goriva i krutih goriva. Nepovoljan je vrlo visok udio električne energije u domaćinstvima a — u krajnjoj liniji — i previsok udjel krutih goriva u domaćinstvima. Kada se ima na umu da ogrjevno drvo nije obuhvaćeno, ukupni je udio krutih goriva i veći negoli je prikazano. Domaćinstva su, dakle, naglašeno orijentirana ekstremima: najplemenitijem i najneplemenitijem obliku energije.

Godine 1987. ostvaren je sljedeći raspored korištenja pojedinog oblika energije i vidova njegove isporuke po pojedinim sektorima korištenja na području općine Osijek:

Oblik energije	Struktura 1987 (%)				
	ukupno	ind.	promet	opća	domać.
Električna energija	100	31,4	1,0	67,6	52,8
Toplina iz CTS	100	55,8	—	44,2	20,6
— prirodni plin	100	70,5	—	29,5	16,8
— tekući naftni plin	100	29,5	16,4	54,1	53,2
Plinovita goriva	100	64,7	2,3	33,0	21,9
— pogonski deriv. nafte	100	1,9	82,1	16,0	—
— loživo ulje	100	36,4	—	63,6	34,4
— mazut	100	100,0	—	—	—
Tekuća goriva	100	27,2	50,6	22,2	6,7
— koks	100	100,0	—	—	—
— mrki ugljen	100	100,0	—	—	—
— lignit	100	0,0	—	100,0	70,0
Kruta goriva	100	64,0	—	36,0	25,2
Sveukupno	100	44,0	19,6	36,4	21,5

(Napomena: opća potrošnja = domaćinstva + ostalo)

Opet se vidi: čak 2/3 prirodnog plina koristi se u industriji, slično krutih goriva, i preko polovine topline iz centralnog toplinskog sistema. Isto tako, i na ovaj način gledano: domaćinstva koriste čak preko polovine električne energije! Već je ukazano na industrijske organizacije koje zajednički koriste preko 1/4 ukupne energije na području općine Osijek u 1987. godini. Pojedine oblike energije koriste neke od njih veoma naglašeno (praktički sve količine):

— koks	100% ukupne energije	3 organizacije
— mrki ugljen	90%	Tvornica šećera
— mazut	87%	3 organizacije

Prirodni plin, tekući naftni plin i toplinu iz CTS koristi ukupno 6 organizacija u količini većoj od četvrtine ukupne potrošnje svakog od tih oblika.

U cjelokupnom promatranom razdoblju kretanje udjela oblika energije vrlo su povoljna:

- tekuća goriva opala su sa 60-ak postotaka na ispod 40 postotaka
- zajednički udio povoljnijih oblika (električne energije, topline iz CTS i plinovitih goriva) porastao je s ispod 20% na gotovo 45% potkraj razdoblja
- kruta goriva varirala su između 10 i 20-ak postotaka, da bi sadašnje stanje bilo oko 18%.

Takva kretanja pozitivna su s energetske, ekonomske i ekološke stajališta:

- udio plinovitih goriva s nekoliko postotaka narastao je na gotovo 20%, a ulaze s najmanje transformacija u fazu finalnog korištenja
- povoljan rast korištenja plina i topline iz CTS omogućio je smireniji rast udjela električne energije, kojoj su prethodne transformacije energetske najneprihvatljivije
- tekuća goriva osiguravaju se sve većim dijelom uvozom, stoga ostvareno smanjenje njihova korištenja ima veliku ekonomsku vrijednost
- centralizirana proizvodnja topline u stalnom je rastu; smanjenje korištenja tekućih goriva, stagnacija krutih goriva i rast plinovitih goriva imaju ekološku vrijednost,
- smanjenje udjela tekućih i krutih goriva znači povećanje efikasnosti transformacija energije pri finalnom korištenju potrošača.

Gledajući na ukupne izmjene nastale u strukturi oblika korištene energije, može se govoriti o naglašeno pozitivnim kretanjima od 1979. godine. Dotada, kretanja su bila neutemeljena na prilikama: uporno se održavalo korištenje tekućih goriva, i to punih pet godina od prve svjetske naftne krize (1973). Radikalno smanjenje nastupa tek od druge svjetske naftne krize (1979/1980).

Zanimljiv je položaj tekućeg naftnog plina: smanjenjem korištenja »otvara vrata« prirodnom plinu.

Korištenje loživog ulja postupno opada nakon 1979. godine, prepuštajući povratak ugljenu i lignitu. Slično je i s mazutom. Korištenje pogonskih derivata nafte raste skromno; polovinom razdoblja taj rast je uglavnom posljedica nadošlog korištenja mlaznog goriva radi opskrbe novoizgrađenog aerodroma (od 1980. godine).

10. USPOREDBE

Razina ukupne energije predane potrošačima na području općine Osijek od oko 9 PJ, u odnosu na oko 1 000 PJ predanih potrošačima u Jugoslaviji polovinom osamdesetih godina, čini približno 0,9%-tni udio općine Osijek u Jugoslaviji. Kako broj stanovnika općine Osijek čini oko 0,7% stanovništva Jugoslavije, to se po stanovniku općine Osijek energija koristi za oko 25% više od prosječnog jugoslavenskog korištenja.

U odnosu na oko 250 PJ predanih potrošačima u SR Hrvatskoj polovinom osamdesetih godina, općina Osijek sudjeluje s otprilike 3,6%, a brojem stanovnika s približno 3,5%. Praktički, ostvaruje se podjednak intenzitet korištenja energije po stanovniku kao u SR Hrvatskoj.

Za ocjenu tendencija na području općine Osijek usporedimo kretanje s jugoslavenskim u posljednjih nekoliko godina (1986. godine u odnosu na 1982. godinu, jer s takvim se podacima raspolaže za Jugoslaviju). Prosječne stope rasta (1986/1982) pojedinih oblika energije ostvarene su:

Oblik energije	Osijek	Jugoslavija
– električna energija	5,15	4,64
– toplina	3,70	4,39
– plinovita goriva	6,23	1,36
– tekuća goriva	–3,47	1,55
– kruta goriva	–4,89	12,48
Svi oblici energije	–0,27	4,10

Izvor: Energetska bilanca Jugoslavije [4] i tablica 5.

Očito: ukupna su kretanja značajno povoljnija od jugoslavenskih, a među pojedinim oblicima najpovoljnija su kod tekućeg goriva. Najveće odstupanje od poželjnih kretanja, i od jugoslavenskog ostvarenja tih godina, jest u opadanju korištenja krutih goriva. No to nije neočekivano s obzirom na udaljenost općine Osijek od izvora opskrbe krutim gorivima, raspoloživost drugih oblika (prirodni plin i centralizirana proizvodnja topline u gradu) i – svakako – veći ekološki zahtjevi općine Osijek, kao urbanog središta, od prosječnih ekoloških zahtjeva na cijelom jugoslavenskom teritoriju.

Kretanje ukupne predane energije po sektorima (opet za godinu 1986. prema 1982. godini) za općinu Osijek i Jugoslaviju prikazuje ostvaren prosječni godišnji rast:

Sektor korištenja	Osijek	Jugoslavija
– industrija	–1,72	2,98
– promet	–0,34	9,40
– opća potrošnja	1,57	2,87
Svi sektori	–0,27	4,10

Izvor: Energetska bilanca Jugoslavije [4] i tablica 4.

U odnosu na Jugoslaviju, mogao bi se činiti nepovoljnim pad korištenja u industriji. Međutim, on je u općini Osijek povezan s padom industrijske proizvodnje u tom razdoblju (ostvarena stopa –0,24%). U Jugoslaviji je u tom razdoblju ostvarena stopa rasta fizičkog obujma industrijske proizvodnje od 3,36%. Vrlo je povoljna usporedba s rastom u prometu, a prihvatljivije je kretanje i u općoj potrošnji Osijeka prema Jugoslaviji.

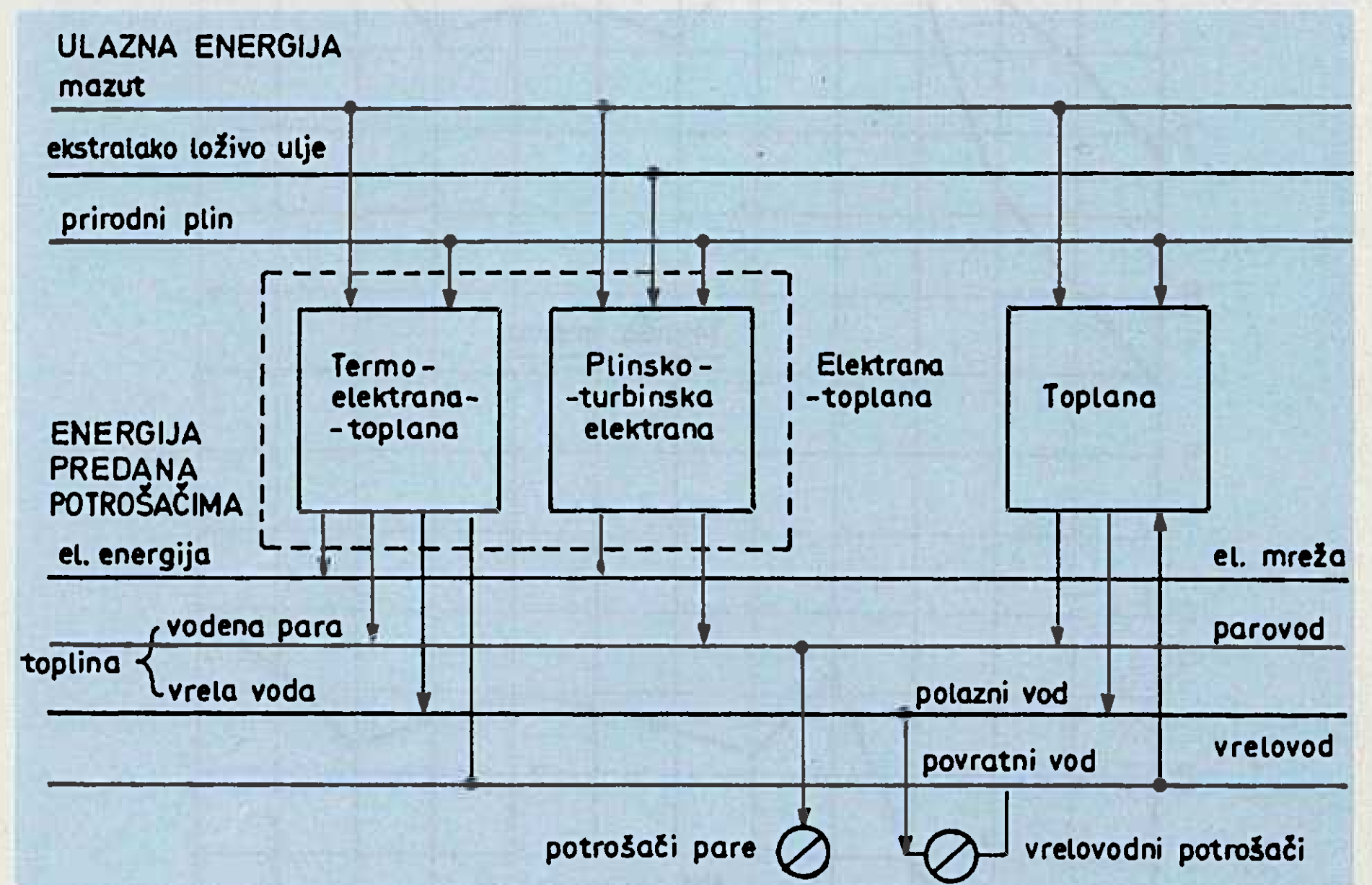
Razina korištenja ukupne energije u domaćinstvima po stanovniku za 25% je veća u općini Osijek od prosječnih jugoslavenskih prilika polovinom osamdesetih godina. Naime, u Jugoslaviji je ostvarena ta potrošnja oko 8 GJ/stan, a u općini Osijek oko 10 GJ/stan. Ostvaren je, dakle, isti omjer kao i za ukupnu energiju po stanovniku (općine Osijek prema Jugoslaviji).

11. ENERGETSKE TRANSFORMACIJE U TE-TO ELEKTROSLAVONIJE I UKUPNA ENERGIJA

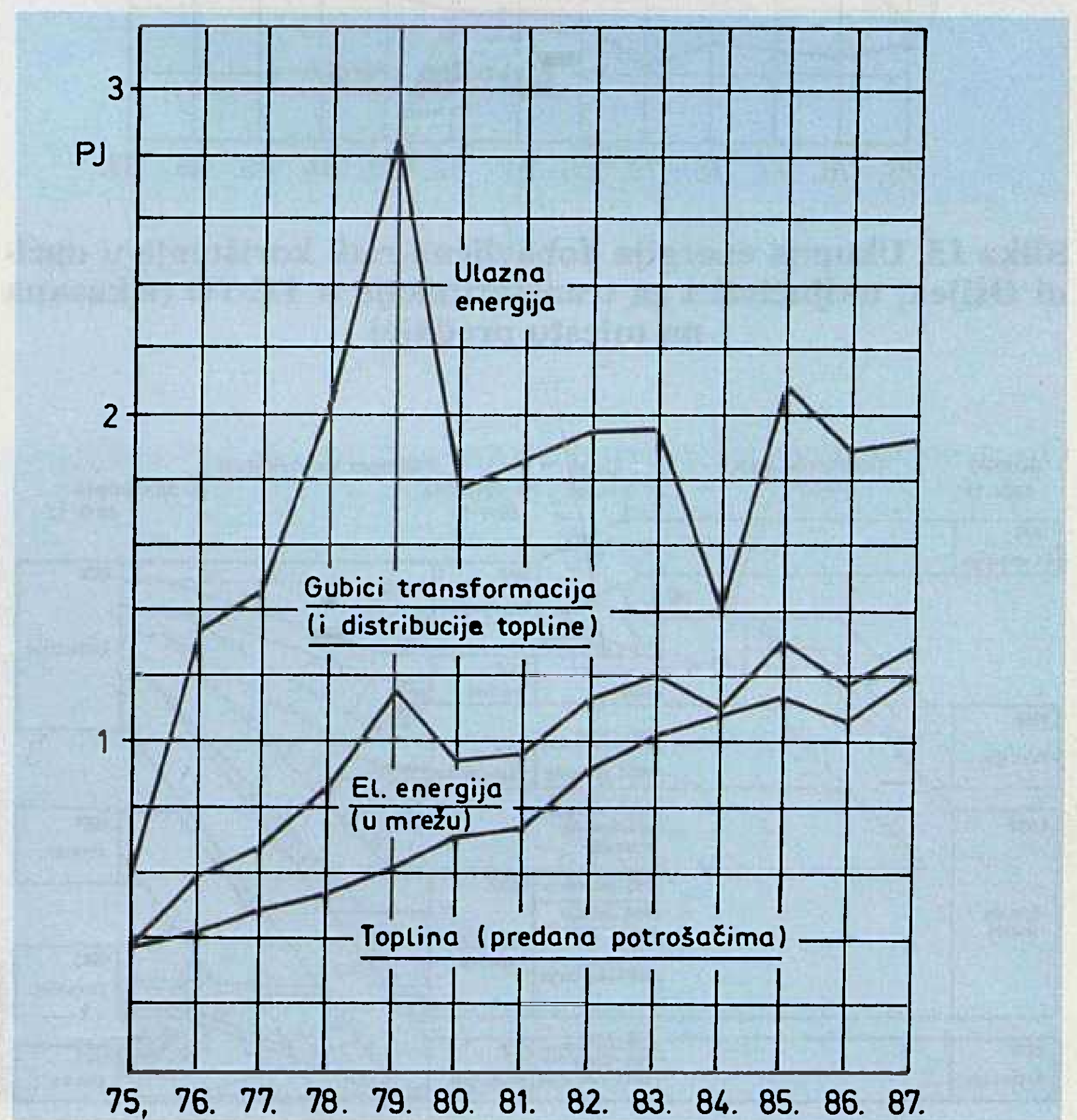
Premda to nije pretpostavljena razina promatranja, rad na prikupljanju podataka obuhvatio je i podatke o potrošnji pojedinih oblika ulazne energije u TE-TO Elektroslavonije. Dapače: u industrijskoj potrošnji pojedinog oblika energije, pri uobičajenim statističkim iskazivanjima, utrošene količine TE-TO pribroje-

ne su ostaloj industriji (te ih je u ovom radu trebalo izuzimati).

Shema energetske transformacije u TE-TO Elektroslavonije prikazana je slikom 13, a vrijednosti ulazne i izlazne energije ostvarene u promatranom razdoblju slikom 14.

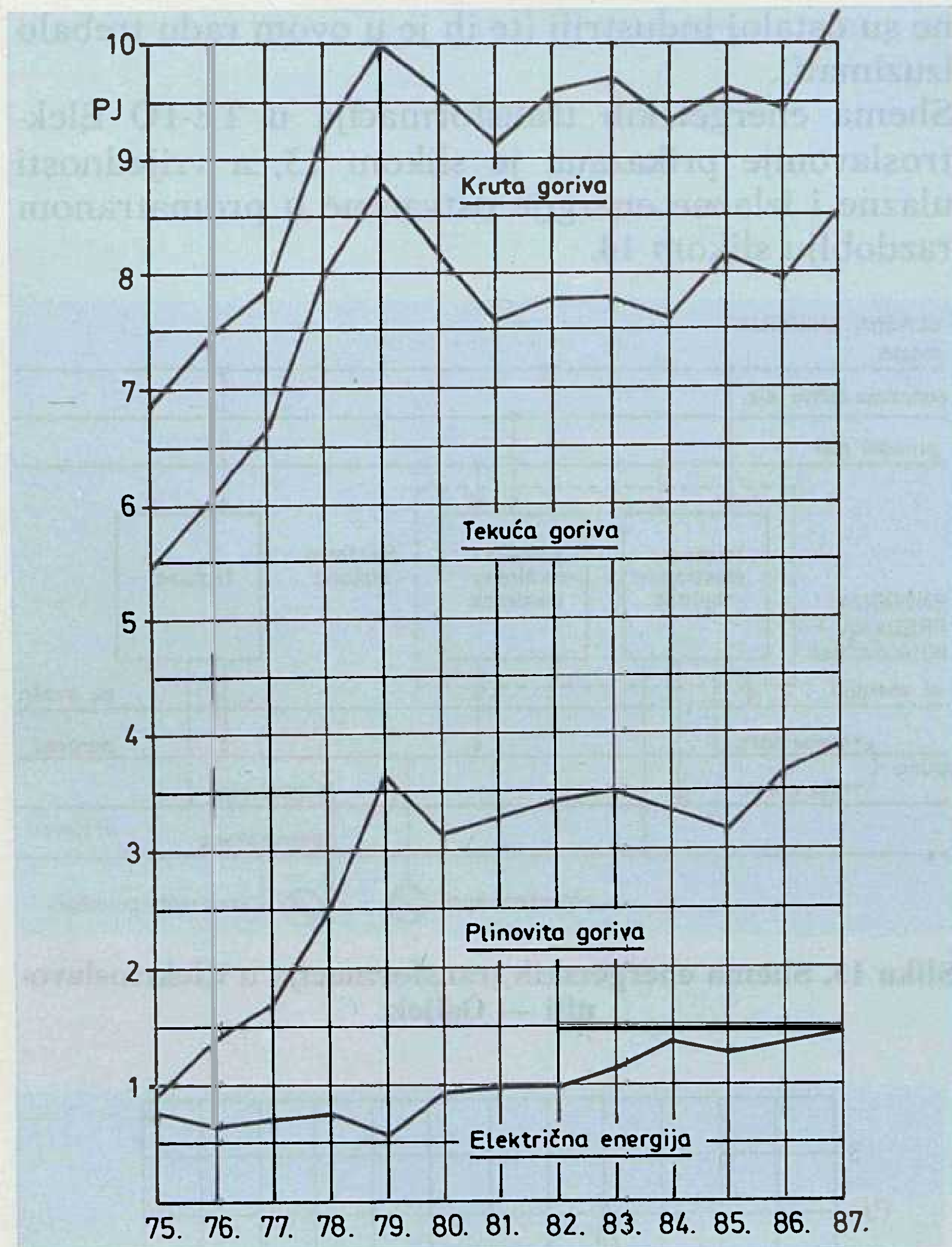


Slika 13. Shema energetske transformacije u Elektroslavoniji – Osijek

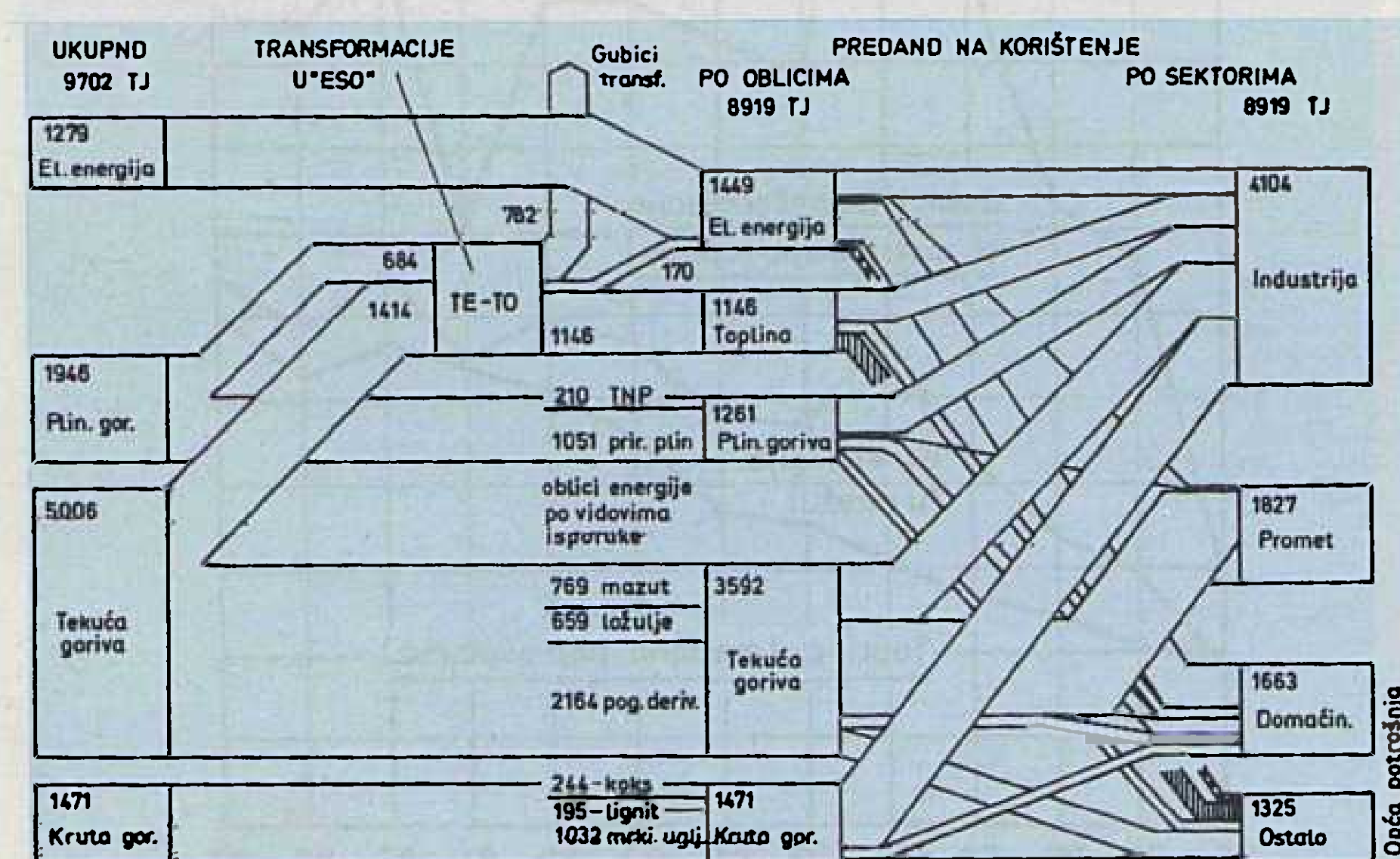


Slika 14. Energetske transformacije u TE-TO Elektroslavoniji Osijek, ulazna i predana energija

Moguće je, stoga, sagledati kretanje ukupne energije dobavljene na područje općine Osijek radi predaje potrošačima i za transformacije u TE-TO Elektroslavonije (slike 15. i 16). To nije i apsolutna razina ukupno dobavljene energije jer je energija predana potrošačima bilancirana u ovom radu na mjestu te predaje i stoga ne obuhvaća gubitke prijenosa, transformacije, distribucije, skladištenja i drugih manipulacija koje se zbivaju između mjesta dobave i mjesta predaje potrošačima. Ali kao približna veličina i pogotovo radi uočavanja njezina kretanja, može se razmatrati.



Slika 15. Ukupna energija dobavljena radi korištenja u općini Osijek, uključivši i za transformacije u TE-TO (iskazana na mjestu predaje)



Slika 16. Energetska bilanca općine Osijek 1985. godine (TJ)

Uz takve ograde, ukupno dobavljena energija i njezini pojedini oblici ostvarili su u 12-godišnjem promatranom razdoblju sljedeća kretanja (prosječne godišnje stope rasta) i strukturu u 1987. godini:

Oblik energije	1975	87/75	1987
— plinovita goriva	2,3	+25,95	24,1
— električna energija iz sistema	10,9	+5,71	14,1
— kruta goriva	20,2	+1,86	16,7
— tekuća goriva	66,6	+0,18	45,2
Ukupno dobavljena energija	100,0	+3,48	100,0

Dostignuta ukupna razina te energije je posljednje godine promatranja nešto preko 10 PJ. Kada bi se željela utvrditi njezina vrijednost na razini dobave, trebalo bi pridodati gubitke između mjesta preuzimanja i mjesta isporuke.

Potrošnja ulaznih oblika energije u TE-TO Elektroslavonije rasla je znatno brže od potrošnje u industriji ili od ukupne potrošnje energije, čak 11,5% prosječno godišnje, jer su u promatranom razdoblju proradila dva nova kapaciteta: PTE Osijek i TE-TO Osijek. Količina dobavljene energije znatno je povećana (smanjena) u onim godinama kada je bilo potrebno proizvesti više (manje) električne energije u TE-TO. Time se dobro ilustrira činjenica male energetske efikasnosti transformacije kemijske energije goriva u električni oblik (što se sa stajališta općine Osijek ne mora nužno valjano uočavati, jer se gotovo sve potrebne količine električne energije dobavljaju s drugih područja).

12. ZAKLJUČAK

U promatranom 12-godišnjem razdoblju, od 1975. do 1987. godine, prema rastu ukupne energije predane potrošačima na području općine Osijek, uočava se razdoblje višeg rasta energije (oko 6% god.) i nižeg rasta energije (oko 1,4% god.). Prelomna je 1980. godina.

Godine 1987. ukupna energija predana na korištenje bila je oko 9,7 PJ uz ostvaren visok rast prema prethodnoj godini od preko 8% (što je veliko odstupanje od višegodišnjeg prosječnog rasta osamdesetih godina; već spomenutih 1,4%). Glavne karakteristike tekućeg stanja u opskrbi potrošača na području općine Osijek energijom su (slika 16):

- industrija sudjeluje s više od 40%, promet s otprilike 20%, domaćinstva s više od 20%, a preostatak čini ostala potrošnja
- tekuća goriva sudjeluju u opskrbi s otprilike 38%, kruta goriva 18%, električna energija 16%, plinovita goriva 16%, a toplina iz centraliziranog toplinskog sistema 12%.

Ostvareni prosječan godišnji rast ukupne energije u cijelom 12-godišnjem promatranom razdoblju je nešto preko 3%. Kretanja po sektorima korištenja nisu povoljna: najveći rast ostvaren je u domaćinstvima (prosječno 4,7%), iznatprosječni rast u prometu (3,3%) a ispotprosječni u industriji (1,9%).

Usporedba ostvarenog prosječnog rasta ukupne energije (preko 3%) i pada realnog društvenog proizvoda (-0,13%) naglašeno je nepovoljna. Iz učinjene analize vidljivo je da uzrok nije u energetske-tehničkoj (fizičkoj) neefikasnosti industrije (jer se ona tokom promatranog razdoblja — kako je pokazano — poboljšavala). Uzrok je u neopravdano visokom rastu neproduktivnog korištenja energije (domaćinstva, dio ostale potrošnje) i — najvjerojatnije — u nedovoljnoj ekonomskoj efikasnosti korištenja svih resursa u privredi i industriji, pa tako i energije. Nedovoljno jedinica društvenog proizvoda ostvari se po jedinici bilo kojeg ulaznog resursa.

Razina potrošnje energije po stanovniku, kako ukupne, tako i u domaćinstvima, sredinom osamdesetih godina viša je za približno 25% od prosječne jugoslavenske, što bi se moglo smatrati prihvatljivim. Ali i kao upozorenje na potencijalne rezerve u općini Osijek u odnosu na jugoslavenske prilike. Inače, ta je razina u općini Osijek podjednaka s ostvarenjima u SR Hrvatskoj.

Kretanja u opskrbi Osijeka po oblicima energije predane potrošačima, u prethodnom gotovo 10-godišnjem razdoblju, vrlo su povoljna:

- bitno opadanje udjela tekućih goriva, sa 60-ak na ispod 40%
- uporan rast povoljnijih oblika energije (električne energije, topline iz centraliziranog toplinskog sistema i plinovitih goriva)
- solidno korištenje krutih goriva.

Kad bi se, u zaključku, trebalo izdvojiti najpovoljnije što je ostvareno, onda je to postizanje gotovo 50%-tnog udjela povoljnijih oblika energije u opskrbi Osijeka. Najnepovoljnije: prebrzi rast korištenja ukupne energije u domaćinstvima i visok udjel električne energije u snabdijevanju domaćinstava. Također, upozoravajuće: visok rast svih oblika energije (osim prirodnog plina) u svim sektorima (nešto manje kod prometa) 1987/1986. godine.

LITERATURA

- [1] Grupa autora: »Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije«, Informator; Zagreb, 1983.
- [2] Nacrt programa razvoja energetike SFRJ do 2000. godine s vizijom razvoja do 2020. godine, Beograd, juna 1987.
- [3] Prijedlog osnova dugoročnog razvoja energetike SR Hrvatske, Delegatski vjesnik 398/87.
- [4] Energetski bilans SFR Jugoslavije, za godine 1982. do 1986, Savezni zavod za statistiku
- [5] Statistički godišnjak SFRJ, godišta 1981. do 1987, Savezni zavod za statistiku
- [6] Statistički godišnjak općine Osijek, godišta 1975. do 1986, Zavod za društveno planiranje i statistiku općine Osijek
- [7] Statistički godišnjak SRH godišta 1981, 1983. i 1987, Republički zavod za statistiku
- [8] Cene jul-decembar, »Bilten«, 1974. i 1986, Savezni zavod za statistiku
- [9] Cijene i troškovi života, »Dokumentacija«, 1984. i 1986, Republički zavod za statistiku

- [10] Završni računi, Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske za razdoblje 1976–1986; Institut za elektroprivredu — Zagreb
- [11] Dugoročni društveni plan Jugoslavije od 1986. do 2000. godine, Službeni list SFRJ 39/85
- [12] Dugoročni društveni plan SR Hrvatske za razdoblje od 1986. do 2000, Narodne novine SRH, 7/86
- [13] Dugoročni plan razvoja Zajednice općina Osijek za razdoblje 1986–2000, Službeni glasnik ZOO 4/85
- [14] Analiza uvjeta i mogućnosti dugoročnog razvoja općine Osijek do 2000. g., Zavod za društveno planiranje i statistiku općine Osijek, studeni 1987.
- [15] Izmjene i dopune Generalnog urbanističkog plana — Osijek, Zavod za urbanizam i izgradnju — Osijek, 1986/87. godine
- [16] KOMERIČKI Z., RIGLER, F.: »Uklapanje bloka 45 MW u toplinski sistem Osijeka« — studija, Institut za elektroprivredu — Zagreb, 1982.
- [17] Nacrt prostornog plana SR Hrvatske, Delegatski vjesnik 330/86
- [18] Završni računi »Elektroslavonije« Osijek
- [19] Prijedlog programa racionalnog korištenja energije, Delegatski vjesnik 438/88

TRENDS IN THE OSIJEK ENERGY SUPPLY

The chief findings of an extensive study by a group of authors entitled »Osijek Energy Supply« are presented.

This study was published in 1990 and concerns the energy consumption of the Osijek region from 1975 to 1987, price trends, economic efficiency of energy consumption, air pollution status and consumption forecasts until the year 2000.

ENERGIEVERSORGUNG DER STADT OSIJEK

Hier schildert man das Wichtigste aus der umfangreichen Studie die von einer Autorengruppe unter dem Titel »Energieversorgung der Stadt Osijek« gemacht wurde.

Die Studie wurde 1990 veröffentlicht und bearbeitet den Energieverbrauch auf dem Gebiet der Stadt Osijek von 1975–1987, sowie die Energiepreise und die wirtschaftlichkeit ihres Gebrauchs, den Grad der Luftverschmutzung, sowie den Verbrauch bis 2000.

Naslov pisca:

Marijan Kalea, dipl. inž.
Hrvatska elektroprivreda —
Proizvodnja, prijenos i
distribucija Osijek
54000 Osijek,
Šet. kardinala F. Šepera 1 a,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1991-03-27.

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

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

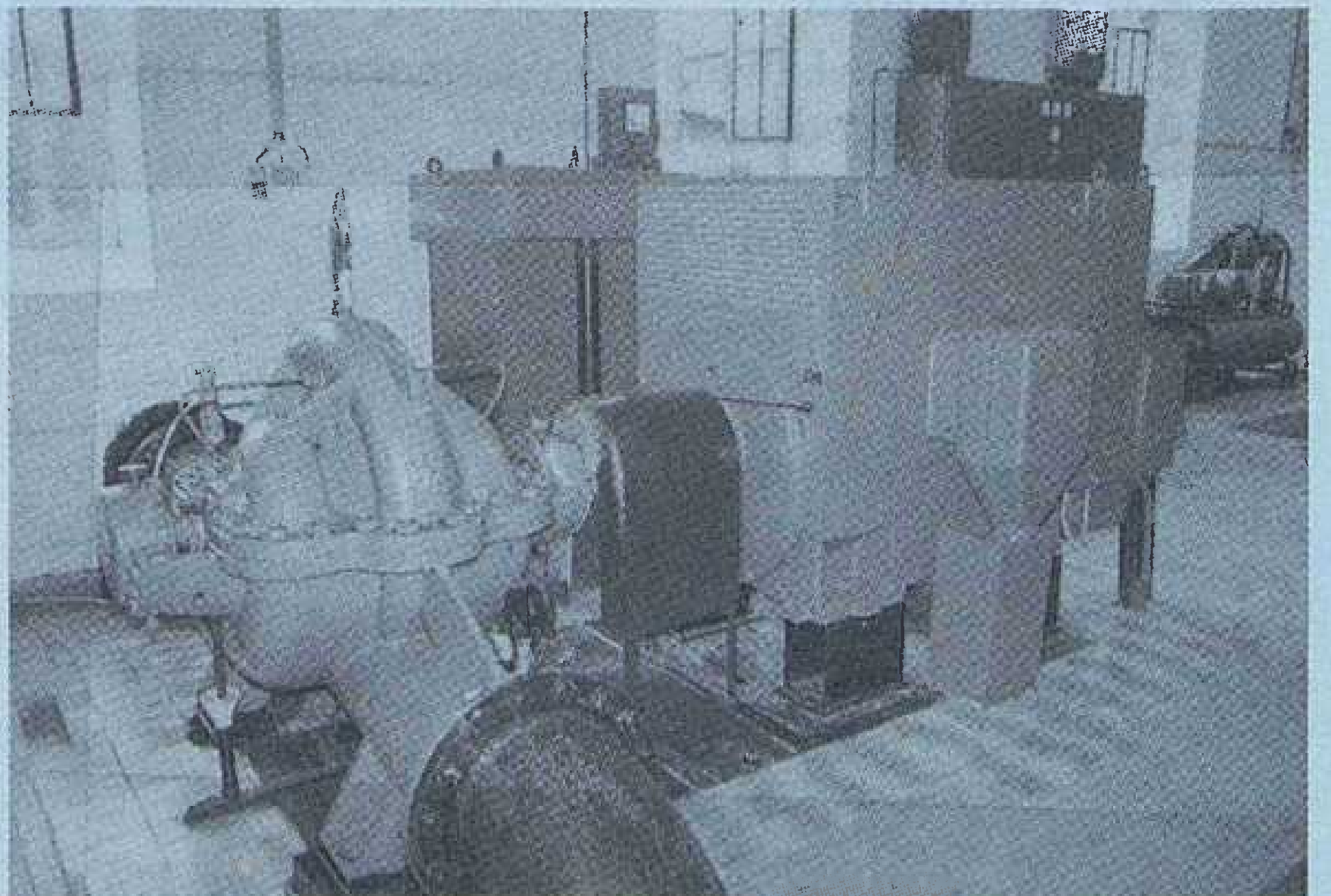
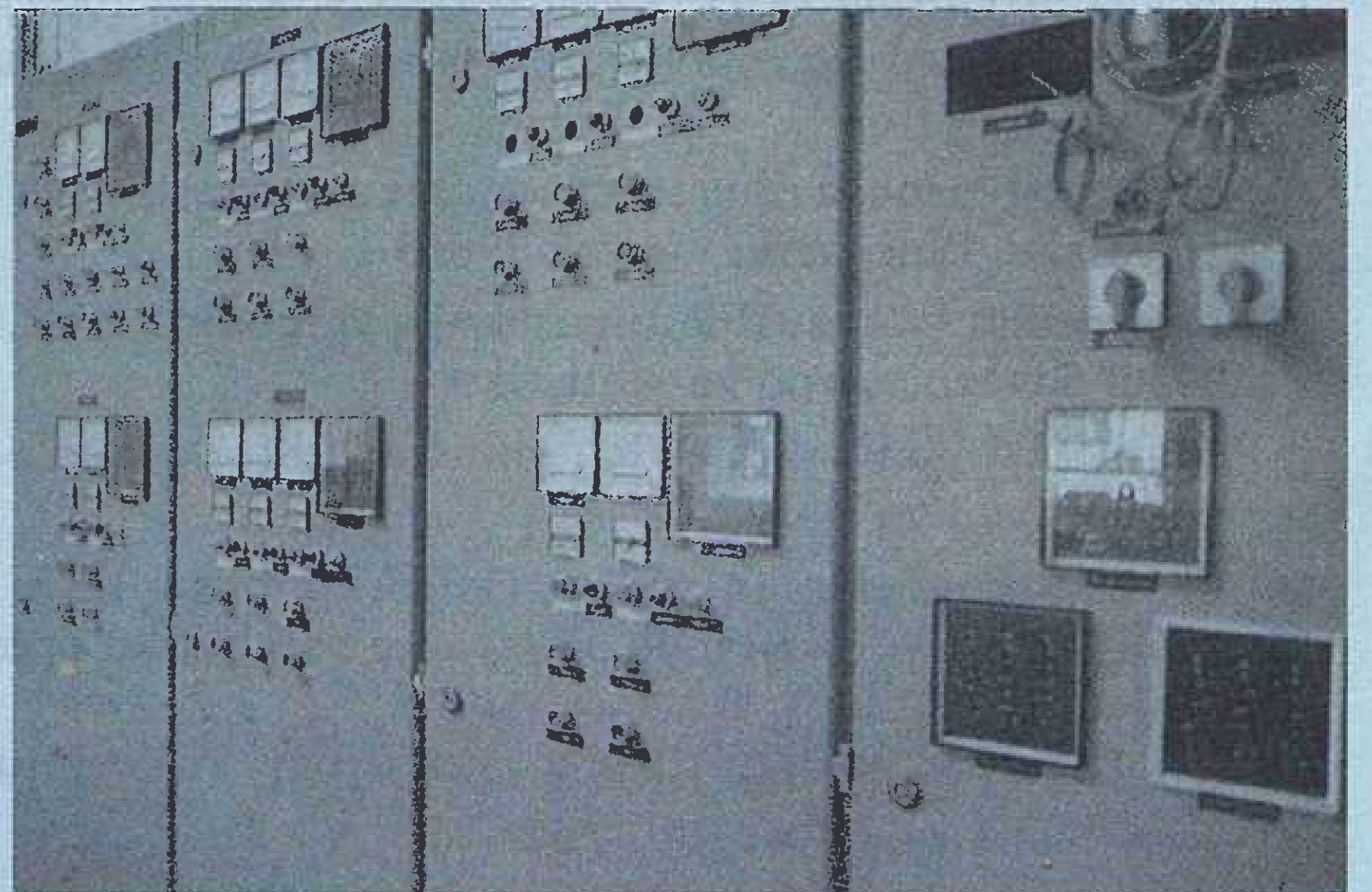
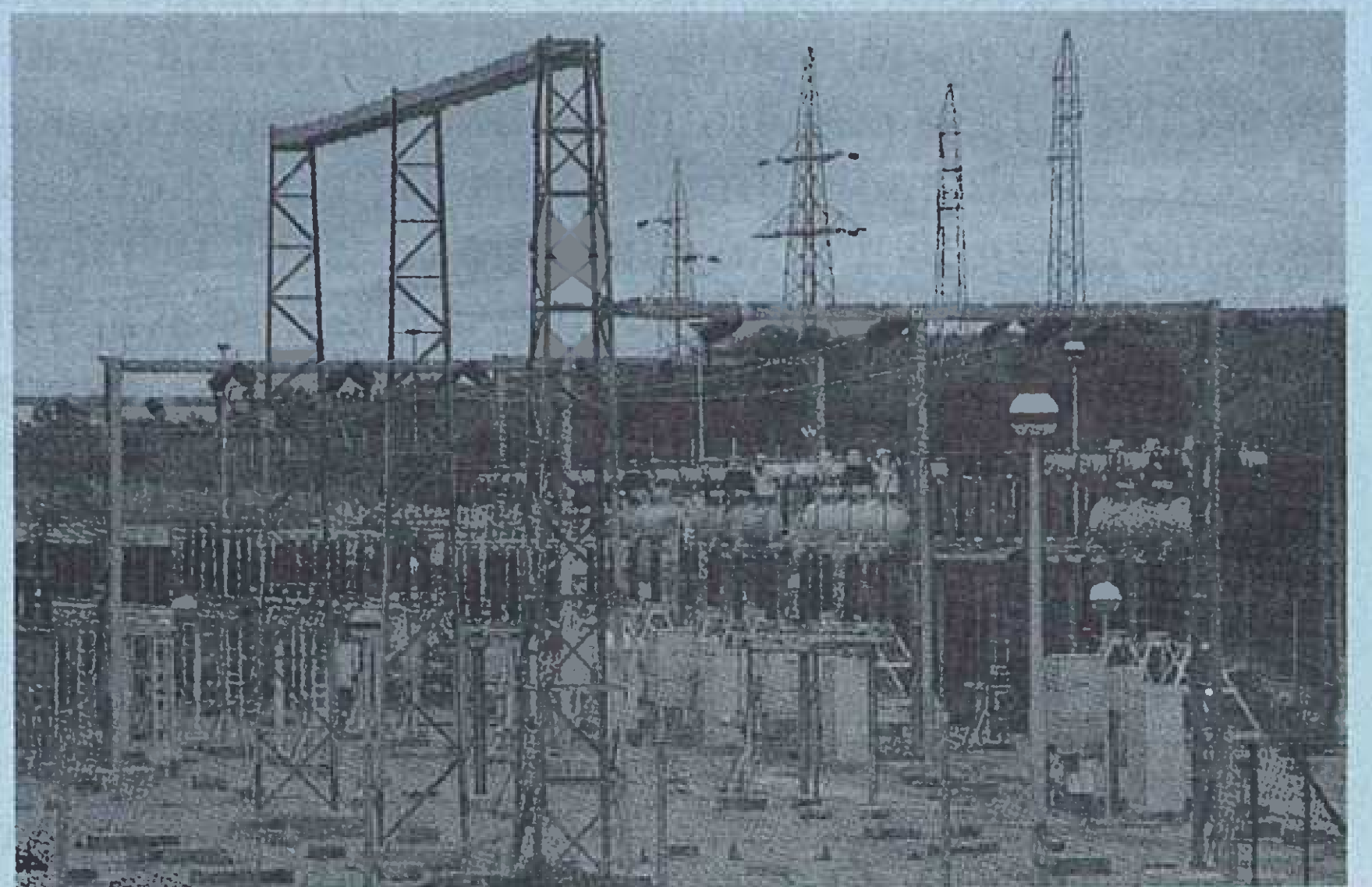
Tel: 057/24-440
057/24-844
27-236

Obavljajući djelatnost prometa roba i usluga u trgovini 117-tom granom »Elektromaterijal« opskrbljuje slijedeće najznačajnije potrošače: Elektroprivredu, brodograđevnu i ostalu industriju, građevinska, montažerska, PTT i ostala poduzeća i korisnike, kao i trgovinu na malo.

Organizirani smo u tri sektora, u okviru kojih su specijalizirane poslovnice.

Izvan sjedišta poduzeća posluju tri vanjske radne jedinice sa skladištima, komercijalnim i ostalim pratećim službama i to u: Zagrebu, Zadru i Podravskoj Slatini te razgranatom putničko-predstavničkom mrežom po cijeloj zemlji.

Imajući u vidu bogatstvo asortimana, dnevno prisutnog na našim skladištima, veliko iskustvo u obavljanju ove značajne funkcije u društvenoj reprodukciji, kao i solidnost u dosad povjerenim poslovima, želja nam je da i ubuduće uživamo Vaše povjerenje.



ANALIZA KORELACIJE ZA INFORMACIJE EES-a U REALNOM VREMENU

Mr. Juraj Šimunić, Rijeka

UDK 621.31:681.3

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Informacijski tokovi elektroenergetskog sistema u realnom vremenu slučajnog su karaktera i mogu se opisivati slučajnim varijablama. Elektroenergetsko postrojenje (EPE), kao izvor informacija, može se opisati s više slučajnih varijabli za pripadne informacijske događaje. Ovim radom prikazan je postupak utvrđivanja stohastičke zavisnosti za navedene slučajne varijable i prezentirani su rezultati istraživanja u realnom EES-u.

Ključne riječi: elektroenergetsko postrojenje (EEP), procesne informacije, slučajna varijabla, stohastička zavisnost.

1. UVOD

Dosadašnja istraživanja dinamike procesnih informacija [5, 6, 7, 8] elektroenergetskih sistema (EES-a) pokazuju da se procesne informacije pojavljuju kao slučajne veličine. Ta činjenica upućuje na to da pri modeliranju procesnih informacija EES-a treba koristiti statističke metode i teoriju vjerojatnosti. Pri tome se postavlja jedno od osnovnih pitanja koje treba riješiti prije konačnog modeliranja stohastičkih procesnih informacijskih tokova. To je pitanje stohastičke zavisnosti pojedinih informacijskih skupina unutar jednog elektroenergetskog postrojenja (EEP-a) i između pojedinih EEP-a. Upravo se ovim radom želi dati doprinos u rasvjetljavanju spoznaja o međusobnoj zavisnosti procesnih informacija EES-a u realnom vremenu.

U prvom dijelu ovog rada opisuje se metodologija istraživanja i definiraju se osnovni parametri za ocjenjivanje »jačine« zavisnosti procesnih informacija pojedinih komponenti EEP-a, a u drugom dijelu prikazuju se rezultati ispitivanja korelacijskih odnosa za izabran realni sistem.

2. METODOLOGIJA ISPITIVANJA KORELACIJE ZA PROCESNE INFORMACIJE EES-a

2.1. Kratak uvod uz pojam korelacije

Pod pojmom korelacije [1, 2, 3, ...] podrazumijeva se naizmjenična povezanost između određenih pojava. Ako neki eksperiment promatramo na osnovi dvaju ili više obilježja, to nas dovodi do posebnog teorijskog proučavanja zavisnosti između tih obilježja, tj. do **teorije korelacije**. U ovom radu promatrat će se samo zavisnost dviju slučajnih varijabli, tj. neće se koristiti tzv. teorija multiple korelacije pri kojoj se promatra zavisnost jedne slučajne varijable od više slučajnih varijabli. Podsjetimo se da je slučajna vari-

jabla k -tog reda takva varijabla koja može poprimiti k različitih vrijednosti, i to svaku vrijednost uz određenu vjerojatnost.

U matematici je poznata veza između dvije varijable kao funkcionalna zavisnost koju predočujemo kao $y=f(x)$. Za razliku od te funkcionalne veze, uz slučajnu varijablu je vezan pojam **stohastičke zavisnosti** koji ćemo objasniti i opisati uz pomoć teorije korelacije. Prije samog utvrđivanja pojma stohastičke zavisnosti za slučaj pojavljivanja procesnih informacija na različitim djelovima EEP-a potrebno je ukratko opisati čemu to služi.

U suvremenim tehničkim sistemima upravljanja EES-a potrebno je poznavati procesne informacijske tokove u realnom vremenu. Da bi se opisali procesni informacijski tokovi, potrebno je definirati (modelirati) izvore procesnih informacija a to su EEP-a. Svako EEP sastoji se od određenog broja **funkcijskih modula** (dalekovodno polje, generatorsko polje, sabirnica, transformator, ...), a svaki funkcijski modul može se opisati jednom slučajnom varijablom procesnih informacijskih događaja [9, 10]. To nas dalje navodi, kao što je detaljno opisano u spomenutoj literaturi, da sintezom slučajnih varijabli funkcijskih modula realiziramo jednu sumarnu slučajnu varijablu procesnih informacijskih događaja na nivou EEP-a.

Ta slučajna varijabla čini osnovu za formiranje procesnih informacijskih tokova EES-a. Ali pri utvrđivanju postupaka sinteze parcijalnih slučajnih varijabli funkcijskih modula postrojenja potrebno je poznavati da li postoji, i u kolikoj mjeri, stohastička zavisnost informacijskih događaja EEP-a u realnom vremenu.

Prema navedenom može se zaključiti da je za modeliranje stohastičkih procesnih informacija EES-a potrebno istražiti stohastičku zavisnost informacijskih događaja pojedinih funkcijskih modula EEP-a. Kako formirati tablicu dvodimenzionalnih slučajnih vari-

jabli i na koji način utvrditi »mjeru« ocjenjivanja korelacije između izabranih slučajnih varijabli, opisat će se u idućem poglavlju.

2.2. Postupak utvrđivanja stohastičke zavisnosti

Da bi se posve razumio cilj i svrha utvrđivanja stohastičke zavisnosti procesnih informacijskih događaja, potrebno je posvetiti malo više pažnje samom opisu formiranja statističke tablice za dvodimenzionalnu slučajnu varijablu.

Procesne informacije pojavljuju se u pogonu kao slučajne veličine i redovito ih promatramo po funkcijskim modulima postrojenja. Na taj način možemo pogon svakog funkcijskog modula statistički opisati jednom slučajnom varijablom informacijskih događaja. Kako se funkcija vođenja EES-a u suvremenim tehničkim sistemima upravljanja realizira u realnom vremenu unutar 1–5s, to će se vremenski interval promatranja izabrati 5s [5, 8, 9]. To znači da se promatrati eksperiment sastoji u tome da se istražuje frekvencija pojavljivanja određenog broja procesnih informacija u zadanim intervalima $\tau=5s$. Ako takav eksperiment provodimo za n -funkcijskih modula postrojenja, može se formirati i n -slučajnih varijabli, pri čemu svaka varijabla može poprimiti vrijednost 0, 1, ..., m informacija u intervalu τ a svaka vrijednost ima određenu vjerojatnost. Tako smo zapravo formirali slučajne varijable koje su definirane s distribucijom informacijskih događaja i pripadnim vjerojatnostima, te za takve slučajne varijable tražimo stohastičku zavisnost.

Za uobičajene statističke slučajeve u literaturi uglavnom se traži stohastička zavisnost između dva statistička obilježja jednog događaja ili objekta. U promatranom slučaju EES-a istraživati će se **vremenska** stohastička zavisnost jednog obilježja na dva različita objekta, tj. promatrat će se istovremenost zbivanja informacijskih događaja na dva funkcijska modula postrojenja u odabranim petsekundnim intervalima τ u procesu. Na osnovi iznesenog formiran je na slici 1. uzorak tablice na temelju koje će se istraživati stohastička zavisnost procesnih informacija. Da se u potpunosti shvati struktura prikazane tablice na sl. 1, potrebno je navesti sljedeće:

- Brojevi u prvom retku (x_i) i u prvom stupcu (y_j) označavaju događaj 0, 1, 2, ..., m procesnih informacija u petsekundnom intervalu τ za funkcijski modul X i funkcijski modul Y .
- Brojevi na ostalim pozicijama tablice predstavljaju frekvenciju (f_{ij}) pojavljivanja i -informacija na funkcijskom modulu X i j -informacija na funkcijskom modulu Y . Tako npr. na poziciji $i=2$ i $j=2$ vrijedi $f_{22}=5$, tj. bilo je pet vremenskih intervala τ u kojima su se pojavile i dvije informacije na funkcijskom modulu X i dvije informacije na funkcijskom modulu Y .
- Prikazana tablica prezentirana je na temelju stvarnih istraživanja u jednom EEP-u, a rezultati u njoj odnose se na dva dalekovodna polja 110 kV. Iako ova tablica predstavlja slučaj kada postoji relativno velika frekvencija procesnih informacija

$y_j \backslash x_i$		FUNCIJSKI MODUL X													f_j	\bar{x}_j
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
F U N K C I J S K I M O D U L Y	0	6307055	26	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6307095	$0.9 \cdot 10^{-8}$
	1	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0.00
	2	22	0	2	2	2	0	2	0	0	0	0	1	0	31	1.29
	3	3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.67
	4	3	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	7	2.57
	5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3.50
	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	8.00
	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00
	8	1	0	0	0	1	0	0	0	3	0	2	0	0	7	6.66
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	8.00
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00	
f_i	6307132	26	15	5	9	0	4	0	4	0	3	0	1	$N = 6307199$	$\bar{x} = 3.23 \cdot 10^{-5}$	
\bar{y}_i	$2.2 \cdot 10^{-8}$	0	0.26	3	4.22	0	2	0	8.50	0	6	0	6	$\bar{y} = 3.98 \cdot 10^{-5}$	$\bar{x} \cdot \bar{y} = 12.85 \cdot 10^{-10}$	

Slika 1. Prikaz tablice dvodimenzionalne slučajne varijable procesnih informacija EEP-a

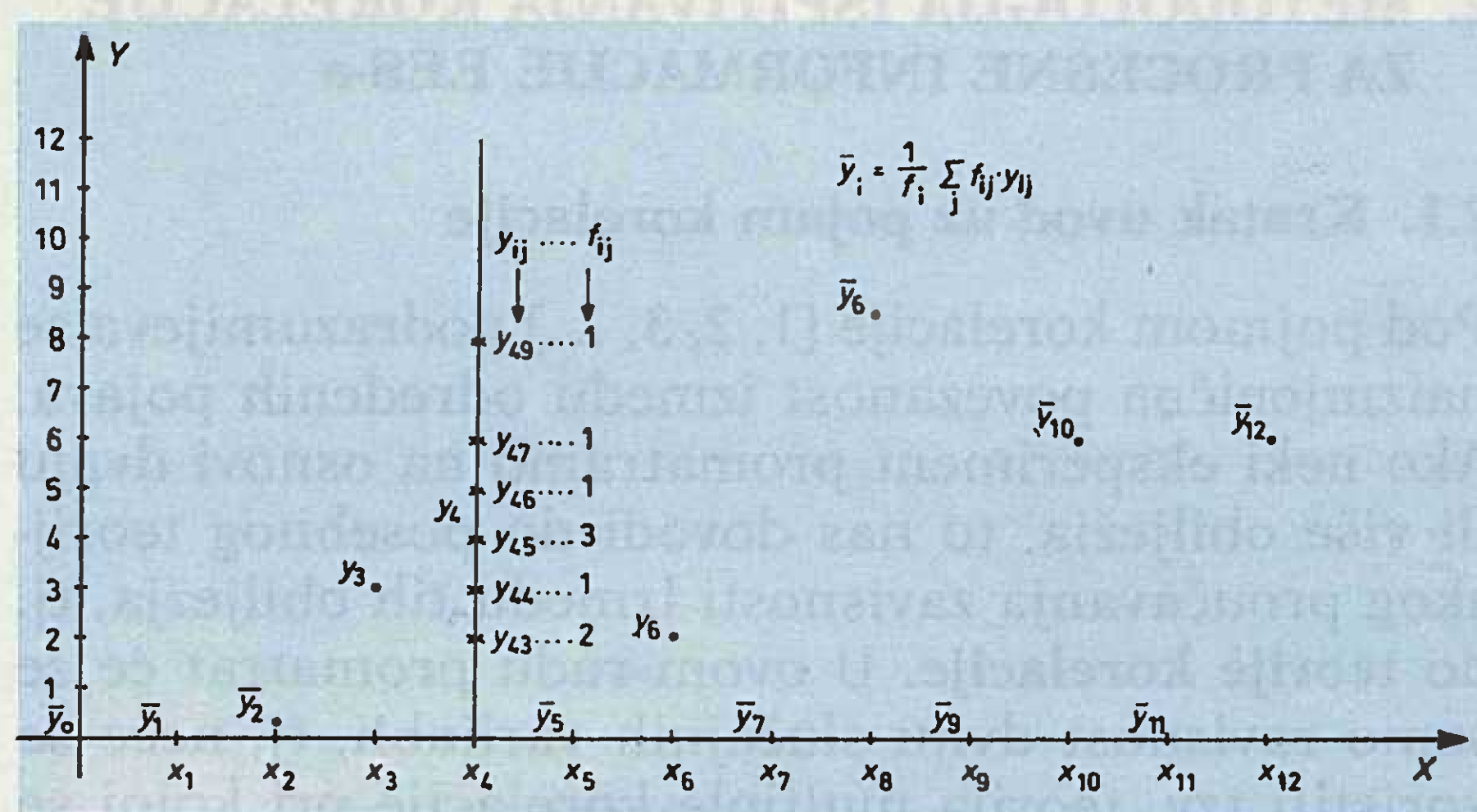
po modulu i kada se ostvaruje izuzetna zavisnost informacijskih događaja, vidimo da je izrazito velik broj ij -pozicija sa frekvencijom $f_{ij}=0$. Po tome, a i prema [6, 8, 9], može se zaključiti da su procesni informacijski događaji malobrojni događaji na razini funkcijskih modula, pa će se to uzeti u obzir i pri samom postupku definiranja stohastičke zavisnosti.

S iznesenim je opisana osnovna struktura tablice na sl. 1, a u daljnjem izlaganju potrebno je objasniti osnovne parametre koji su potrebni za analizu korelacije informacijskih događaja izabranih dvodimenzionalnih distribucija funkcijskih modula EEP-a. Prema sl. 1 može se uočiti da za svaku vrijednost x_i postoji više vrijednosti y_{ij} , odnosno za svaki y_j više vrijednosti x_{ij} . Da se na neki način izrazi zavisnost događaja za prikazanu dvodimenzionalnu distribuciju uređenih parova (x_i, y_j), potrebno je za svaki x_i potražiti uvjetne srednje vrijednosti y_j prema relaciji [1, 2]:

$$x_i \rightarrow \bar{y}_i = \frac{1}{f_i} \sum_j f_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

$$f_i = \sum_j f_{ij}$$

Dobivene točke uvjetnih srednjih vrijednosti \bar{y}_i za svaki x_i (prema sl. 1) prezentirane su na sl. 2. Sigurno je da se na analogan način može za svaku vrijednost



Slika 2. Prikaz srednjih vrijednosti varijable Y za odgovarajuće vrijednosti X_i varijable X (prema slici 1)

y_j definirati odgovarajuća srednja vrijednost \bar{x}_j . Daljnje izlaganje nastavit će se na temelju promatranja varijable Y u odnosu na varijablu X , kao što je i započeto. Ako se prikazane točke srednjih vrijednosti \bar{y}_i povežu, dobijemo tzv. **krivulju regresije** $x_i \rightarrow \bar{y}_i$. Upravo nam ovako definirana funkcija regresije predstavlja osnovu za razmatranje stohastičke zavisnosti dvodimenzionalnih distribucija opisanih tablicom na sl. 1. Pri tome se sama bit analize stohastičke zavisnosti sastoji u tome da se metodom najmanjih kvadrata konstatira kolika je suma udaljenosti pripadnih točaka y_{ij} (sl. 1 i 2) od krivulje regresije. To izražavamo sljedećom općom formulom:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} f_{ij} (y_{ij} - y_i)^2 \quad (2)$$

a Y_i pri tome predstavlja točke ordinate »sirove« krivulje regresije ili aproksimirane krivulje regresije. S obzirom na način definiranja vrijednosti Y_i može se stohastička zavisnost istraživati pomoću triju osnovnih metoda [1, 2, 3]:

- empirijske korelacije s parametrom — omjer korelacije
- linearne korelacije s parametrom — koeficijent korelacije
- nelinearne korelacije s parametrom — indeks korelacije.

Empirijska korelacija provodi se na osnovi »sirove« krivulje regresije direktnim spajanjem točaka \bar{y}_i (sl. 2), tj. vrijedi:

$$Y_i \equiv \bar{Y}_i, \quad (3)$$

a »intenzitet« stohastičke zavisnosti ovom metodom utvrđuje se, kao što je već navedeno, parametrom — »omjer korelacije« η_{yx} odnosno η_{xy} . Ovaj način mjerenja stohastičke zavisnosti slučajnih varijabli koristi se u novije doba jer je vrlo pogodan kada se krivulja regresije ne može kvalitativno aproksimirati ni pravcem ni zadanom krivuljom višeg reda. Kako su slučajni informacijski događaji u pogonu EEP-a [5, 7, 8, 9] malobrojni događaji i vrlo nepravilne prirode, ta će metoda empirijske korelacije biti, na tom području istraživanja, vrlo korisna. Detaljnije će se ova metoda opisati u sljedećem poglavlju.

Linearna korelacija provodi se kada krivulju regresije aproksimiramo pravcem, tj. kada za Y_i iz izraza (2) vrijedi

$$Y_i = ax_i + b, \quad (4)$$

a u ovoj metodi tražimo da suma kvadrata, udaljenosti svih točaka y_{ij} od pravca bude najmanja. Time se postiže da se pravac najviše približuje krivulji regresije, a vrijednost S_y^2 daje mjeru za ispitivanje stohastičke zavisnosti. Uz metodu empirijske korelacije i ova metoda će se detaljnije opisati u poglavlju 2.2.2 i koristiti u ispitivanju na realnom sistemu.

Primjena **nelinearne korelacije** vezana je za mogućnost aproksimacije krivulje regresije sa krivuljom 2., 3, ili višeg reda, i u tom slučaju vrijedi za vrijednost Y_i iz izraza (2):

$$Y_i = b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 + \dots + b_k x_i^k, \quad (5)$$

a za vrijednost S_y^2 iz izraza (2) slijedi

$$S_y^{III2} = \frac{1}{N} \sum_i^{m_1} \sum_j^{m_2} f_{ij} (y_{ij} - b_0 - b_1 x_i - b_2 x_i^2 - \dots - b_k x_i^k)^2 \quad (6)$$

Kao što je već navedeno, informacijski događaji realnog vremena EEP-a su malobrojni događaji i nepravilno razbacani, pa se ova metoda nelinearne korelacije, koja se i inače u praksi rjeđe koristi [1, 2, 3], neće u daljnjem izlaganju detaljnije analizirati

2.2.1. Kratak opis empirijske korelacije

Navedeno je da nam veličina S_y^2 prema izrazu (2) može dati odgovor o stohastičkoj zavisnosti dvodimenzionalnih distribucija. Ako u izrazu (2) umjesto vrijednosti Y_i uvrstimo vrijednost \bar{y}_i , prema izrazu (3) dobijemo izraz za sumu S_y^2 u sljedećem obliku:

$$S_y^{I2} = \frac{1}{N} \sum_i^{m_1} \sum_j^{m_2} f_{ij} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (7)$$

$$N = \sum_i^{m_1} \sum_j^{m_2} f_{ij}.$$

Za veličine m_1 i m_2 prema slici 1. vrijedi $m_1 = m_2 = 12$, ali su općenito veličine m_1 i m_2 različite i ovise o promatranom eksperimentu.

Promatranjem izraza (7) možemo uočiti da veličina S_y^2 prikazuje kolika je udaljenost pripadnih točaka y_{ij} (vidi sl. 2) od originalne krivulje regresije konstruirane na temelju **empirijskih podataka**. Kao što je navedeno, što je ta suma S_y^2 manja postoji jača povezanost slučajnih varijabli X i Y , te veličina S_y^2 daje jasan odgovor o stohastičkoj zavisnosti na temelju izvornih empirijskih podataka. Kako bi definirali omjer korelacije η_{yx} , tj. parametar koji je mjera stohastičke zavisnosti pri metodi empirijske korelacije, potrebno je srediti veličinu S_y^2 . U prvom koraku uvođi se pomoćna veličina

$$\sigma_{my}^2 = \frac{1}{N} \sum_i^{m_1} f_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2, \quad (8)$$

koja predstavlja razliku između uvjetnih srednjih vrijednosti \bar{y}_i i ukupne srednje vrijednosti svih y_{ij} , a u nastavku se prikazuje izraz za disperziju (varijanca):

$$\sigma_y^2 = \mu_{02} = \frac{1}{N} \sum_i^{m_1} \sum_j^{m_2} f_{ij} (Y_{ij} - \bar{Y})^2. \quad (9)$$

Ako se udaljenosti y_{ij} od \bar{y} prikažu parcijalno, možemo izraz (9) pisati u obliku

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_i^{m_1} \sum_j^{m_2} f_{ij} [(Y_{ij} - \bar{Y}_i) + (\bar{Y}_i - \bar{Y})]^2. \quad (10)$$

Kvadriranjem izraza u zagradama i sređivanjem [1] dobije se konačni izraz za σ_y^2 u sljedećem obliku:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_i^{m_1} \sum_j^{m_2} f_{ij} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 + \frac{1}{N} \sum_i^{m_1} f_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2. \quad (11)$$

Uzimajući u obzir izraze (7) i (8), slijedi $\sigma_y^2 = S_y^2 + \sigma_{my}^2$ i na kraju sređivanjem dobijemo

$$S_y^2 = \sigma_y^2 (1 - \frac{\sigma_{my}^2}{\sigma_y^2}). \quad (12)$$

Prema izrazu (12) definira se parametar η_{yx} (omjer korelacije) kao

$$\eta_{yx} = \sqrt{\frac{\sigma_{my}^2}{\sigma_y^2}} = \frac{\sigma_{my}}{\sigma_y}. \quad (13)$$

te konačni izraz za $S_y'^2$ glasi

$$S_y'^2 = \sigma_y^2(1 - \eta_{yx}^2). \quad (14)$$

Budući da $S_y'^2$ i σ_y^2 pozitivne veličine, slijedi da i veličina $(1 - \eta_{yx}^2)$ mora biti pozitivna veličina, tj.

$$\eta_{yx}^2 \leq 1; -1 < \eta_{yx} < 1. \quad (15)$$

Na temelju iznesenog možemo zaključiti:

- Veličina $S_y'^2$ bit će to manja što je omjer korelacije η_{yx} bliže 1 (jedinici) a to znači da je i stohastička zavisnost sve veća.
- Ako je $\eta_{yx} = 1$ i $S_y'^2 = 0$, imamo funkcionalnu zavisnost varijabli Y i X .
- Ako je $\eta_{yx} = 0$, varijable Y i X su potpuno nezavisne.

Za dobivanje cjelovite slike empirijske korelacije potrebno je na kraju još postaviti osnovne jednadžbe za dobivanje omjera korelacije η_{xy} tj. zavisnost varijable X u odnosu na varijablu Y . Analogno izrazima (8) i (9) može se sada postaviti:

$$\sigma_{mx}^2 = \frac{1}{N} \sum_j^{m_2} f_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2 \quad (16)$$

$$\sigma_x^2 = \mu_{20} = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j^{m_2} f_{ij} (X_{ij} - \bar{X})^2, \quad (17)$$

te provodeći isti postupak kao i za dobivanje omjera korelacije η_{yx} dobili bismo za omjer korelacije η_{xy} sljedeći izraz:

$$\eta_{xy} = \frac{\sigma_{mx}}{\sigma_x} \quad (18)$$

i na kraju za $S_x'^2$ vrijedi

$$S_x'^2 = \sigma_x^2(1 - \eta_{xy}^2). \quad (19)$$

2.2.2. Kratak prikaz linearne korelacije

Ako umjesto nepravilne (sirove) krivulje regresije želimo promatrati pravac kao aproksimaciju te krivulje, tada tražimo da nam suma kvadrata udaljenosti točaka na pravcu od pripadnih točaka y_{ij} , tj. vrijednosti $S_y'^2$ (izraz (2)) bude najmanja. Da izrazimo vrijednost, te nove sume kvadrata za slučaj aproksimacije pravcem, potrebno je da u izrazu (2) uvrstimo $Y_i = ax_i + b$, te vrijedi

$$S_y'^2 = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j^{m_2} f_{ij} (Y_{ij} - ax_i - b)^2. \quad (20)$$

U ovom slučaju vrijedi isto kao i u izrazu (7), tj. što je vrijednost $S_y'^2$ manja, to je stohastička zavisnost varijabli X i Y veća. Kako bi se veličina $S_y'^2$ mogla statistički definirati i promatrati, potrebno je utvrditi vrijednosti a i b zadanog pravca pomoću momenata, a pravac će najbolje aproksimirati krivulju regresije ako vrijednost $S_y'^2$ bude minimalna. Zato derivacije

tog izraza po a i b moraju biti jednake nuli. Ako se derivacije izraza (20) po a i b izjednače sa nulom [1 st. 234] te se koriste izrazi za centralne i pomoćne momente, dobije se za koeficijent smjera a sljedeći izraz

$$a = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x^2}, \quad (21)$$

gdje je μ_{11} tzv. kovarijanca, a naziva se i korelacijski moment [3] slučajnog vektora (X, Y) . Veličina μ_{11} definirana je kao

$$\mu_{11} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} f_{ij} (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_j - \bar{Y}), \quad (22)$$

a veličina σ_x^2 definirana je izrazom (17). Parametar b nije potrebno posebno definirati jer se jednadžba pravca može definirati i na sljedeći način. Derivacijom izraza (20) po b dobije se nakon sređivanja jednadžba pravca u obliku $\bar{y} - a\bar{x} - b = 0$ ili eksplicitno $\bar{y} = a\bar{x} + b$.

Ako u jednadžbu pravca $Y_i = ax_i + b$ uvrstimo $x_i = \bar{x}$, dobit ćemo izraz $Y_i = a\bar{x} + b = \bar{y}$, te zaključujemo da točka (\bar{x}, \bar{y}) leži na pravcu $Y_i = ax_i + b$. Prema tome, ako pravac prolazi točkom (\bar{x}, \bar{y}) , možemo jednadžbu pravca pisati u obliku

$$Y - \bar{Y} = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x^2} (X - \bar{X}), \quad (23)$$

te smo iz zahtjeva da suma kvadrata udaljenosti svih točaka y_{ij} od pravca bude najmanja dobili i to da se zadani pravac najviše približuje krivulji regresije ako prolazi točkom (\bar{x}, \bar{y}) i ako je koeficijent smjera toga pravca $a = \mu_{11}/\sigma_x^2$.

Daljnji korak u konačnom utvrđivanju izraza za $S_y'^2$ jest taj da ishodište koordinatnog sustava pomaknemo u točku (\bar{x}, \bar{y}) , te se jednadžba pravca može pisati u obliku

$$Y = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x^2} X. \quad (24)$$

Vrijednosti x_i i y_{ij} predočivat će koordinate u novom koordinatnom sustavu, a veličine $S_y'^2$, σ_x^2 , σ_y^2 i μ_{11} tim se pomakom koordinata ne mijenjaju. Ako izraz (24) uvrstimo u izraz (20), slijedi

$$S_y'^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} f_{ij} (Y_{ij} - \frac{\mu_{11}}{\sigma_x^2} X_i)^2, \quad (25)$$

a kvadriranjem izraza u zagradama i sređivanjem dobije se konačni izraz za $S_y'^2$:

$$S_y'^2 = \sigma_y^2 \left(1 - \frac{\mu_{11}^2}{\sigma_x^2 \sigma_y^2}\right). \quad (26)$$

To je izraz po formi potpuno sličan izrazu (12), te se mogu provesti analogna razmatranja kao i u slučaju empirijske korelacije. Tako se može definirati **koeficijent korelacije** r kao parametar procjenjivanja stohastičke zavisnosti pri linearnoj korelaciji

$$r = \sqrt{\frac{\mu_{11}^2}{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x \sigma_y}. \quad (27)$$

Budući da su $S_y''^2$ i σ_y^2 pozitivne veličine, vrijedi za koeficijent korelacije

$$r^2 \leq 1; -1 \leq r \leq 1. \quad (28)$$

Prije završnog komentara koeficijenta korelacije r potrebno je naglasiti da se analogno izrazu (23) može definirati i jednadžba pravca za slučaj ispitivanja veze koja postoji između pojedinih vrijednosti y_i i pripadnih x_{ij} (zavisnost X u odnosu na Y). Za taj slučaj jednadžba pravca glasi

$$Y - \bar{Y} = \frac{\sigma_y^2}{\mu_{11}} (X - \bar{X}), \quad (29)$$

a daljnji postupak definiranja koeficijenta korelacije r analogan je kao i u prethodnom primjeru.

Vratimo se na veličinu r i ponovimo da je to mjera stupnja do kojeg se veza između slučajnih varijabli približuje linearnoj zavisnosti, te možemo zaključiti sljedeće:

- Kada je $r = \pm 1$ odnosno $S_y''^2 = 0$, postoji funkcionalna veza između promatranih varijabli, kut između oba pravca regresije jednak je nuli, te oba pravca padaju zajedno.
- Ako je $r = 0$, slijedi da je $S_y''^2 = \sigma_y^2$, a to znači da je $S_y''^2$ funkcija samo od y_{ij} i ne ovisi o x_{ij} , te su u tom slučaju varijable nezavisne, a kut između regresijskih pravaca jednak je 90° .
- I na kraju, kada se r nalazi između dviju graničnih slučajeva, može se navesti sljedeće [1, 11]: 1. ako je koeficijent korelacije $r < 0,3$, tada imamo neznatnu međusobnu vezu između slučajnih varijabli, 2. ako je $0,3 < r < 0,5$, tada se već može uzeti u obzir stohastička veza, 3. ako je $0,5 < r < 0,7$, pokazuje se značajna veza koja ima praktičnu važnost, 4. ako je $r > 0,7$, imamo usku vezu među varijablama.

Na kraju ovog izlaganja o načinu utvrđivanja stohastičke zavisnosti slučajnih varijabli informacijskih događaja korisno je spomenuti i razliku u promatranju pojma stohastička zavisnost i korelacija. Korelacija se utvrđuje putem krivulje regresije, tj. varijable Y i X su korelirane ako su uvjetne srednje vrijednosti \bar{y}_i , uz odgovarajuće x_i , jednake, a pri tome se ne promatra da li su i razdiobe y_{ij} za svako x_i različite ili jednake. Upravo je Tschuprow dopunio pojam stohastičke zavisnosti tako da je u promatranje uveo i promjenu razdiobe y_{ij} za pojedino x_i (ili x_{ij} za y_j). Tako uzevši slučajne varijable su stohastički nezavisne ako su i uvjetne varijable \bar{y}_i (odnosno \bar{x}_j) i pripadne razdiobe y_{ij} (odnosno x_{ij}) jednake.

Prema navedenom stohastička zavisnost je širi pojam od pojma korelacije, a to znači da stohastička nezavisnost uvjetuje i nekoreliranost, ali nekoreliranost ne povlači nužno i stohastičku nezavisnost. Imajući sve to na umu provest će se u sljedećem poglavlju analiza stohastičke zavisnosti za dvodimenzionalne distribucije informacijskih događaja realnog EEP-a, metodom linearne korelacije, a kontrola će se izvesti empirijskom korelacijom.

3. PRIKAZ PROVEDENIH ISPITIVANJA NA REALNOM SISTEMU

Na početku je potrebno naglasiti da se istražuje eksperiment u kojem promatramo pojavljivanje određenog broja procesnih informacija u petsekundnim intervalima τ , i to za jedno prenosno EEP-e 380/220/110 kV. Postrojenje je prema postojećoj strukturi podijeljeno na 30 funkcijskih modula, za svaki funkcijski modul definirana je distribucija frekvencije pojavljivanja procesnih informacija u intervalima τ i zatim je utvrđena zavisnost događaja između pojedinih distribucija. Kompletna analiza je provedena na temelju pogonskih podataka za jednu godinu koji su kronološki zapisani preko procesnog mikroracunala. Vremenska rezolucija zapisa jest 10 ms, a cijeli postupak istraživanja obuhvatio je pri tome 6 307 199 petsekundnih intervala τ .

U prvoj fazi rada formirana je datoteka petsekundnih intervala s točno utvrđenim redoslijedom slogova zapisa svake procesne informacije: datum, vrijeme, postrojenje, polje, naziv signala i stanje signala. Tako formirana datoteka jednogodišnjih petsekundnih intervala osnova je za sve ostale proračune. Daljnji korak sastoji se u tome da se formiraju dvodimenzionalne distribucije sa osnovnim statističkim parametrima prema sl. 1. Korisno je ovdje još jednom naglasiti da stohastičku zavisnost ne promatramo s obzirom na dva obilježja jednog događaja, već se promatra jedno obilježje za dva događaja u zadanim vremenskim intervalima, tj. promatramo intervale τ , u kojima su se pojavile informacije s određenom frekvencijom na obje slučajne varijable. Vratimo se opet na promatranu tablicu sa sl. 1. i utvrdimo da moramo formirati, za promatrano EEP-e, 435 ovakvih tablica. Ukupni broj tablica je 900, te ako oduzmemo 30 tablica koje predstavljaju zavisnost slučajne varijable u odnosu na samu sebe (dijagonalni članovi na sl. 3, 4, i 5) i podijelimo sa dva, zbog simetričnosti, dobijemo broj 435.

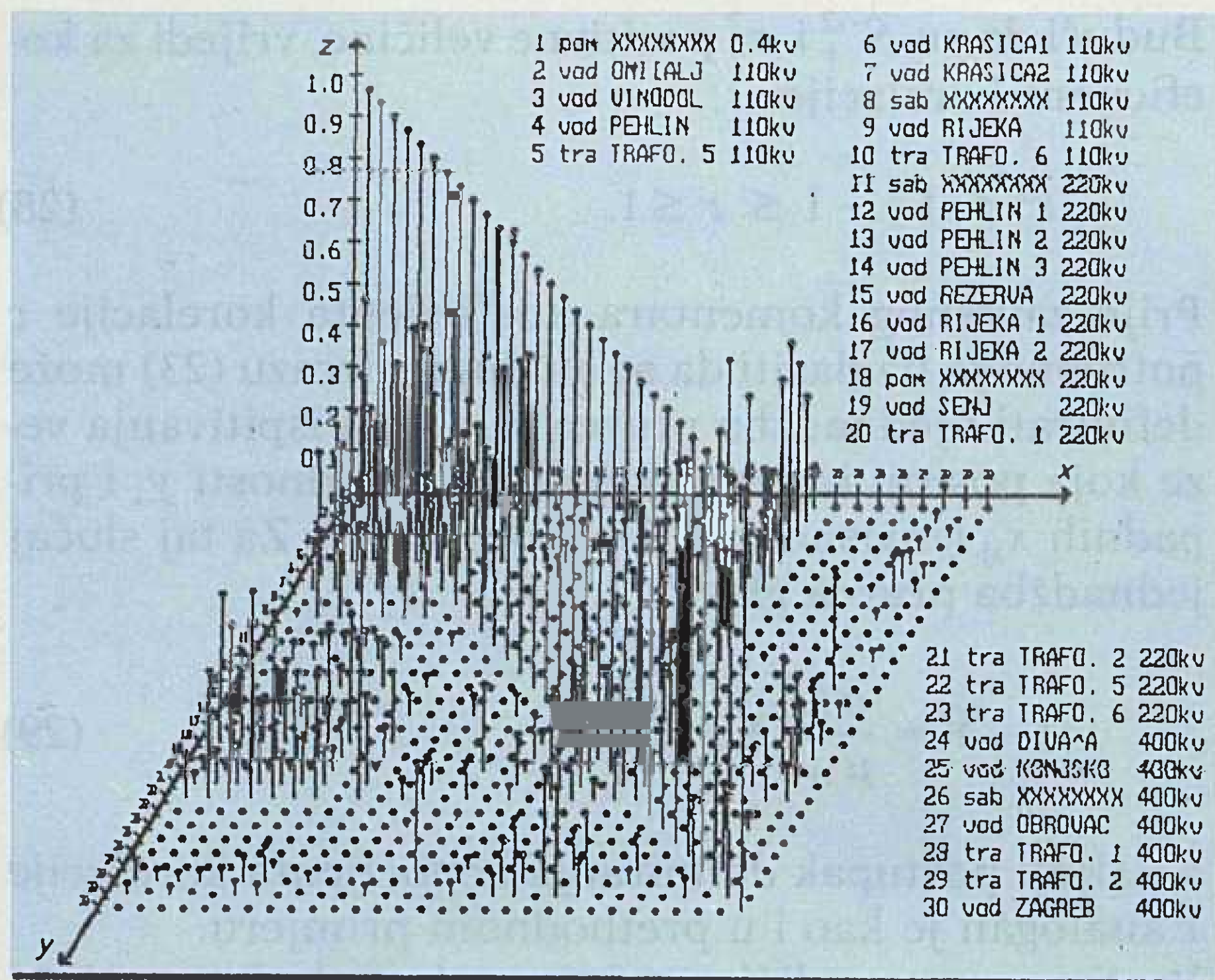
Daljnji postupak ispitivanja stohastičke zavisnosti dvodimenzionalnih distribucija za navedenih 435 slučajeva proveden je metodom linearne korelacije koja se najčešće primjenjuje u praksi, a naknadno je provedena kontrola empirijske korelacije za odabrane slučajeve. Izrađen je program u paskalu za proračun koeficijenta i omjera korelacije i za grafičko-prostornu interpretaciju korelacijske matrice. Na slici 3. prikazana je numerički djelomična korelacijska matrica, a na sl. 4. i sl. 5. dan je prostorno grafički prikaz korelacijske matrice za sve module promatranog EEP-a. Za potpuno razumijevanje navedenih slika potrebno je navesti sljedeće:

- Brojevi 1 do 30 za retke i 1 do 6 za stupce (izvan tablice na sl. 3) predstavljaju broj funkcijskih modula postrojenja. Radi prostora prikazano je samo 6 stupaca korelacijske matrice, a ne svih 30, a brojevi unutar tablice predstavljaju vrijednosti koeficijenta korelacije r .
- Nazivi funkcijskih modula od 1 do 30 dani su na sl. 4. i 5.

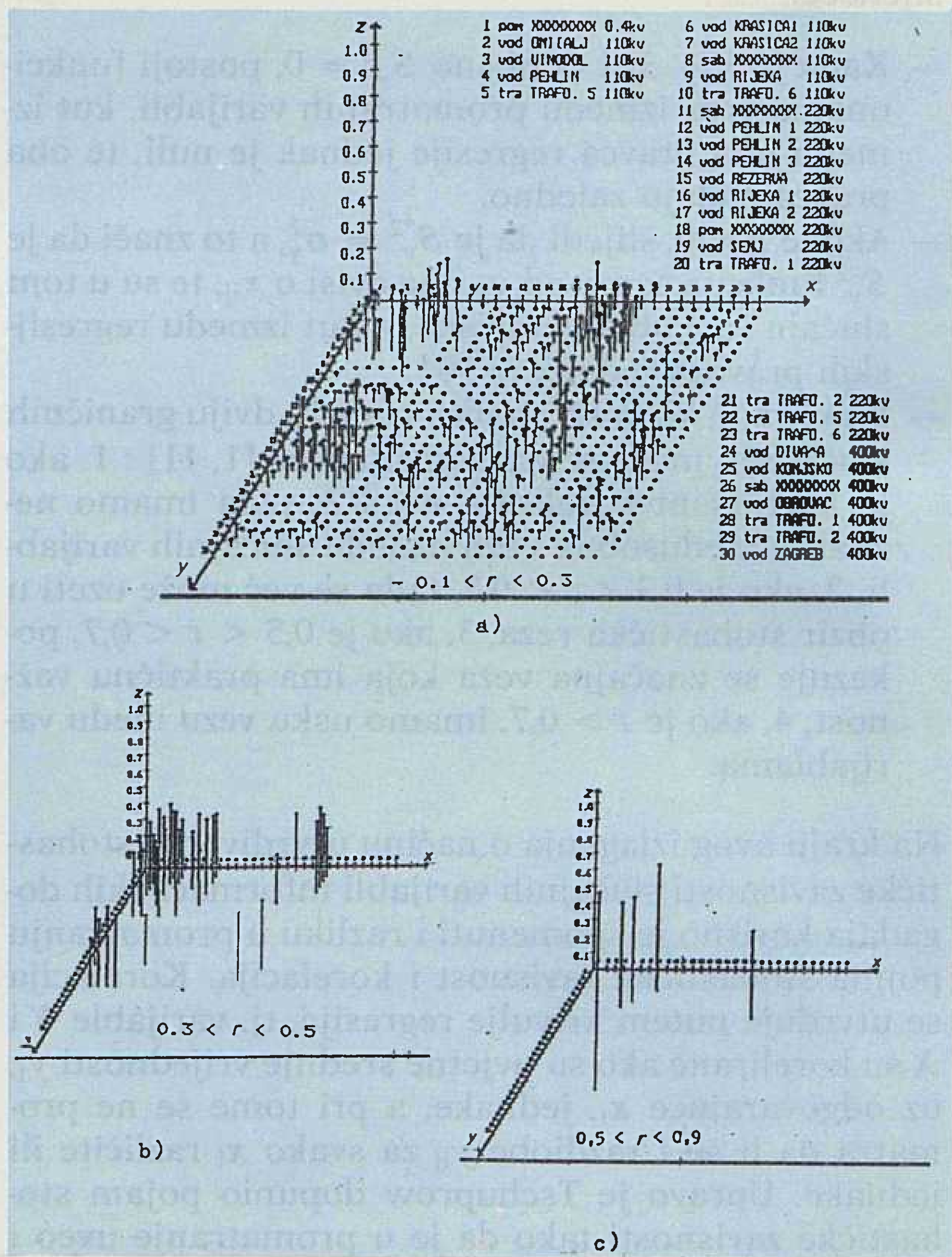
	1	2	3	4	5	6
1	1.000000	0.037695	0.024717	0.016268	0.007911	0.101780
2	0.037695	1.000000	0.304851	0.418700	0.361219	0.211253
3	0.024717	0.304851	1.000000	0.494129	0.338990	0.121134
4	0.016268	0.418700	0.494129	1.000000	0.473661	0.255919
5	0.007911	0.361219	0.338990	0.473661	1.000000	0.172146
6	0.101780	0.211253	0.121134	0.255919	0.172146	1.000000
7	0.118633	0.398563	0.266074	0.357346	0.270920	0.638159
8	-2.3E-12	-1.3E-12	-2.0E-12	-1.2E-12	-1.6E-12	0.008178
9	0.014984	0.395669	0.414128	0.760392	0.466051	0.275003
10	-4.5E-13	-2.5E-13	-3.9E-13	-2.4E-13	-3.2E-13	-2.6E-13
11	0.011145	0.007711	0.031113	0.031946	0.034520	-2.7E-12
12	-2.2E-12	0.044790	0.036146	-1.2E-12	0.050130	0.050921
13	-3.0E-12	-1.7E-12	-2.6E-12	-1.6E-12	-2.1E-12	-1.7E-12
14	-2.2E-12	0.046147	0.037241	0.042487	0.051649	0.034975
15	-8.4E-13	-4.7E-13	-7.2E-13	-4.4E-13	-6.0E-13	-4.9E-13
16	0.008365	0.034724	0.037364	0.063940	0.038864	0.028511
17	-1.8E-12	-1.0E-12	-1.3E-12	-9.4E-13	-1.3E-12	-1.0E-12
18	0.357607	0.214384	0.107651	0.199574	0.106109	0.282363
19	0.102852	0.083256	0.080972	0.081567	0.052565	0.082517
20	0.031962	0.022113	0.017846	0.020359	0.024750	0.016760
21	0.027257	0.084862	0.098923	0.190989	0.073874	0.125064
22	0.105800	0.303699	0.416652	0.499000	0.441882	0.258508
23	-6.1E-13	-3.4E-13	-5.2E-13	-3.2E-13	-4.3E-13	-3.5E-13
24	-3.4E-12	0.002043	0.001648	-1.8E-12	0.002286	0.002322
25	-3.0E-12	-1.7E-12	-2.6E-12	-1.6E-12	-2.2E-12	-1.8E-12
26	-1.3E-12	-7.2E-13	-1.1E-12	-6.8E-13	-9.2E-13	-7.4E-13
27	-4.9E-12	-2.8E-12	-4.2E-12	-2.6E-12	-3.5E-12	-2.8E-12
28	0.055808	0.030889	0.024928	0.028439	0.034572	0.064381
29	0.032571	0.011757	0.023721	0.012178	0.003290	0.038986
30	-2.4E-12	-1.4E-12	-2.1E-12	-1.3E-12	-1.7E-12	-1.4E-12

Slika 3. Numerički prikaz korelacijske matrice (djelomične) za module jednog EEP-a

- U tablici na sl. 3. često se nalazi vrlo mali negativni broj (reda veličine 10^{-10} do 10^{-15}). Izraz (22) za centralni korelacijski moment $\mu_{11} = \mu_{11} - \bar{x}\bar{y}$. Ako je μ_{11} nula (a to je upravo za navedene slučajeve), tada je $\mu_{11} = -\bar{x}\bar{y}$. Kako su u našem slučaju srednje vrijednosti informacijskih događaja vrlo malene, dobiju se vrijednosti koje su navedene u tablici, jer koeficijent korelacije prema izrazu (27) direktno ovisi o μ_{11} .
- Matrica koeficijenata korelacije je simetrična matrica, što se dobro uočava na sl. 4, koja prostorno prikazuje cijelu korelacijsku matricu 30×30 za odabrano EEP-e. Osi x i y na sl. 4. prikazuju broj funkcijskog modula, a os z predstavlja vrijednost koeficijenta korelacije. Lijepo se uočavaju dijagonalni članovi matrice koji su po iznosu jednaki jedinici.
- Zbog preglednosti i grupiranja koeficijenata korelacije prikazana je na sl. 5. korelacijska matrica parcijalno, za tri intervala koeficijenata korelacije r. U intervalu $-0,1 < r < 0,3$, sl. 5.a nalazi se 414 koeficijenata korelacije ili 95% od ukupnog broja koeficijenata korelacije za promatrano EEP-e. Intervalu $0,3 < r < 0,5$ pripada 18 koeficijenata od-



Slika 4. Grafički prikaz cjelovite korelacijske matrice EEP-a



Slika 5. Grafički prikaz korelacijske matrice po intervalima (z-os ... vrijednost koeficijenta korelacije)

nosno cca 4% a na interval $r < 0,5$ otpada 3 koeficijenta ($r_{4,9} = 0,760$, $r_{6,7} = 0,638$ i $r_{9,22} = 0,538$) ili nešto manje od 1% ukupnog broja koeficijenata korelacije. Analogna ispitivanja provedena su i na jednom 110/35kV postrojenju s devet funkcijskih modula, te je dobivena korelacijska matrica (9×9) sa 81-dnim koeficijentom korelacije. Na temelju tog istraživanja zaključeno je:

— 81 % koeficijenata korelacije imalo je vrijednost u intervalu $0 < r < 0,1$, 11 % u intervalu $0,1 < r < 0,3$ a 8 % koeficijenata korelacije u intervalu $0,3 < r < 0,5$.

Najveći koeficijent korelacije za to postrojenje iznosio je $r = 0,438$. Prema tome, provedena istraživanja koeficijenata korelacije za informacijske događaje EEP-a pokazuju da za 90–95 % dvodimenzionalnih distribucija funkcijskih modula koeficijent korelacije iznosi manje od 0,3 ($r < 0,3$).

Budući da su informacijski događaji malobrojne pojave i da uvjetne srednje vrijednosti \bar{y}_i i \bar{x}_i imaju prilično nepravilan raspored, provedena je prema uvodnim izlaganjima i kontrola stohastičke zavisnosti pomoću metode empirijske korelacije. Vrijednosti omjera korelacije η_{yx} i η_{xy} dobivene ovom metodom iznose 30 do 40 % više od odgovarajućih koeficijenata korelacije. To je u skladu sa teorijskim razmatranjima, a samo povećanje, koje je u određenim slučajevima znatno, proizlazi iz činjenice da su krivulje za promatrane eksperimente prilično nepravilne.

I na kraju, uzimajući u obzir ovo povećanje omjera korelacije za 30–40 %, potrebno je voditi brigu o stohastičkoj zavisnosti i za one dvodimenzionalne distribucije za koje je koeficijent korelacije $r > 0,4$ jer je odgovarajući omjer korelacije $\eta_{xy} > 0,5$.

4. ZAKLJUČAK

Pri istraživanjima i realizaciji proračuna stohastičkih procesnih informacija potrebno je provesti kontrolu stohastičke zavisnosti između slučajnih varijabli pojedinih funkcijskih modula sistema. Za EEP-a prikladno je stohastičku zavisnost izračunati pomoću koeficijenta korelacije r i provesti kontrolu empirijskom korelacijom, tj. parametrom — omjer korelacije η .

Na temelju provedenih istraživanja u realnom sistemu utvrđeno je da stohastičku zavisnost informacijskih događaja EEP-a u procesu možemo zanemariti u 90–95 % ispitanih dvodimenzionalnih distribucija. To znači da u formiranju modela stohastičkih informacijskih tokova EES-a možemo slučajne varijable informacijskih događaja tretirati, s odgovarajućom manjom pogreškom, kao nezavisne slučajne varijable. Za one koji poznaju proces EES-a rezultati istraživanja su unutar očekivanog, tj. postoji stohastička zavisnost informacijskih događaja u realnom vremenu u većoj ili manjoj mjeri. Sigurno je da se ta činjenica mora uzeti u obzir u određenim specifičnim istraživanjima pogona EES-a.

Oznake

f_{ij} — frekvencija vremenskih intervala urednog para (x_i, y_j)
 f_i, f_j — marginalne frekvencije vremenskih intervala

m_1, m_2 — maksimalne vrijednosti za x_i i y_j
 N — ukupni broj promatranih vremenskih intervala τ
 r — koeficijent korelacije
 S_x^2, S_y^2 — suma kvadrata udaljenosti točaka x_{ij} (y_{ij}) od točaka krivulje regresije X_j (Y_j)
 X, Y — slučajne varijable funkcijskih modula EEP-a
 x_i, y_j — vrijednosti slučajnih varijabli X, Y
 \bar{x}_j, \bar{y}_i — uvjetne srednje vrijednosti slučajnih varijabli X, Y
 \bar{x}, \bar{y} — srednje vrijednosti slučajnih varijabli X, Y
 Y_i — točke ordinate krivulje regresije
 η_{xy}, η_{yx} — omjer korelacije
 μ_{11} — korelacijski moment slučajnog vektora (X, Y)
 μ_{11}^2 — ishodišni korelacijski moment
 σ_x^2, μ_{20} — disperzija (varijanca) slučajne varijable X
 σ_y^2, μ_{02} — disperzija (varijanca) slučajne varijable Y
 σ_{mx}, σ_{my} — disperzija uvjetnih \bar{x}_j (\bar{y}_i) i ukupne srednje vrijednosti \bar{x} (\bar{y})
 τ — promatrani 5-sekundni intervali procesa

LITERATURA

- [1] V. VRANIĆ: »Vjerojatnost i statistika«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1971.
- [2] L. SACHS: »Angewandte Statistik-Planung und Auswertung Methoden und Modelle«, Springer — Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1974.
- [3] Ž. PAUŠE: »Vjerojatnost, informacije, stohastički procesi«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [4] Ž. PAUŠE: »Uvod u teoriju informacije«, — Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [5] J. ŠIMUNIĆ: »Učestalost spontanih informacija u procesu prenosne mreže«, Energija, god. 30(1981) br. 5–6, str. 211–214
- [6] D. J. GAUSHELL: »Analysis of analog data dynamics for Supervisory control and data Acquisition systems«, IEEE Transactions PAS-102, No. 2, February 1983.
- [7] N. BARANOVIĆ, V. KAVUR: »Minimizacija količine podataka i broja obrada sistema daljinskog vođenja u realnom vremenu«, XVIII savjetovanje CIGRE, Budva, 1987.
- [8] J. ŠIMUNIĆ: »Dinamika procesnih informacija EEP-a prikazana kao slučajna veličina na osnovu eksperimentalnih istraživanja«, VII. stručno savjetovanje o upravljanju i informatici, Cavtat, 1990, R 1.08
- [9] J. ŠIMUNIĆ: »Prostor vjerojatnosti skupa procesnih informacija EEP-a«, Energija br. 4, Zagreb, 1990.
- [10] J. ŠIMUNIĆ: »Procesne informacije EEP-a opisane n-dimenzionalnim slučajnim vektorom«, Strojarsvo 32 (5), Zagreb 1990.
- [11] H. SCHÖRER: »Statistik«, Bern, 1946.
- [12] A. TSCHUPROW: »Grundbegriffe und Grundprobleme der Korrelationsrechnung«, Leipzig, 1925.

CORRELATION ANALYSIS FOR ELECTRICAL POWER SYSTEM INFORMATION IN REAL TIME

Information flows in real time in an electrical power system are random and can be described by random variables. As an information source, electrical power substations can be described using a number of random variables for corresponding informational events. The procedure for determining the stochastic dependence of these random variables is presented as well as the research results in an actual power system.

ANALYSE DER KORRELATION FUER DIE INFORMATIONEN DES EES IN REALER ZEIT

Die Informationsläufe des EES in realer Zeit sind zufälligen Charakters und können mit zufälligen Variablen beschrieben werden.

Die elektroenergetische Anlage (EEA), als Informations — quelle kann mit mehreren zufälligen Variablen für dazugehörige Informationsereignisse beschrieben werden.

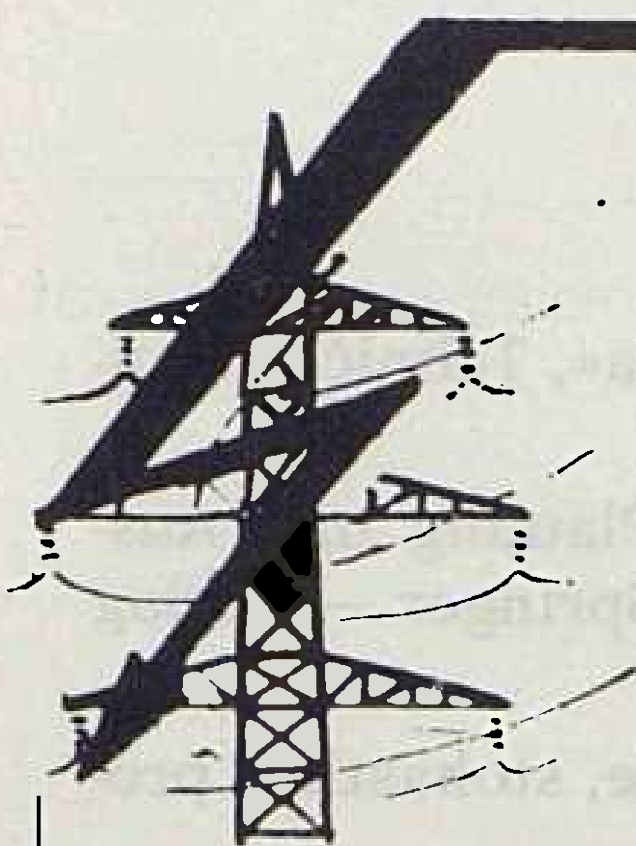
In dieser Arbeit beschreibt man die Methode der Bestimmung der stochastischen Abhängigkeit für die angeführten zufälligen Variablen.

Es wurden auch die Ereignisse der Untersuchung im realen EES präsentiert.

Naslov pisca:

**Mr. Juraj Šimunić, dipl. inž.
Tehnički fakultet Rijeka,
51000 Rijeka, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:
1991-01-22.



STRUJA

ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P.O. ZAGREB

GUNDULIĆEVA 16

Telefon: 420-786, 420-791

428-176, 273-909

Telefax: 428-957

PRERADOVIĆEVA 32

Telefon: 416-209, 449-486

Telefax: 446-632

ŽIRO RAČUN: 30102-601-5049

Obavještavamo poštovane korisnike naših proizvoda, da smo usvojili izradu pribora za rezanje pešel cijevi i završnih rozeta za pešel cijevi PG-21, 29 i 36 mm, kao i PG uvodnica predviđene za priključak rozete u veličinama PG 21, 29 i 36 mm.

Pribor za rezanje cijevi se sastoji od škripca i pile sa rezervnim listom, a isporučuje se u torbici.

Sve informacije možete dobiti na našoj adresi »STRUJA« Zagreb, Gundulićeva 16, tel. 420-786, 420-791, fax. 428-957.

TRENDOVI TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I NOVA ORIJENTACIJA PROJEKTIRANJA I IZVEDBE POSTROJENJA SN I MJESNIH TS SN/NN U ELEKTRODISTRIBUCIJI

Josip Neveščanin, Split

UDK 621.316.3
PREGLEDNI RAD

Analizira se tehnoekonomsko značenje postrojenja u elektrodistribuciji, trendovi tehničko-tehnološkog razvoja u usporedbi s aktualnom standardizacijom i dosadašnjim iskustvima primjene tzv. tipizacije postrojenja SN i mjesnih TS SN/NN Hrvatske elektroprivrede. Pokazuje se na potrebu njihove aktualizacije i usklađenja s trendovima razvoja novih tehnologija i pozitivnim iskustvima razvijenih elektrodistribucija u svijetu.

Ključne riječi: standardizacija, tipizacija, tehnološki razvoj.

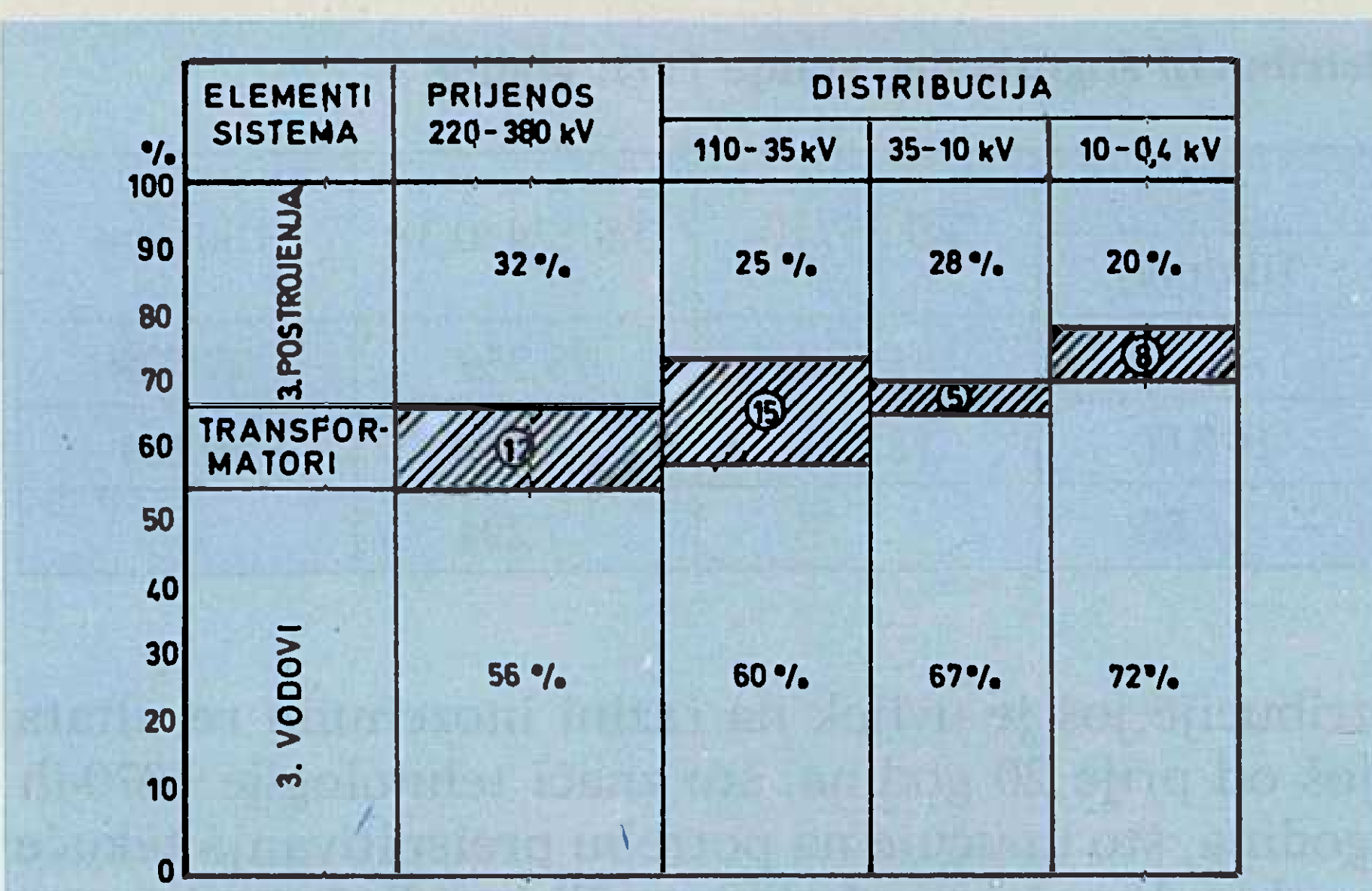
1. GOSPODARSKO ZNAČENJE POSTROJENJA U ELEKTRODISTRIBUCIJI

S obzirom na mogućnosti proizvođača elektroopreme za zadovoljenje pojedinih elektrodistribucijskih funkcija, danas treba računati s više mogućih tehničko-tehnoloških varijanti rješenja, a time i troškova potrebnih za izgradnju i održavanje pojedinih elemenata elektrodistribucijskog sistema.

Osnovne elemente svakog elektrodistribucijskog sistema čine, kao što je poznato:

- postrojenja i
- vodovi.

Gospodarsko značenje postrojenja i vodova ovisno o nazivnom naponu u elektrodistribucijskom sistemu ilustriraju podaci na slici 1.



Slika 1. Gospodarsko značenje elemenata distribucije

Elektrodistribucijski gledano gospodarsko značenje vodova u sistemu povećava se sa smanjenjem nazivnog napona, a kod postrojenja obrnuto. Tako npr. dok u prijenosnoj mreži na postrojenja otpada gotovo 50% ukupnih troškova, u elektrodistribuciji se to

smanjuje u sistemu 110–35 kV na 40%, a u sistemu 10–0,4 kV na čak 1/4 ili točnije svega 28%. Za kvalitetu isporučene električne energije na NN isto je značajan prostorni raspored i lokacija posebno TS SN/NN, što praktički znači broj elektrodistribucijskih postrojenja. Tako npr. u elektrodistribuciji Jugoslavije danas već ima oko 100 000 distribucijskih TS SN/NN prosječne instalirane snage prema službenoj statistici JUGEL-a 1977. godine od 294 kVA/TS, dok npr. u EdF (elektrodistribucija Francuske) za više od 500 000 TS SN/NN, to iznosi ukupno 92 kVA/TS.

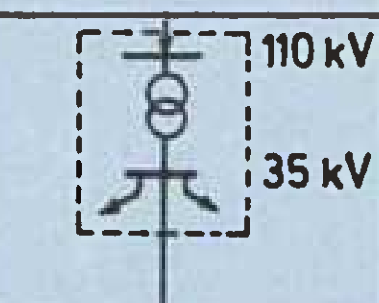
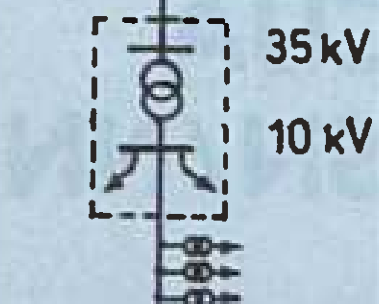
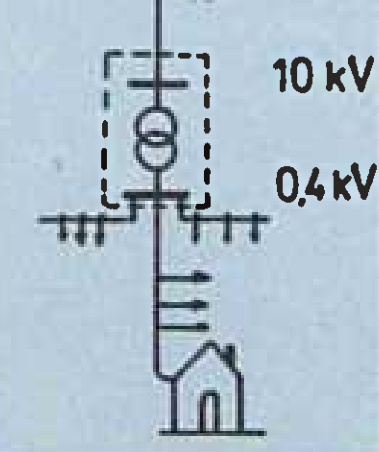
Ovo praktički znači da se kod nas distributivne TS SN/NN grade za oko 3 puta veće jedinične snage nego u najrazvijenijim elektrodistribucijama u Evropi. Kao direktna posljedica ovakve orijentacije u izgradnji distribucijskih TS SN/NN je to da iako globalni kapacitet ovih TS zadovoljava globalne potrebe konzuma samo za zadovoljenje kriterija kvalitete isporučene električne energije preko mreže NN prema nekim analizama u distribuciji Hrvatske i Dalmacije postojeći broj TS SN/NN trebalo bi praktički povećati za 2–3 puta.

Što bi to praktički značilo, vidljivo je iz strukture troškova jednog distribucijskog sistema prikazanog na slici 2.

Dok npr. na ukupna postrojenja elektrodistribucije otpada oko 1/3 ukupnih troškova od čega samo na TS SN/NN oko polovina ili točnije oko 12%, kod distributivnih vodova to iznosi čak 70%, od čega samo vodovi NN čine više od polovine ili oko 40% troškova sistema. Od ukupne dužine vodova elektrodistribucije Jugoslavije otpada:

- na kabele 13%
- na nadzemnu mrežu čak 87%,

što s obzirom na različite jedinične cijene kabelaške i nadzemne mreže daje odgovarajuću strukturu troškova koja približno iznosi:

OSN.HEMA SISTEMA	NAZIV ELEMENATA SISTEMA	UČEŠĆE U TROŠKOVIMA SISTEMA
	1. TS 110 / 35 kV	5.22 %
	2. ELEKTRIČNA MREŽA 35 kV	1.26 %
	3. TS 35 / 10 kV	15.21 %
	4. ELEKTRIČNA MREŽA 10 kV	24.36 %
	5. TS 10 / 0,4 kV	12.38 %
	ELEKTRIČNA MREŽA N.N.	35.85 %
	KUĆNI PRIKLJUČCI	5.22 %
	UKUPNO	100 %

Slika 2. Struktura troškova u % elektrodistributivnog sistema

- za kabelski dio distributivne mreže 28%
- za nadzemni dio distributivne mreže 72%.

Prema tome, uz vodove glavnu stavku čine postrojenja SN i TS SN/NN.

2. OPĆI TRENDOVI TEHNIČKO-TEHNOLOŠKOG RAZVOJA POSTROJENJA ELEKTRODISTRIBUCIJE

2.1. Struktura i veličina elektrodistribucijskih postrojenja

Osnovnu strukturu elektrodistributivnih postrojenja danas čine:

- TS 110/x kV
- TS 35/10 kV
- TS SN/NN.

Prema statističkim podacima JUGEL-a, publiciranim 1989. godine, situacija u elektrodistribuciji Jugoslavije navedena je u tablici 1.

Tablica 1. Struktura i prosječna veličina postrojenja u elektrodistribuciji Jugoslavije, stanje 1977. godine

Jedinica mjere	TS 110/x kV			TS 35/10	TS SN/0,38	Ukupno
	110/35	110/10(20)	Ukupno			
1. Komada	122	167	289	1 380	75 359	77 028
2. MVA	7 017	7 500	14 517	12 482	22 162	49 161
3. MVA/TS	57	45	50	9	294	—

Iz pregleda podataka o stanju strukture elektrodistribucijskih TS u Jugoslaviji je evidentno ovo:

- Još od 1965. godine stagnira izgradnja distributivnih TS 35/10 kV na način izgradnje distributivnih TS 110/x kV.
- U proteklih 25 godina izgrađeno je energetskih kapaciteta distributivnih TS 110/x kV više od kapaciteta TS 35/10 kV.
- Više od polovine distributivnih TS 100/x kV čine trafostanice modernije tehnologije i to TS 110/10(20) kV.

- Prosječna veličina distributivnih TS 110/x kV je 50 MVA.

TS 35/10 kV je slična onima u nadzemnim mrežama u kojima dominira klasična tehnologija osim TS SN/NN kod kojih je prosječna snaga bliža onim u kabelskim nego nadzemnim mrežama.

Prema tome, s elektrodistributivnog stajališta aktualizira se pitanje općih tendencija tehničko-tehnološkog razvoja i standardizacije, i to prioritarno ovih dijelova postrojenja:

- srednjonaponskih elektrodistributivnih postrojenja
- mjesnih TS SN/NN

i njihove komparacije s praksom i rezultatima razvijenih inozemnih elektroinstalacija.

2.2. Opći trendovi tehničko-tehnološkog razvoja i postrojenja SN

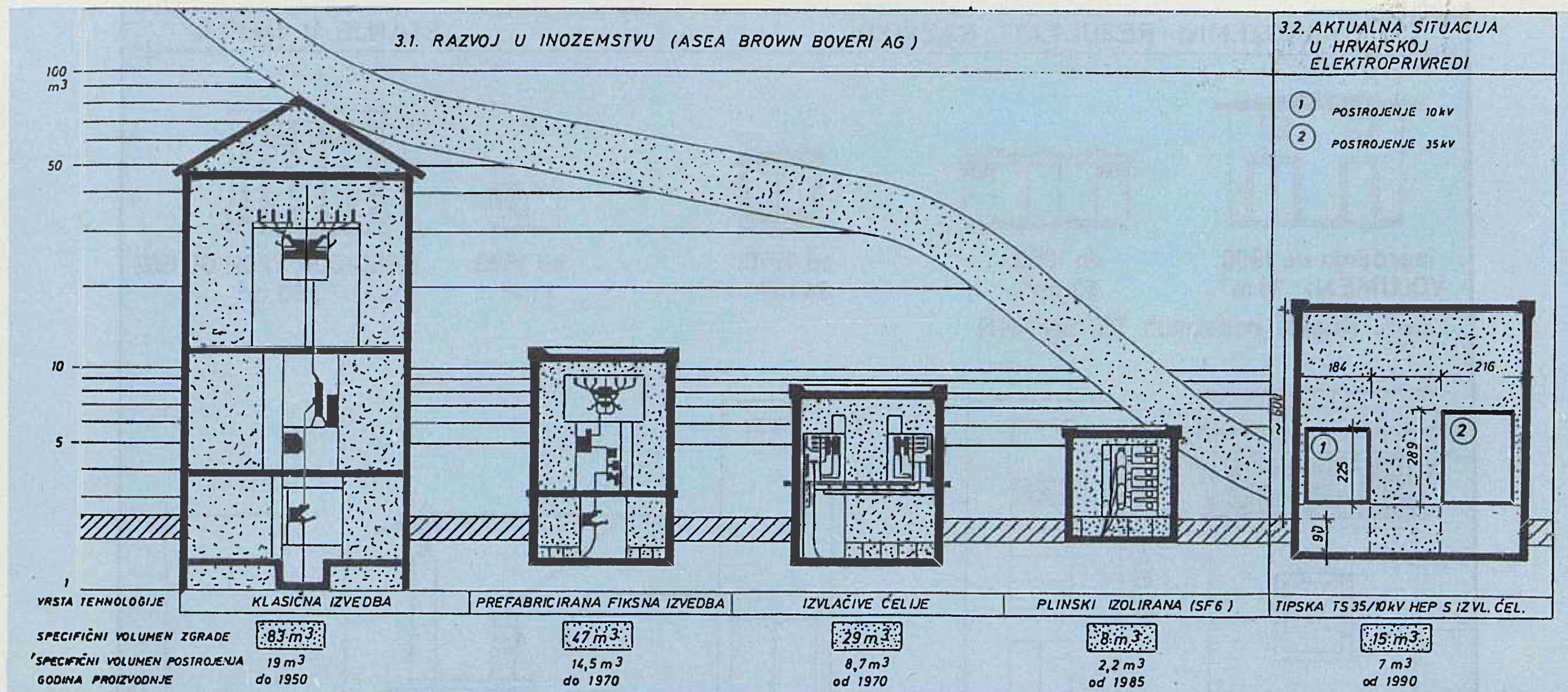
U dosadašnjem tehničko-tehnološkom razvoju i izvedbi srednjonaponskih postrojenja očituju se četiri karakteristične etape s pokazateljima potrebnog građevinskog brutoprostora, kao i potrebnog netoprostora samo za rasklopište po jednom polju u m³ kao što je prikazano na slici 3.

Radi usporedbe navode se rezultati najnovije domaće prakse gradnje srednjonaponskih rasklopnih postrojenja kod kojih još uvijek ovisno o nazivnom naponu veličine potrebnog volumena iznose:

Nazivni napon	35 kV	10 kV
1. Ukupno izgrađeni volumen po polju	35 m ³	20 m ³
2. Volumen rasklopišta po polju	14,8 m ³	6,7 m ³

Prema tome, naša današnja tehnologija gradnje srednjonaponskih rasklopnih postrojenja elektrodistribucije još je uvijek na razini inozemnih rezultata još od prije 20 godina, što znači tehnologije 1970-ih godina, što upućuje na potrebu preispitivanja tekuće prakse kao i već donesene ili predložene interne standardizacije većine naših distribucija, posebno one predložene u okviru ZEOH-a. U vezi s tim treba istaći još sljedeće: u aktualnoj današnjoj elektrodistributivnoj praksi gradnje srednjonaponskih postrojenja primjenjuju se tri osnovne vrste tehnologije:

- klasična
- izvlačive ćelije



Slika 3. Trend tehnološkog razvoja postrojenja SN (do 20 kV)

— oklopljena s izolacijom od plina ili vakuumaska tehnika za koje je usporedba troškova dana na slici 4.

Aktualnom standardizacijom ZEOH-a predložena su kao standardna rješenja u distribuciji Hrvatske srednjonaponska postrojenja s izvlačivim čelijama, koja su praktički dvaput skuplja od klasične tehnologije ili tzv. novije tehnologije SF 6. U vezi s tim važno je istaći stav kompetentnih stručnjaka sudionika CI-RED-a 1989. godine prema kojima treba očekivati takve trendove razvoja elektrodistributivnih srednjonaponskih postrojenja u budućnosti prema kojima će se postupno postojeća klasična tehnologija metalom oklopljena i zrakom izoliranih postrojenja, kao i tehnologija izvlačivih čelija sve češće supstituirati s uspinjućim trendovima primjene plinom izolirana postrojenja. S obzirom na očekivani vijek trajanja srednjonaponskih postrojenja sva aktualna gradnja i rješenja, posebno ona sistemskog karaktera trebala bi se temeljiti na pozitivnim iskustvima i općim trendovima tehničko-tehnološkog razvoja kako domaće isto tako i inozemne elektrodistributivne prakse.

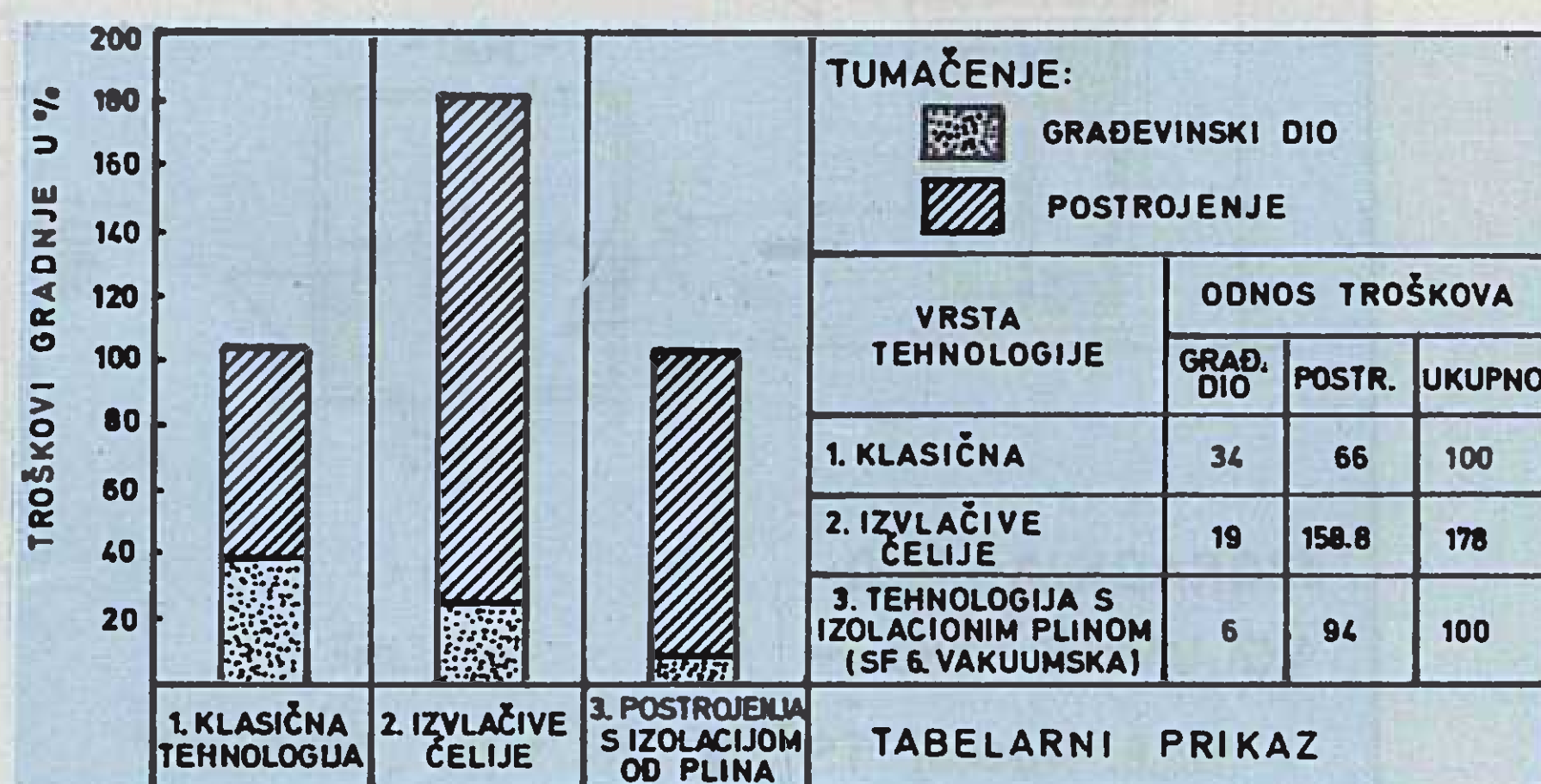
3. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI RAZVOJ I PITANJE STANDARDIZACIJE I TIPIZACIJE OPREME DISTRIBUTIVNIH TS SN/NN

3.1. Struktura i vrsta tehnologije distributivnih TS SN/NN

Tehnologija izvedbe elektrodistributivnih mreža SN i NN uvjetuje potrebnu minimalnu visinu, a time i vrstu distributivnih TS SN/NN. U tom pogledu razlikujemo dvije osnovne vrste distributivnih TS SN/NN:

- kabelaška TS SN/NN
- TS SN/NN za nadzemne mreže.

U elektrodistributivnim kabelaškim mrežama još se uvijek grade TS SN/NN prema ovim osnovnim tehnologijama:



Slika 4. Utjecaj tehnologije na cijenu izgradnje postrojenja srednjeg napona (20, 10 kV)

- klasičnom izgradnjom i montažom električne opreme na samom mjestu
- sklapanjem tvornički dogotovljenih elemenata građevinskog i elektromontažnog dijela
- postavljanjem tvornički kompletno izrađene tzv. mini-kompaktne TS SN/NN.

U nadzemnim mrežama još se uvijek grade dva tipa TS SN/NN:

- TS SN/NN tornjić
- TS SN/NN stupna

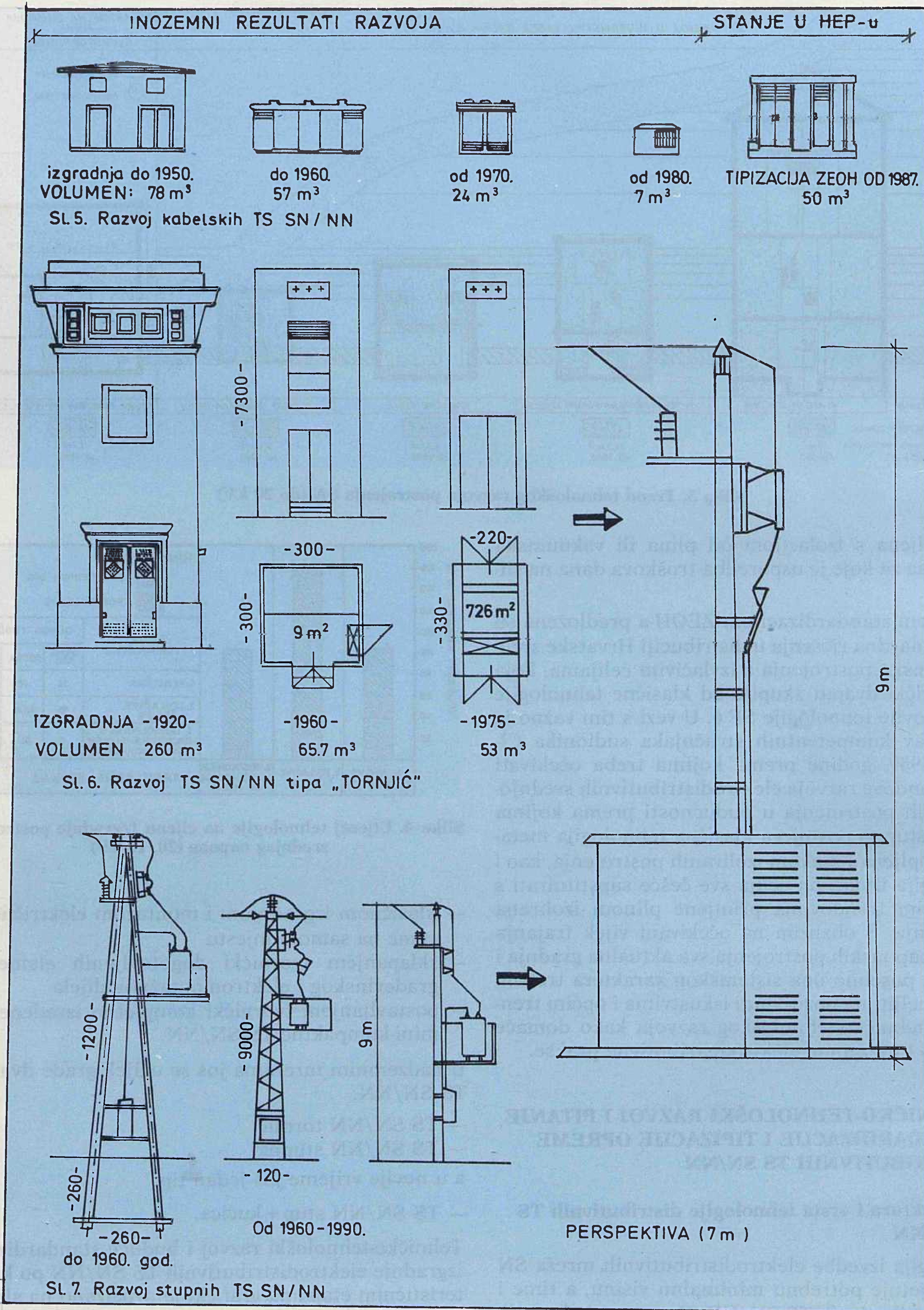
a u novije vrijeme još jedan tip:

- TS SN/NN stup + kućica.

Tehničko-tehnološki razvoj i buduće standardizacije izgradnje elektrodistributivnih TS SN/NN po karakterističnim etapama grafički je prikazano na slici 5.

Gospodarsko značenje ovih triju osnovnih tipova distributivnih TS SN/NN na temelju tekućih cijena i za aktualna tehničko-tehnološka rješenja grafički je dato na slici 8.

Usporedni podaci o strukturi osnovnih tipova distributivnih TS SN/NN jedne razvijenije inozemne distribucije (EdF) i prilika npr. u Dalmaciji navedena je u tablici 2.



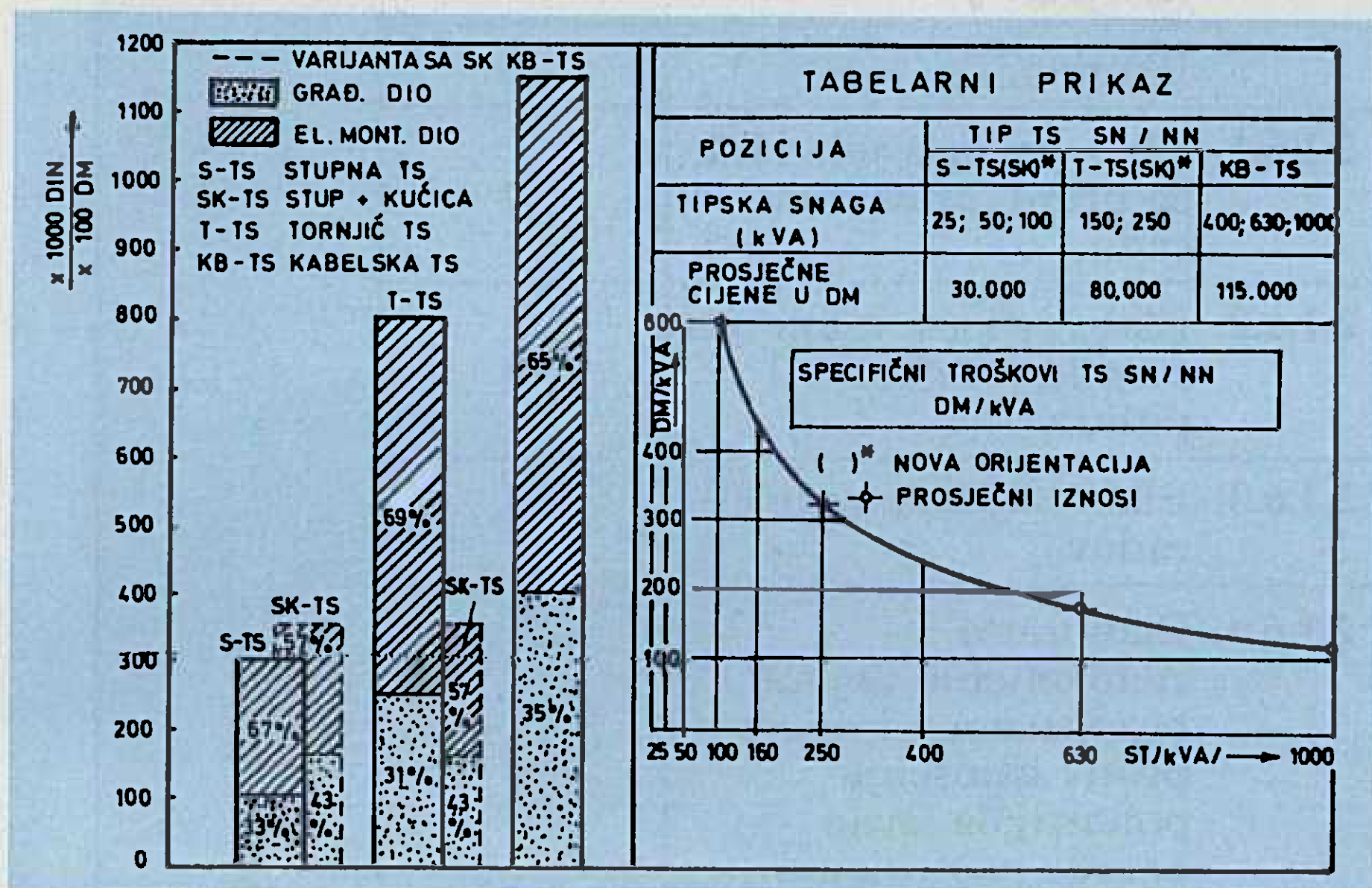
Tehničko tehnološki razvoj i perspektivna orijentacija standardizacije izgradnje elektrodistributivnih TS SN/NN

Tablica 2. Usporedba rezultata primjene osnovnih tehnologija mjesnih TS 10 (20) /0,4 kV

Područje	1. TS 10(20)/0,4 kV za KB-mreže	2. TS 10(20)/0,4 kV za nadzemne mreže			Ukupno
		2.1. Tornjić	2.2. Stupne	2.3. Kućica + stup	
1. E d F	25%	0	46%	29%	100
2. Dalmacija	44%	35%	21%	0	100

Na temelju tih rezultata može se konstatirati ovo:

- Aktualna distributivna TS SN/NN standardizirana na razini ZEOH-a tek 1988. godine je klasične ili polumontažne izvedbe ukupnog volumena oko 64 m³, što odgovara tehnologiji primjenjivanoj kod razvijenijih inozemnih distribucija u razdoblju 1950–1960. godine.



Slika 8. Struktura i odnosi cijena standardnih tipova distribucijskih TS SN/NN

- U našim nadzemnim elektrodistributivnim mrežama ima već toliko izgrađenih TS SN/NN tipa »tornjić« da na njih otpada gotovo polovica ukupnog broja distributivnih TS SN/NN koji predstavljaju apriori klasičnu tehnologiju, zbog čega je cijena ove TS približno dvaput veća od stupne, a iznosi čak 65% cijene standardne kabelaške TS SN/NN.
- U našim elektrodistributivnim mrežama ima neopravdano malo stupnih TS SN/NN na koje, npr. kod EdF-a, otpada čak 75% od TS SN/NN prosječne snage od svega 56 kVA od kojih 29% onih tipa stup + kućica. Pritom treba istaći da je na temelju dosadašnjih pozitivnih iskustava također na zadnjem zasjedanju CIRED-a 1989. godine donesena posebna preporuka o orijentaciji na ovakav tip TS SN/NN i u tipičnim uvjetima seoske elektrifikacije.

4. PRVA ISKUSTVA NOVE ORIJENTACIJE PROJEKTIRANJA I PRIMJENE STANDARDNIH TIPOVA POSTROJENJA U ELEKTRODISTRIBUCIJI HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Postrojenja u elektrodistribuciji, kao što je poznato, u količinskom i tehno-ekonomskom pogledu pred-

stavljaju znatno manju stavku u odnosu na električne vodove. Na unapređenju projektiranja i tipizacije postrojenja u toku su znatno veće aktivnosti od ostalih dijelova sistema.

Zbog toga se smatralo važnim iznijeti neka početna iskustva nove orijentacije projektiranja i standardizacije postrojenja elektrodistribucije HEP-a.

Problematici projektiranja tzv. tipskih postrojenja pristupilo se znatno prije, i to najprije u okviru pojedinih elektrodistribucija, a zadnjih 10 godina i na razini elektrodistributivnog sustava Hrvatske. Poticaj tome davao je nagli razvoj novih tehnologija i godišnji porast novih postrojenja SN i TS VN/NN u elektrodistribuciji. U vezi s tim proizlazi da se u zadnjih 50 godina svakih 10 godina javlja nova tehnologija postrojenja SN i da postojeća situacija tekućeg projektiranja tipizacije i izgradnje postrojenja elektrodistribucije u nas u globalu znatno zaostaje za najnovijim trendovima razvoja, posebno u razvijenijim i inozemnim distribucijama.

Pritom tekuća projektantska praksa postrojenja SN u elektrodistribuciji ostvaruje znatno veću kvalitetu od aktualne »tipizacije«, posebno one na razini sistema. Radi ilustracije ističe se da se još uvijek pod »tipizacijom« neopravdano smatra više različitih pojmova i radnji, standardizacija, unifikacija, smjernice i tehničke preporuke, tipizacija i slično iako je opće poznato da tipizacija predstavlja izbor određenog broja elemenata iz standardnog niza, kao što su npr. tipski presjek vodova, snage transformatora, sklopke i slično. Za takvu nepreciznost i zbrku pojmova nema praktičnog opravdanja i trebalo bi ga što prije određenom internom regulativom i profesionalizacijom unutar elektroprivrede i elektrodistribucije staviti u adekvatne stručne okvire. Prema tome, kod nove orijentacije projektiranja i tipizacije nekih osnovnih elemenata, pri čemu polaznu osnovu standardizacije postrojenja čini standardizaciju njezinih osnovnih elemenata zvanih modul, čijim se slaganjem po određenim elektroprivrednim pravilima, uvjetima i kriterijima dobiva standardno postrojenje prema potrebi različitog opsega ili konfiguracije.

Polazeći od ovih načela, novija orijentacija projektiranja elektrodistributivnih postrojenja upravo je takva da se projektno-tehnička dokumentacija sastoji od dva dijela:

- standardne dokumentacije i
- prilagodne dokumentacije,

čiji odnos u pogledu opsega obrade već danas iznosi po elementima sistema, kao što je navedeno u tablici 3.

Tablica 3. Pregled potrebne projektno-tehničke dokumentacije za ishođenje građevinske dozvole TS 110/ x 35/10 i TS 10(20)/0,4 kV uz novu orijentaciju na novi način projektiranja (stand. + prilag. dokument.)

Vrsta TS	1. Standardna dokumentacija	Broj knjiga	2. Prilagodna dokumentacija	Broj knjiga		
				Prilagodni dio	Sveukupno	
1.1. TS 110/35 kV	1.1.1. Opći dio	1	2.1.1. Dokumentacija i suglasnosti	1	44	
	1.1.2. Postrojenje 110 kV	11	2.1.2. Prilagodba elektromont. dijela	1		
	1.1.3. Postrojenje 35 kV	3	2.1.3. Projekat priključne mreže	1		
	1.1.4. Zajednička sekundarna oprema	2	2.1.4. Prilagodba arh. građ. dijela urbanist. uvjetima i uvjetima lokacije	1		
	1.1.5. Vlastita potrošnja	2	2.1.5. Prilagodba građevinske dokumentacije	2.1.5.1. Projekat pripremnih radova		1
	1.1.6. Uzemljenje, gromobranska zaštita i rasvjeta vanjskog prostora	1		2.1.5.2. Projekat temelja kanala, odvoda i puteva vanjskog postroj.		1
				2.1.5.3. Projekat čeličnih konstrukcija vanjskog postrojenja		1
	1.1.7. Zgrada, komande pomoćnih pogona i prostorije – SN	2		2.1.5.4. Projekat vanjskog pristup. puta i javne rasvjete		2
				Ukupno:		5
	1.1.8. Čelične konstrukcije modula	4	2.1.6. Elaborati	2.1.6.1. Elab. prikaza teh. rješ. za primj. pravila na radu		1
	1.1.9. Objekti platoa	3		2.1.6.2. Elab. prikaza tehn. rješ. za primj. zaštite od požara		1
1.1.10. Uključenje TS u sustav daljins. vođenja	1	2.1.6.3. Elab. izvješ. o geomeh. radov.		1		
1.1.11. Uključenje TS u telekomunikac. mrežu	1	2.1.6.4. Elaborat o zadovoljenju uvjeta bezopasnosti i mjera protiv iznošenja potencijala izvan ograde postrojenja		1		
Ukupno:	31	Ukupno:		4		
1.2. TS 110/20 kV	1.2.1; 1.2.2. Kao u 1.1.	12	2.2. Kao 2.1.	13	43	
	1.2.3. Postrojenje 20 kV	3				
	1.2.4. do 1.2.11. kao u 1.1.	16				
	Ukupno:	31				
1.3. TS 110/10 kV	1.3.1. i 1.3.2. Kao u 1.1. 1.2.	12	2.3. Kao 2.1. i 2.2.	13	43	
	1.3.3. Postrojenje 10 kV	2				
	1.3.4. do 1.3.11. Također kao 1.1. i 1.2.	16				
	Ukupno:	30				
1.4. TS 35/10 kV	1.4.1. Opći dio elektromontažnog projekta	1	2.4.1. Dokumentacija i suglasnosti	1	16	
	1.4.2. Strujne sheme i montažni nacrti	1	2.4.2. Prilagodba elektromontaž. dijela	1		
	1.4.3. Uzemljivački sustav	1	2.4.3. Projekt priključnih vodova	1		
	1.4.4. Projekt el. instalacije i gromobrana	1	2.4.4. Prilagodba arhit.-građ. dijela	1		
	1.4.5. Opći dio arh. građ. projekta	1	2.4.5. Projekt pristupnog puta	1		
	1.4.6. Projekt arhitekture	1	2.4.6. Od 2.4.6.1. – 2.4.6.4. kao 2.1.	4		
	1.4.7. Projekt statike i konstrukcije	1	Ukupno:	9		
	Ukupno	7				
1.5. TS 10(20)/0,4 kV	1.5.1. Elektromontažni projekat	1	2.5.1. Prilag. dokument. el. montaž. dijela	1	4	
	1.5.2. Projekt arhitektonsko-građ. dijela	1	2.5.2. Prilag. dokum. arh. građ. dijela	1		
	Ukupno:	2	Ukupno:	2		

* Uvjet za tehnički pregled i ishođenje uporabne dozvole

Prva standardna dokumentacija TS 110/x kV u Hrvatskoj izrađena je 1984. godine s prvom primjenom za TS 110 kV »VIR« puštenom u pogon tek 1987. godine.

Sa zadovoljstvom se može konstatirati da je prema ovoj standardnoj dokumentaciji do danas samo u Hrvatskoj projektirano 18 novih TS 110/x kV, od kojih je u proteklih 6 godina već izgrađeno 15, ili po pojedinim regijama u Hrvatskoj, kao što je navedeno u tablici 4.

Do tipizacije TS 35/10 kV na razini Hrvatske elektrodistribucije još nije došlo iako su obavljene sve predradnje.

Zbog toga pojedine distribucije u Hrvatskoj još uvijek primjenjuju vlastitu standardizaciju TS 35/10 kV. Tako je npr. na području »ED« Split od ukupno 80 TS 35/10 kV do sada izgrađeno:

- prema vlastitoj tipizaciji »ED« Split 16 TS 35/10 kV

Tablica 4. Pregled izgrađenih »Tipskih« TS 110/x kV po regijama Hrvatske elektroprivrede

Regija	Naziv	Primj. tehnologija		Nazivni napon (kV)	Godina projektir.	
		Grad. dio	Elek. dio			
			110 kV			SN (35.10.20)
1. Dalmacija	1.1. Benkovac	Polumontažna izvedba tipa »Lavčević« Split	Klasična u otvorenoj izvedbi	Izvlačive ćelije u objektu	110/20	1987.
	1.2. Nerežišće				110/35	1986.
	1.3. Makarska				110/35/10	1988/89.
	1.4. Blato				110/35	1989.
	1.5. Nin				110/35/10(20)	1990.
	1.6.* Kardeljevo (Ploče)				110/10	—
	1.7.* Drniš				110/20	—
	UKUPNO:				7 komada	
2. Rijeka – Istra	2.1. Delnice	Polumontažna izvedba tipa »Lavčević« Split	Klasična u otvorenoj izvedbi	Izvlačive ćelije u objektu	110/35	1985.
	2.2. Rovinj				110/20	1988.
	2.3. Pula Dolinka				110/35	1988.
	2.4. Pula 2				110/20	1987.
	2.5. Lošinj				110/35	1988.
	2.6.* Matulji				110/20(10)	1989.
	2.7.* Rab				110/20(10)	—
	Ukupno:				7 komada	
3. Zagreb	3.1. Virje	Polumontažna izvedba tipa »Lavčević« Split	Klasična u otvorenoj izvedbi	Izvlačive ćelije u objektu	110/35	1984.
	3.2. Mlinovac				110/20	1989.
	3.3. Prelog				110/35/10	1987.
	3.4. Petrinja				110/10(20)	1988/89
	Ukupno:				4 komada	
Sveukupno:	18 komada					

* Samo projektirano

Prema ovom proizlazi da od ukupno 120 TS 110/x kV u Hrvatskoj ih je već 15 ili više od 12% standardizirane izvedbe.

Početak primjene standardizacije i tipizacije elektrodistributivnih TS 35/10 kV uslijedilo je još znatno prije uglavnom parcijalno, i to različito po pojedinim elektrodistribucijskim poduzećima. Tako npr. u »Elektrodalmaciji« Split standardna dokumentacija TS 35/10 kV izrađena je još 1978. godine, i to za tri različita tipa:

- gradska 3 × 8 (16) MVA
- prigradska 2 × 8 (16) MVA
- seoska 2 × 4 (81) MVA

- prema prijedlogu tipizacije bivšeg ZEOH-a samo 1,

ili po pojedinim tipovima i vrstama tehnologija kao što je navedeno u tablici 5.

Kod TS 10(20)/0,4 kV interna tipizacija se počela primjenjivati na području »Elektrodalmacije« Split još prije 30 godina, a prema tehničkoj preporuci bivšeg ZEOH-a tek 1988. godine, prema kojoj je do sada na području Dalmacije izgrađeno samo oko 50 kom TS 10(20)/0,4 kV, što iznosi oko 2% ukupnog broja TS 10(20)/0,4 kV ili oko 50% novije godišnje izgradnje. Na temelju dosadašnjih iskustava orijentacijom na novi način projektiranja i izgradnje TS 110/x, 35/10 i

Tablica 5. Pregled TS 35/10 kV izgrađenih prema novoj orijentaciji projektiranja po vrstama tehnologije na području Dalmacije u razdoblju 1978 – 1990. g.

Tip TS 35/10 kV	Naziv TS	kom	Vrsta tehnologije			
			Građevin. dio	El. montaža dio		
1. Gradska 3 × 8(16) MVA	1.1. Brodogradilište	1	Klasična gradnja na samom mjestu s monier- pregradama	Klasična oprema s monier pregradama		
	1.2. Dobri	1				
	Ukupno:	2				
2. Prigradska 2 × 4(8) MVA	2.1. Miljevac	1				
	2.2. Kaštela	1				
	2.3. Podgora	1				
	2.4. Opuzen	1				
	2.5. Zamošće — Orebić	1				
	2.6. Sinj II	1				
	2.7. Baška Voda	1				
	2.8. Milna	1				
	2.9. Trilj	1				
	2.10. Pučišće	1				
	2.11. Metković 2	1			Polumontažna izvedba (tip »Aleksinac«)	Prefabricirana fiksna oprema Prefabric. izvlač.
	2.12. Ravnice	1				
	2.13. Čiovo	1				
	2.14. Marina	1				
	Ukupno:	14				
3. Seoska	3.1. Medov dolac	1	kao 1 i 2. 1. — 2. 10.	kao 1 i 2. 1. — 2. 10.		
Sveukupno 17 komada, što čini 21 % od ukupnog broja postojećih TS 35/10 kV						

10(20)/0,4 kV prema jedinstvenoj tipizaciji bivšeg ZEOH-a može se sasvim općenito konstatirati ovo:

- orijentacijom na novi način projektiranja korištenjem već izrađene standardne dokumentacije kompletirane s prilagodbom dokumentacijom za ishodenje građevinske dozvole već su ostvarene značajne racionalizacije i skraćeni rokovi projektiranja, npr. za TS 110/x kV prema nekim procjenama najmanje za 2–3 puta
- kod TS 35/10 kV i TS 10(20)/0,4 kV ti su pozitivni efekti još veći zbog najmanje ova dva razloga: jer se radi o manjim i jednostavnijim objektima gdje je prilagođavanje novim tehnologijama bilo brže i drugo, zbog masovnije primjene automatski su i veće mogućnosti za većim efektima, tako da skraćivanje rokova novim načinom projektiranja kod ovih objekata u odnosu na klasični pristup prema našem iskustvu iznosi čak 4–5 puta.

Postoji mogućnost još daljnjeg skraćivanja rokova novom orijentacijom projektiranja kako TS 110/x kV, isto tako i TS 35/10 kV i 10(20)/0,4, kao i pojeftinjenja izgradnje prema nekim procjenama čak za približno dva puta uz prethodnu realizaciju još i ovih pretpostavka:

- da se za TS 110/x kV izrade najmanje dva osnovna tipa standardne dokumentacije, i to jedna za gradske mreže tipske snage 3 × 40 MVA i druga za područne mreže veličine 2 × 40 MVA zadržavajući

standardni princip, čime bi se eliminirale dosadašnje česte manje izmjene i dorade standardnog dijela projekta

- da se definiraju takvi polazni elektroprivredni uvjeti i kriteriji koji bi sistemom automatizma osiguravali primjenu optimalne tehnologije u danim uvjetima. Prema sadašnjoj situaciji to su oklopljena SF6 postrojenja u gradskim TS 110/x kV u zonama intenzivnog aerozagadenja i posolice u priobalnom dijelu i na otocima, te klasične opreme u ostalim zonama
- tehnologija s izvlačivim ćelijama zbog dvaput veće cijene i ostalih problema vezanih uz tekuće opsluživanje trebalo bi generalno izbaciti iz standardne primjene u elektrodistribuciji.

Isto tako, za standardizaciju TS 35/10 kV i 10(20)/0,4 kV u elektrodistribuciji bi se na temelju dosadašnjeg iskustva trebalo osigurati sljedeće:

- izraditi tri osnovna tipa standardne dokumentacije, i to: tip 3 × 8(16) MVA za gradske mreže, 2 × 8(16) MVA za primjenu u prigradskim mrežama i manjim gradovima (općinski centri i ostale urbane zone manje gustoće stanovanja), te 2 × 4(8) MVA za primjenu u uvjetima seoske elektrifikacije
- glede standardizacije tehnologije postrojenja SN u elektrodistribuciji (35 i 10 kV), vrijedi slično kao i kod standardizacije TS 110/x kV, s tom razlikom

da bi orijentacija na primjenu SF6 postrojenja bila diktirana potrebama uštede na prostoru u gradskim mrežama i pouzdanošću pogona u zonama s intenzivnim aerozagadjenjima ili posolicom, dok bi u svim drugim situacijama prednost bila na strani klasične opreme

- tehnologija izvlačivih ćelija SN zbog dva puta veće cijene i drugih problema također ne dolazi u obzir za standardnu primjenu u elektrodistribuciji
- glede standardizacije elektrodistributivnih TS 10(20)/0,4 kV generalna orijentacija trebala bi biti na jednotransformatorske TS, i to u gradskim kabelskim mrežama prednost bi trebale imati tvornički dogotovljene kompaktne TS tzv. minidimenzija ($7 \text{ m}^2 \times 1,7 \text{ m}$), te stupne TS s kućicom za trafo u nadzemnim mrežama NN. Pritom tzv. klasični tornjić i klasične stupne TS s transformatorom na stupu ne bi se trebale uključivati u novu standardizaciju, kao ni TS 10(20)/0,4 kV s dva trafoa.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju iznesenih iskustava i rezultata o dosadašnjoj primjeni i standardizacije postrojenja Hrvatske elektroprivrede i elektrodistribucije može se općenito zaključiti ovo:

- Novija orijentacija projektiranja i standardizacije postrojenja elektrodistribucije podjelom na standardni i prilagodni dio uz standardizaciju pojedinih modula kao polaznih standardnih elemenata postrojenja pokazalo se uspješnom, što opravdava njenu daljnju primjenu i aktivnosti na proširenju broja tipova.
- Generalna tehnološka orijentacija SN na primjenu tzv. izvlačivih ćelija pokazala se neadekvatnom, te bi njihovu daljnju primjenu trebalo preispitati.
- Daljnja orijentacija standardizacije TS 110/x kV treba početi od najmanje dva tipa: gradski veličine $3 \times 40 \text{ MVA}$ i pokrajinski veličine $2 \times 40 \text{ MVA}$ i najmanje dvije tehnologije VN i SN, i to klasično i plinom izolirana SF6, čime će se automatski postići veći gospodarski efekti i proširiti područje primjene.
- Standardizacija elektrodistributivnih TS 35/10 kV treba uvažiti potrebu za tri osnovna tipa, i to: $3 \times 8(16)$, $2 \times 8(16)$ i $2 \times 4(8) \text{ MVA}$ uz mogućnost naknadne supstitucije s TS 110/x kV.
- Aktualnu standardizaciju elektrodistributivnih TS 10(20)/0,4 kV treba temeljito revidirati i uskladiti

s općim trendovima koncepcijskog i tehnološkog razvoja razvijenijih distribucija generalnom orijentacijom na jednotransformatorske stanice tvorničke proizvodnje u varijanti modularne i tzv. kompaktne »mini« izvedbe s mogućnošću brze mehanizirane montaže na samom mjestu, te novije varijante stupne TS s kućicom za transformator.

- Uz ovakvu novu orijentaciju projektiranja i standardizacije elektrodistributivnih TS10(20)/0,4 kV daljnja primjena tzv. tipa tornjić i klasične stupne s transformatorom na stupu, kao i dvotransformatorske kabelske TS više ne bi dolazile u obzir kao standardna rješenja u elektro distribuciji.

LITERATURA

- [1] Elektrizitätswirtschaft, Heft 10/'89 i 26/'89
- [2] Tehnička dokumentacija: Pogon projekt Elektroprivrede Dalmacije i Pogon projekt distribucije Split
- [3] Komercijalni podaci HEP-a Distribucija Split, 1991. godine

TRENDS IN THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND NEW ORIENTATION IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF MV SUBSTATIONS AND LOCAL MV/LV SUBSTATIONS IN DISTRIBUTION SYSTEMS

Analysis is presented of the technical and economic importance of substations in an electrical distribution system as well as trends in technical and technological development compared to current standardization and experience in applying the norms for MV and MV/LV substations in the Croatian electric supply. There is a definite need for their redefinition and coordination with the development trends of new technologies and positive experience of more developed electrical distribution systems in the world.

DIE TRENDS DER TECHNOLOGISCHEN ENTWICKLUNG UND DIE NEUE ORIENTIERUNG DES PROJEKTIERENS, SOWIE DIE AUSFUEHRUNGEN DER ANLAGEN SN UND DIE LOKALEN TS SN/NN IN DER ELEKTRODISTRIBUTION

Man analysiert die technoökonomische Bedeutung der Anlagen in der Elektrodistribution, die Trends der technisch — technologischen Entwicklung im Vergleich mit der aktuellen Standardisierung und den bisherigen Erfahrungen mit der Anwendung der sogenannten Typisierung der Anlagen SN und den lokalen TS SN/NN der kroatischen Elektrowirtschaft. Es wird auf die Notwendigkeit ihrer Aktualisierung hingewiesen, sowie die Uebereinstimmung mit den Entwicklungstrends der neuen Technologien und positiven Erfahrungen der entwickelteren weltweiten Elektrodistributionen.

Naslov pisca:

Josip Neveščanin, dipl. inž.
Hrvatska elektroprivreda,
Distribucija,
Pogon projekt distribucije
Split, 58000 Split, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1991-03-04.

STRUJA

ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P. O.

tel. centrala: 420791, 420786

ZAGREB

direktor: 273-909

GUNDULIĆEVA 16

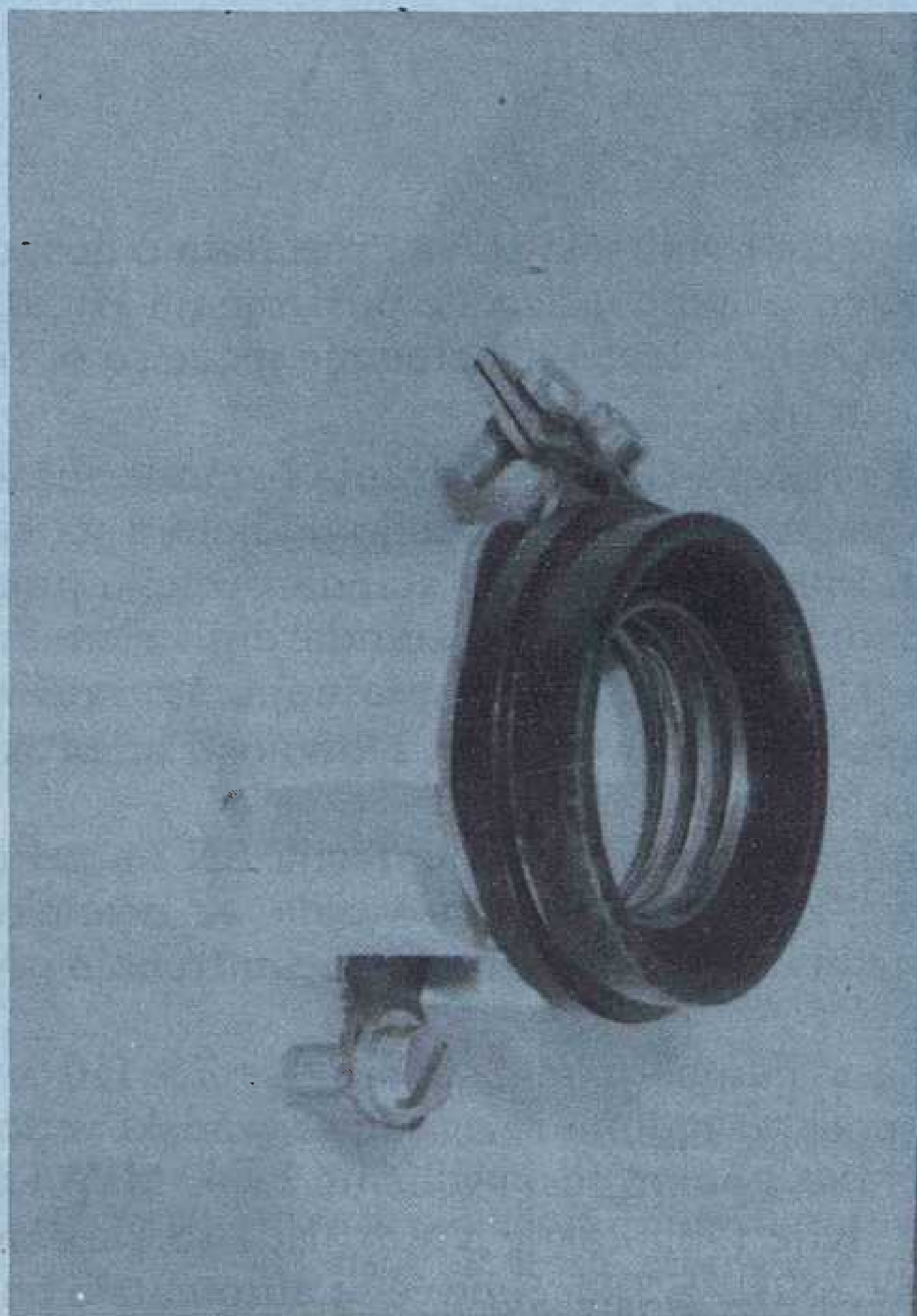
A T E S T

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

IZBOR OSNOVNIH KARAKTERISTIKA SKLOPNE OPREME U IZMJENIČNIM SISTEMIMA NAZIVNOG NAPONA IZNAD 420 kV

Ivan Naumovski — Milenko Bistrić, Zagreb

UDK 621.316.3:621.3.061

PREGLEDNI RAD

Dan je osvrt na postojeće mogućnosti izbora domaće sklopne opreme za visokonaponske izmjenične sisteme nazivnog napona većeg od 420 kV, te na standardne parametre te opreme.

Gljučne riječi: sklopna oprema, nazivni napon 765 kV.

1. UVOD

Izvori električne energije sve češće se grade na velikim udaljenostima od distributivne mreže. To upućuje na potrebu gradnje novih ili superponiranih visokonaponskih sistema koji moraju omogućiti ekonomičan prijenos velikih snaga.

Polazni elementi za razvoj novih visokonaponskih sistema su postojeći visokonaponski sistemi, planovi porasta opterećenja pojedinih točki i planovi izgradnje novih izvora za razdoblja od oko 15 do 25 godina. Prognoza tokova energije osnovni je element koji određuje naponske razine i pogonske struje. Pritom se uzima u obzir trajno opterećenje u normalnom pogonu i opterećenje u slučaju smetnje i ispada dijela mreže tijekom određenog vremena. Važan parametar je i rad superponirane mreže u podopterećenom ili neopterećenom režimu, kad dolazi do generiranja kapacitivne energije, uz mogućnost Ferrantijeva povišenja napona i ugrožavanja stabilnosti sistema.

Svrha je ovog rada da daje osvrt na postojeće mogućnosti izbora domaće sklopne opreme za visokonaponske izmjenične sisteme nazivnog napona iznad 420 kV, te osvrt na standardne parametre te opreme sadržane u postojećim dokumentima IEC za istu opremu. Oprema za istosmjerne sisteme najviših napona nije razmatrana zbog vrlo malih iskustava domaćih proizvođača u proizvodnji i korištenju sklopne opreme za istosmjerne sisteme.

2. OSNOVNE STANDARDIZIRANE KARAKTERISTIKE SKLOPNE OPREME NAZIVNOG NAPONA 765 kV

Na temelju IEC standarda Publikacije 694 od 1980. (Zajedničke odredbe za standarde za visokonaponske sklopne aparature) za nazivne napone iznad 420 kV postoje dvije standardizirane razine — 525 kV i 765 kV. U novijim IEC dokumentima o standardnim

naponima predlažu se nove vrijednosti — 550 kV umjesto 525 kV, 800 kV umjesto 765 kV i 1050 kV, eventualno 110 kV — kao nova razina. Kako je naponska razina 525 kV zapravo alternativa naponskoj razini 420 kV, u ovom radu zadržat ćemo se na naponskoj razini 765 kV kao općenito najprihvatljivijoj razini na koju se može proširiti postojeći izmjenični prijenosni sistem 420 kV.

2.1. Veličine nazivnih struja i struja kratkog spoja

U tablicama koordiniranih vrijednosti nazivnih struja i struja kratkog spoja prekidača nazivnog napona 765 kV, u standardu IEC 56/1987. navedene su nazivne struje 2000 A i 3150 A i nazivna kratkospojna prekidna struja 40 kA.

Nazivna struja prekidača i rastavljača 765 kV u transformatorskim poljima ne može biti veća od 1 250 A čak i u primjeru transformatora snage do 1 500 MVA. Termičke vrijednosti prijenosne snage dalekovoda najvećeg presjeka vodiča (npr. $4 \times 805 \text{ mm}^2$) mogu biti do 3 150 A (uz pretpostavku da se ide na opterećenje od 1 A/mm^2), što je zapravo više od dvostruke vrijednosti najveće prirodne prijenosne snage dalekovoda ($2 \times 2 000 \text{ M}$). Prema tome, uz prikladan izbor sheme postrojenja, nazivne struje prekidača i rastavljača 765 kV redovito ne trebaju biti veće od 3 150 A. Kako se nazivna struja 3 150 A pojavljuje već i u 400 kV-nom sistemu Jugoslavije, postoje dobra iskustva za rješavanje opreme 765 kV i 3 150 A (npr. »Rade Končar« je isporučio prekidače i rastavljače 420 kV i 3 150 A za RTP Divača).

Snaga kratkog spoja u mreži 400 kV u određenim čvorištima u Jugoslaviji ima tendenciju povećanja do efektivne vrijednosti 50 kA. To je prije svega rezultat velike koncentracije izvora energije vezanih blok-transformatorima na 400 kV-ni sistem u tim čvorištima. U eventualnom prijenosnom sistemu 765 kV s nekoliko vodova situacija bi bila sasvim drugačija i struja kratkog spoja bila bi ograničena u najvećoj

mjeri kratkospojnim impedancijama transformatora (jednog do dva) i napojnih vodova (jednog do dva). Stoga se može s velikom sigurnošću pretpostaviti da efektivna simetrična vrijednost struje kratkog spoja na sabirnicama eventualnih stanica 765 kV u Jugoslaviji neće biti veća od 40 kA. Odatle bi i prekidna moć 40 kA za prekidače 765 kV trebala biti zadovoljavajuća.

Sadašnja rješenja SF₆ prekidača 420 kV prekidne moći 40 kA i 50 kA (proizvodnje »Rade Končar«) izvode s dvije prekidne komore po polu. Za prekidače 765 kV trebalo bi upotrijebiti četiri iste prekidne komore po polu uz osiguranu ravnomjernu raspodjelu napona po svakom prekidnom mjestu pomoću kondenzatora, i to bez velikih dodatnih ispitivanja prekidne moći. Naime, ispitivanja prekidne moći prekidača velikih nazivnih napona provodi se na ograničenom broju prekidnih komora (1 ili 2) uz odgovarajući udio povratnog napona.

Budući da je u standardu IEC 56 strmina porasta prijelaznog povratnog napona za prekidače 765 kV definirana istim vrijednostima kao i za ostale prekidače do 550 kV (2 kV/μs u slučaju pune struje kratkog spoja), prekidači 765 kV s četiri komore po polu imali bi povoljnije uvjete prekidanja nego prekidači 420 kV iste prekidne moći i s dvije prekidne komore po polu. Naime, osim vršnih vrijednosti prijelaznog povratnog napona, s brojem komora pada i strmina porasta povratnog napona po jednoj komori.

Problem podnosive dinamičke i termičke struje kratkog spoja kod prekidača 765 kV gotovo da i ne postoji, ali zato je ovaj problem vrlo izražen u rješenjima rastavljača nazivnog napona 765 kV. Razlog za to su relativno velike potrebne dimenzije strujnog puta rastavljača i potpornih izolatora, što konstrukciju tog aparata čini gipkom, a time i njihovu osjetljivost na dinamička opterećenja relativno velikom. Stoga ovaj problem treba razmatrati u kontekstu s koncepcijom rastavljača (okretni, pantografski ili rastavljač s otvaranjem noževa u vertikalnoj ravnini).

2.2. Dielektrička naprezanja izolacije sklopnih aparata 765 kV

Naponska naprezanja kojima može biti podvrgnuta izolacija sklopne opreme 765 kV u različitim pogonskim prilikama mogu se prema obliku napona svrstati u sljedeće kategorije:

- naprezanja kod kratkotrajnog povećanja napona sistema (zbog kvazistacionarnih prenapona)
- naprezanja zbog napona čela male strmine
- naprezanja zbog napona čela velike strmine
- naprezanja zbog napona čela vrlo velike strmine.

U posebnu kategoriju možemo svrstati naponska naprezanja sklopnih aparata 765 kV zbog kombiniranih napona, i to kako uzdužne izolacije tih aparata, tako i njihove međufazne izolacije.

Naprezanja izolacije opreme 765 kV zbog kratkotrajnog povećanja napona frekvencije od nekoliko desetaka do nekoliko stotina herca mogu biti vrlo značajna, osobito kada nije izbalansirana reaktivna snaga sistema, što može biti ne samo u statičkom režimu

već i u mnogim dinamičkim režimima rada. Takav slučaj poremećaja balansa nastaje najčešće pri naglom ispadu (odbacivanju) tereta i pri kvarovima. Također i zbog ferorezonantnih efekata, pojava harmonika i sl., pogonski napon sistema 765 kV može postići vrlo visoke vrijednosti.

Naprezanja izolacije opreme 765 kV zbog napona čela male strmine (trajanje čela od nekoliko desetaka do nekoliko tisuća mikrosekundi) mogu nastati pri sklopnim operacijama (sklopni prenaponi) ili pri pojavi kvarova. Standard IEC 56 za prekidače 765 kV preporučuje da se sklopni prenaponi pri isklapanju neopterećenih vodova moraju ograničiti na jediničnu vrijednost (faktor prenapona) 1.8 ili 2, što znači da prekidači 765 kV moraju sklapati kapacitivne struje neopterećenih vodova bez ijednog povratnog paljenja luka.

SF₆ prekidači 420 kV proizvodnje »Rade Končar« s dvije komore po polu mogu sklapati kapacitivne struje neopterećenih vodova veličina iznad 500 A bez ikakvih pojava povratnih paljenja luka. Veličina kapacitivnih struja vodova 765 kV može biti veća od 500 A (ovisno o duljini voda), ali na temelju rezultata koje je postigla npr. tvrtka »Siemens« s četvorokomornim prekidačima 765 kV, pri sklapanju kapacitivnih struja znatno većih od 500 A kod 765 kV i faktora povećanja pogonskog napona do 1.2 nisu uočena povratna paljenja luka odnosno sklopni prenaponi jedinične vrijednosti veće od 2.0.

Naprezanja izolacije opreme 765 kV s naponima čela velike strmine (od 0,1 do nekoliko desetaka mikrosekundi) mogu nastati zbog atmosferskih pražnjenja, te u slučaju ponovnih paljenja luka pri otvaranju rastavljača sa zračnom izolacijom. S obzirom na to da je izolacija sklopne opreme 765 kV redovito dovoljno dimenzionirana za prenaponske razine koje se pojavljuju pri atmosferskim pražnjenjima, naprezanja te izolacije s naponima čela velike strmine ne treba smatrati presudnim za dimenzioniranje izolacije.

Prenaponi čela vrlo velike strmine (trajanje čela do 100 ns) najčešće su oscilatornog oblika (frekvencije od nekoliko, do gotovo stotinu megahertza i pojavljuju se najčešće pri sklapanju s rastavljačima s SF₆ izolacijom (u metalom oklopljenoj izvedbi). Ovi prenaponi najčešće su male amplitude, ali mogu izazvati relativno visoka dielektrička naprezanja ulaznih zavoja transformatora i prigušnica.

Naprezanja uzdužne izolacije sklopne opreme 765 kV kombiniranim naponom nastaje npr. na otvorenom polu prekidača pri sinhronizaciji dvaju dijelova mreže koja rade u asinhronom režimu. Pritom zbog protufaznih izmjeničnih napona ili kombinacije vršnog izmjeničnog napona na jednoj strani i simultanog protufaznog sklopnog ili udarnog napona na drugoj strani, uzdužna izolacija otvorenog prekidača može biti opterećena znatno većim dielektričkim naprezanjem nego poprečna izolacija prema zemlji.

Naprezanja međufazne izolacije opreme u postrojenju 765 kV može kao i kod uzdužne izolacije biti rezultat dvaju naponskih valova suprotnih polariteta.

2.3. Izbor stupnja izolacije prekidača i rastavljača 765 kV

Za izbor stupnja izolacije prekidača i rastavljača 765 kV presudna su statistička dielektrička naprezanja ovih aparata u sličnim sistemima, te ocjena prihvatljivosti rizika kvara izabrane izolacije aparata.

Na temelju standarda IEC 694 za prekidače i rastavljače nazivnog napona 765 kV predlažu se 2 stupnja izolacije sa sljedećim podnosivim naponima:

Nazivni atmosferski udarni napon

— prema zemlji (kV)	1 800	2 100
— između priključaka otvorenog aparata (kV)	1 800 + (435)	2 100 + (435)

Nazivni podnosivi sklopni udarni napon

— prema zemlji (kV)	1 300	1 425
— između priključaka otvorenog aparata (kV)	klasa A 1 550	klasa B 1 100 + (625)

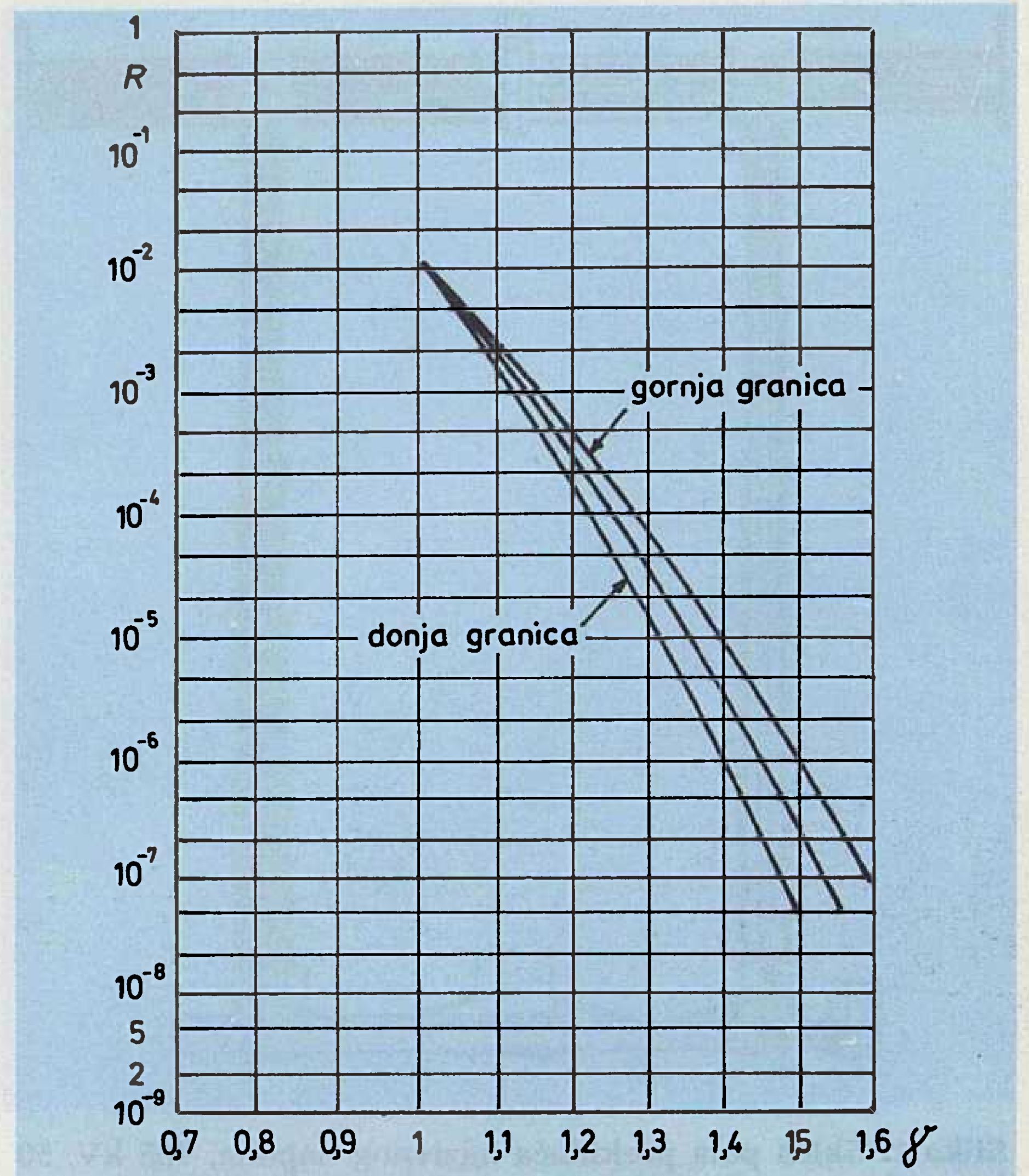
Ispitni jednominutni napon mrežne frekvencije

— prema zemlji (kV)	830
— između priključaka otvorenog aparata (kV)	1 100.

Iskustva pokazuju da se kritičnom veličinom u dimenzioniranju vanjske izolacije konvencionalnih prekidača i rastavljača s porculanskim izolatorima može smatrati veličina podnosivog sklopnog udarnog napona dugog vala, čela 250 μs i hrpta 2 500 μs. Pri izboru podnosive vrijednosti aparata polazimo od pretpostavke da prekidač pri sklapanju ne stvara veće jedinične prenapone od 2.0. To pored ostalog znači da se razina uklopnih prenapona (osobito prenapona koji nastaju pri trofaznom ponovnom uklapanju) mora regulirati jednom od poznatih mjera (uklopnim otporima, sinhroniziranim uklapanjem ili izborom odvodnika prenapona). Visina sklopnog prenapona koji se može pojaviti u postrojenju pri faktoru prenapona 2.0 (vjerojatnost prekoračenja ne smije biti veća od 2%) iznosi

$$u = 2.0 \times \sqrt{2} \times 765 / \sqrt{3} = 1\,255 \text{ kV.}$$

Sigurnosni faktor možemo izabrati na temelju IEC-publikacije 71-2/1976. — Koordinacija izolacije, dio 2 — smjernice za primjenu. Na primjer, za standardnu devijaciju izolacije $\sigma_T = 8\%$ prema sl. 1 u odabrani rizik kvara izolacije 10^{-3} slijedi statistički faktor sigurnosti 1,13. Množenjem faktora sigurnosti s izračunatom veličinom statističkog prenapona (1 255 kV) dobije se vrijednost 1 418 kV. To znači da se za prekidače i rastavljače 765 kV mora izabrati stupanj izolacije s podnosivim sklopnim udarnim naponom 1 425 kV, a to je i najviši stupanj izolacije za nazivni napon 765 kV (prema standardu IEC 695). Međutim, ako se rizik kvara izolacije želi smanjiti na 10^{-4} , onda statistički faktor sigurnosti prema sl. 1 raste na 1.24, a potrebni podnosivi nivo sklopnog udarnog napona na 1 550 kV. To je više od najveće vrijednosti prema standardu IEC 694, ali je unutar preporučenih vrijednosti prema standardu IEC 71.



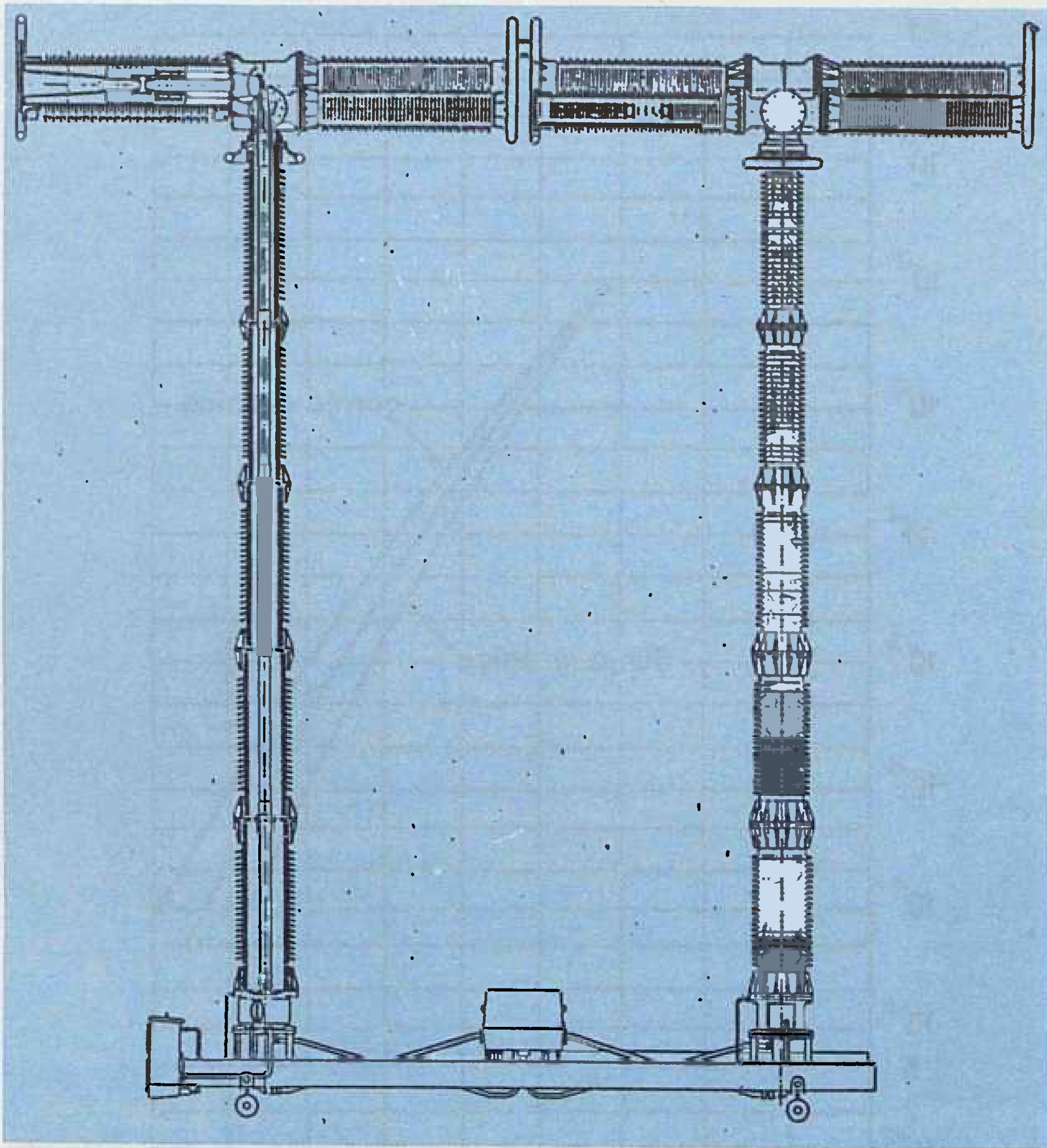
Slika 1. Korelacija između rizika kvara izolacije (R) i statističkog faktora sigurnosti (γ) za standardnu devijaciju izolacije $\sigma_T = 8\%$ [4]

Razlika u cijeni koštanja prekidača i rastavljača 765 kV za podnosivi nivo sklopnog napona 1 550 kV i podnosivi nivo sklopnog napona 1 425 kV može biti značajna ne samo zbog dimenzija (i broja) izolatora već i zbog njihove opterećenosti statičkim i dinamičkim silama. Imajući pritom na umu i činjenicu da se izborom viših izolatora konvencionalnih sklopnih aparata smanjuje faktor rizika od kvara izolacije, ali povećava faktor rizika od mehaničkih kvarova (pucaanja izolatora kod pojave visokih dinamičkih opterećenja npr. zbog vjetera ili potresa), možemo ipak konstatirati da je izbor rizika kvara izolacije od 10^{-3} prihvatljiv za konvencionalne sklopne aparate 765 kV.

3. IZBOR KONCEPCIJE SKLOPNIH APARATA NAZIVNOG NAPONA 765 kV

Sva dosadašnja razmatranja vezana za izbor sklopne opreme nazivnog napona 765 kV obavljena su pod pretpostavkom da se radi o konvencionalnoj opremi za vanjsku montažu s porculanskim izolatorima. Razlog za to je osposobljenost domaćih proizvođača sklopnih aparata (npr. »Rade Končara«) da radi takve aparate bez dodatnih ulaganja u novu proizvodnu opremu. Na slici 2. je za ilustraciju prikazana arhitektura jednog pola SF₆ prekidača nazivnog napona 765 kV, 50 kA kakav se može izraditi u »Radi Končaru« na temelju postojeće dokumentacije bazirane na licencnoj dokumentaciji tvrtke »Siemens«.

Konvencionalna varijanta rastavljača 765 kV (bez obzira na koncepciju — okretni rastavljač, pantografski



Slika 2. Skica pola prekidača nazivnog napona, 765 kV, 50 kA po koncepciji »Rade Končar« (na temelju licencije »Siemens«)

rastavljač ili rastavljač s otvaranjem u vertikalnoj ravnini), također se relativno brzo može riješiti kod domaćih proizvođača sklopne opreme.

Plinom SF₆ izolirana postrojenja 765 kV u svakom slučaju imaju mnoge prednosti u odnosu na konvencionalna postrojenja, osobito u pogledu otpornosti na nepredvidive uvjete okoline (jači potres ili vjetar, zagađenje izolacije). Ipak, imajući na umu relativno visoku cijenu takve opreme i moguće trajanje zastoja u slučaju kvara, prednost treba dati konvencionalnoj opremi, pogotovo stoga što se i plinom SF₆ izolirana oprema ne može priključiti na zračne dalekovode bez provodnih izolatora SF₆ — zrak s porculanskom izolacijom.

4. ZAKLJUČAK

Razmatranja u ovom radu mogu biti samo uvod u analizu mogućeg izbora sklopne opreme za eventualnu izgradnju novog 765 kV-nog izmjeničnog sistema u Jugoslaviji. Eventualno opsežnija analiza trebala bi obuhvatiti pored ovdje prikazanih aspekata još i aspekte:

- potrebnih karakteristika prekidača radi održanja dinamičke stabilnosti sistema (osobito vremena isklopa)
- potrebnih karakteristika prekidača za sklapanje neophodnih kompenzacijskih prigušnica
- potrebnih mehaničkih karakteristika konvencionalne opreme 765 kV u slučaju jakog vjetera ili potresa.

LITERATURA

- [1] I. NAUMOVSKI: Izbor tehničkih karakteristika prekidača i rastavljača visokog napona u svjetlu novih IEC standarda i novih iskustava, XIII savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, referat 13. 01/1977.
- [2] IEC Publication 694 — Common clauses for high-voltage switchgear and controlgear standards, First Edition 1980.
- [3] IEC Publication 56 — High-voltage alternating — current circuit-breakers, Fourth Edition 1987.
- [4] IEC Publication 71—2 — Insulation coordination, Part 2: Application Guide, Second Edition 1976.

THE SELECTION OF THE BASIC CHARACTERISTICS OF SWITCHING EQUIPMENT IN A. C. SYSTEMS WITH OVER 420 KV NOMINAL VOLTAGE

A review of the existing selection of domestic switching equipment for high voltage a. c. systems with over 420 kV nominal voltage is presented, as well as the standard parameters of the equipment.

AUSWAHL DER GRUNDCHARAKTERISTIKEN DER SCHALTUNGS- AUSRÜSTUNG IN DEN WECHSELSYSTEMEN DER NENN- SPANNUNG UEBER 420 KV

Man gibt einen Rückblick auf die Auswahlmöglichkeit der heimischen Nennausrüs- tung für Hochspannungs — wechselfsysteme der Nennspannung die grösser als 420 kV ist und die Standardparameter dieser Ausrüstung.

Naslov pisaca:

Ivan Naumovski, dipl. inž.
Milenko Bistrić, dipl. inž.
»Rade Končar« Inženjering,
41000 Zagreb, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1990-12-14.

UVOD U PROBLEMATIKU VIŠIH HARMONIKA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Mladen Žunec — Goran Šagovac, Zagreb

UDK 621.316.1.005

PREGLEDNI RAD

Nakon općenitog pregleda štetnih utjecaja viših harmonika i njihovih izvora prikazana je analiza udjela viših harmonika u valnom obliku struje i napona, te ukaza-
no na nužnost što hitnijeg donošenja propisa iz tog područja.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, viši harmonici, distorzija napona i struje, nelinearni tereti, Fourierova analiza.

UVOD

S tehnološkim razvojem sve je više osjetljivih potrošača koji postavljaju sve oštrije zahtjeve za pouzdanu opskrbu kvalitetnom električnom energijom. Osnovni pokazatelji kvalitete električne energije su:

- stalnost efektivne vrijednosti napona
- stalnost isporuke po količini i raspoloživosti
- stalnost frekvencije napona
- stalnost valnog oblika bez distorzije napona
- simetrija trofaznog sustava.

Budući da su viši harmonici najdirektnije vezani za distorziju napona tom ćemo dijelu posvetiti i najviše pažnje u našim razmatranjima. Cilj ovog članka je zaoštriti problematiku stalnosti valnog oblika i pokušati ubrzati donošenje propisa ili preporuka kakve već postoje u svijetu, a koje ograničavaju distorziju valnog oblika i propisuju maksimalne dozvoljene iznose pojedinih harmonika i ukupnu dozvoljenu distorziju ovisno o naponskom nivou. Ti propisi i preporuke razlikuju se od zemlje do zemlje i variraju u rasponu od 1% do 5% za ukupnu distorziju valnog oblika na sredjonaponskim sabirnicama. I u našim distributivnim mrežama utvrđena je sve veća prisutnost viših harmoničkih struja i napona. To je normalna posljedica sve veće primjene uređaja energetske elektronike. Nekontrolirano povećanje iznosa amplituda viših harmonika prijeti velikim štetama na postrojenjima, kao što su kompenzacije jalove energije, MTK uređaji, motorni pogoni i ostali uređaji koji na višim frekvencijama imaju smanjenu impedanciju. Iz toga slijedi da viši harmonici imaju posredan utjecaj i na sve ostale pokazatelje kvalitete električne energije i da im treba pridati mnogo više pažnje.

U članku je pokazano kako se i s relativno jednostavnom opremom (osciloskop) može otkriti prisutnost viših harmonika i eventualno procijeniti njihov intenzitet. Članak je namijenjen širokom krugu tehnič-

kog osoblja distributivnih pogona radi boljeg razumijevanja i lakšeg rješavanja problema i »čudnih« pojava u distributivnim mrežama i postrojenjima.

VIŠI HARMONICI U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

S tehnološkim razvojem društva sve se više razvijaju i postrojenja energetske elektronike. Ta postrojenja velikih snaga su zbog svoje nelinearne naponsko-strujne ovisnosti (sastoje se od dioda, tiristora i sličnih poluvodičkih elemenata) uzročnici pojave nesinusoidalnih struja, to jest struja viših harmonika u mreži. U principu sve potrošače koji kod sinusoidalnog napona na sabirnicama uzimaju nesinusoidalnu struju možemo smatrati izvorima viših harmonika. To su ispravljači, usmjerivači, elektrolučne peći, uređaji za elektrolučno zavarivanje, ispravljači i energetski transformatori itd.

Nelinearni potrošači ponašaju se kao idealni strujni izvori viših harmonika, koji u naš elektroenergetski sistem injektiraju struje viših harmonika. Te struje na impedancijama u našem elektroenergetskom sistemu izazivaju padove napona koji se onda superponiraju na osnovni sinusoidalni napon i na taj ga način izobličavaju.

Viši harmonici struje i napona u elektroenergetskom postrojenju uzrokuju brojne poteškoće i probleme koji se mogu promatrati s tehničkog i ekonomskog gledišta. Tipični problemi su:

1. dodatni gubici u električnim strojevima i kondenzatorskim baterijama. Ti dodatni gubici stvaraju dodatna zagrijavanja u električnim strojevima i kondenzatorskim baterijama koja mogu bitno smanjiti životni vijek izolacija, a time i električnih strojeva i kondenzatorskih baterija.
2. pregrijavanje kondenzatorskih baterija zbog visokih iznosa amplituda struja uzrokovanih paralel-

nom rezonancijom. Osnovni indikator takvih stanja su česti kvarovi na kondenzatorima.

3. kvarovi na skupnim MTK uređajima.
4. interferencija s upravljačkim signalima u mreži (MTK) koja može izazvati neželjenu proradu MTK prijemnika.
5. netočnost i nestabilnost u regulacionim krugovima na istosmjernoj strani usmjerivača koja je vezana za pojavu demodulacije.
6. buka na govornoj frekvenciji telefonskih linija.

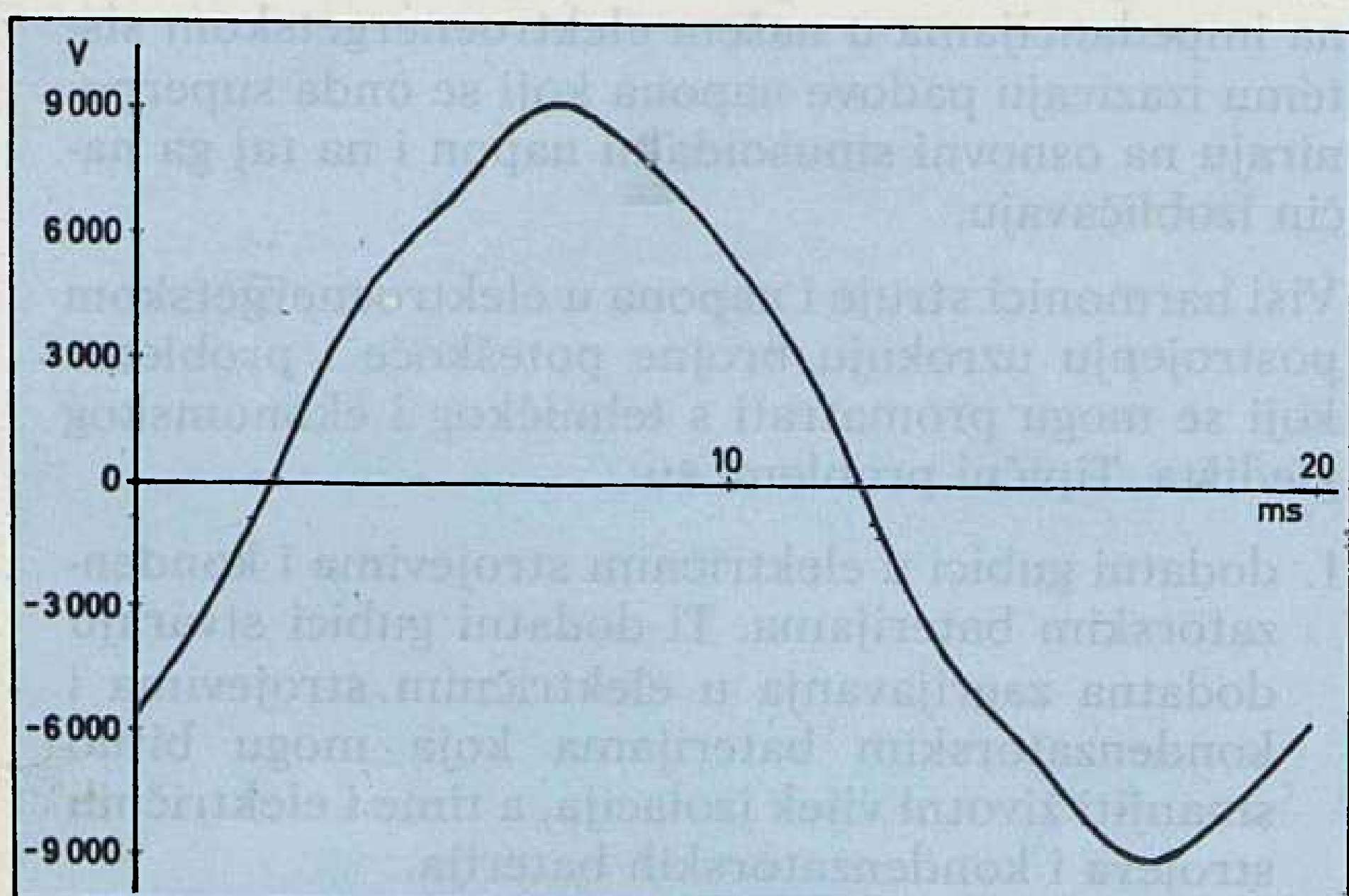
ANALIZA SADRŽAJA VIŠIH HARMONIKA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

S obzirom na dosadašnju praksu i na nepostojanje naših propisa koji bi regulirali dozvoljene iznose napona i struja viših harmonika u distributivnim mrežama, a koji nesumnjivo bitno utječu na kvalitetu električne energije, ne postoje ni popisi potrošača s nelinearnom karakteristikom. Kada bi bili poznati potrošači koji generiraju više harmonike i njihove karakteristike, bilo bi moguće pomoću proračuna na digitalnom stroju predvidjeti nivo zagađenja višim harmonicima.

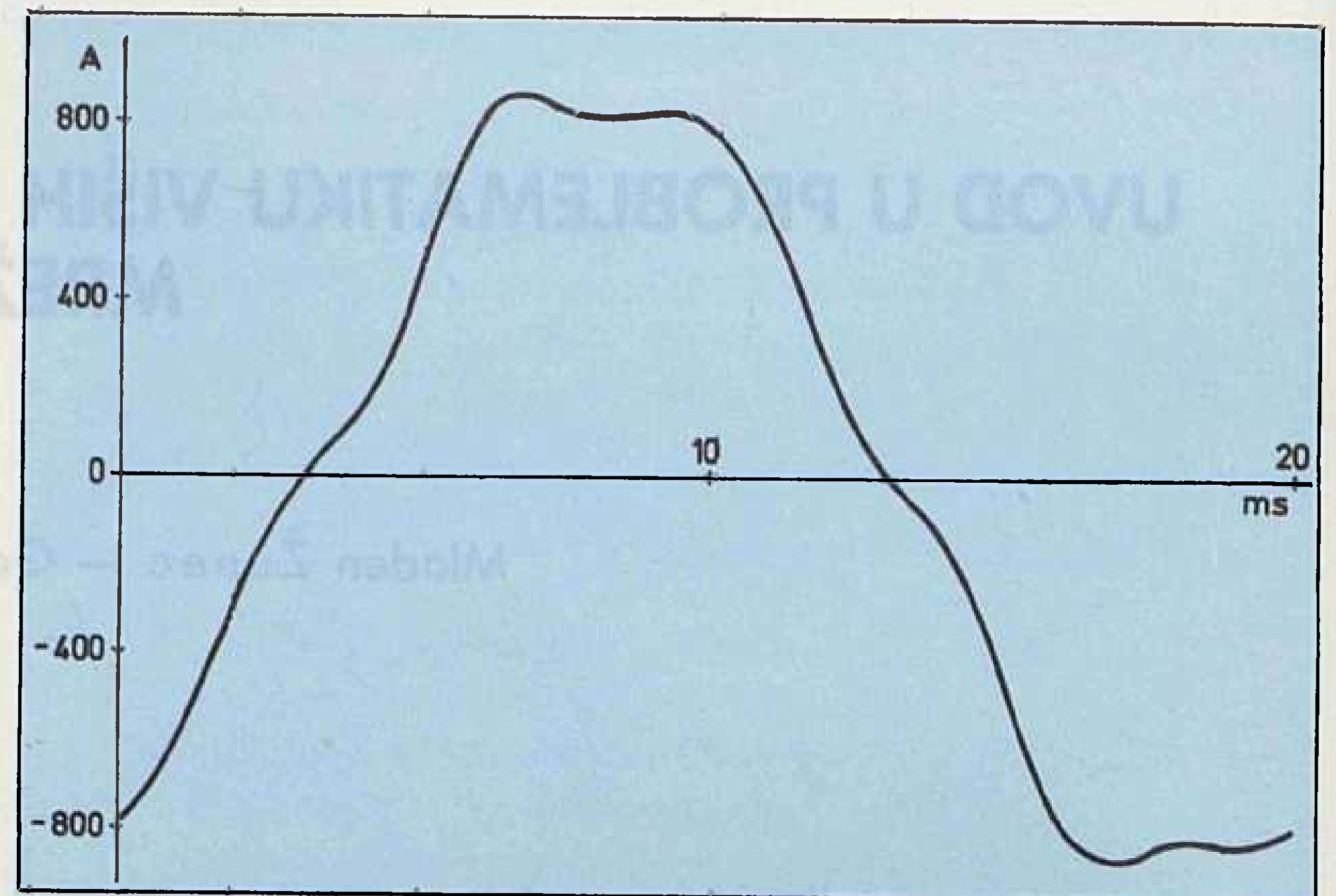
Nameće se potreba za eksperimentalnim utvrđivanjem postojećeg stanja u distributivnoj mreži zbog pronalaženja ugroženih mjesta u mreži, kako bi se mogli poduzeti određeni koraci za poboljšanje stanja. Mjerenjem bi se mogli utvrditi i potrošači koji zagađuju mrežu višim harmonicima, te odrediti na koja se mjesta u mreži mogu, a na koja ne mogu izdavati suglasnosti za priključak novih nelinearnih potrošača.

Treba napomenuti da se tokovi struja viših harmonika ne mogu promatrati statički jer oni ovise i o trenutnom uklopnom stanju i o potrošaču koji ih generira, što znači da bi trebalo obaviti više mjerenja uz razna uklopna stanja i u razno vrijeme danju i noću.

Zanimljivo je da se izobličenja valnog oblika zbog viših harmonika mogu vidjeti i golim okom ako se osciloskopira jedna perioda valnog oblika napona ili struje i ako su viši harmonici prisutni u »značajnijim« iznosima. Na slici 1. može se vidjeti valni oblik



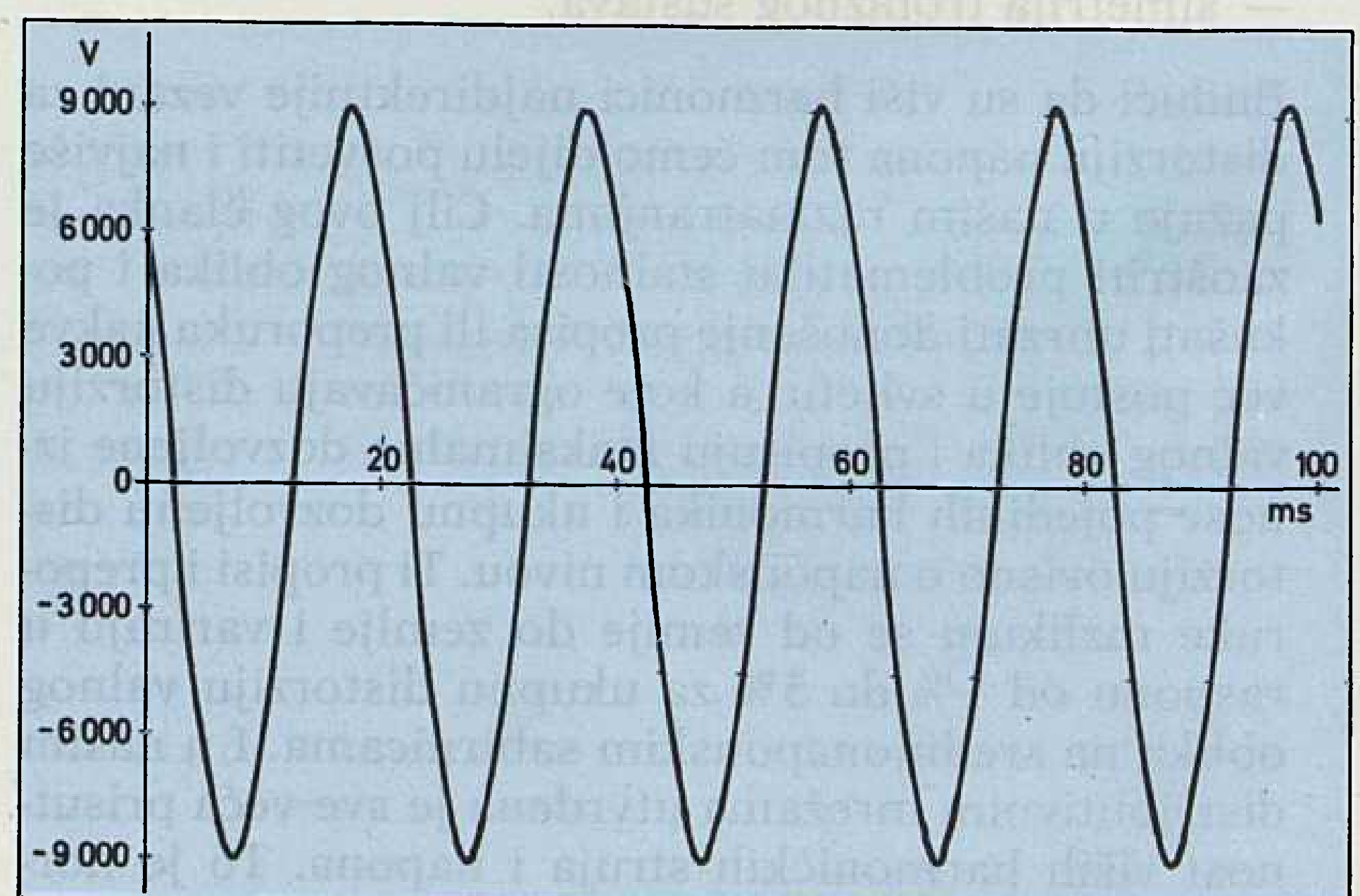
Slika 1. Valni oblik napona



Slika 2. Valni oblik struje

napona snimljen osciloskopom u jednoj točki distributivne mreže. Slika 2. prikazuje valni oblik struje snimljen u toj istoj točki.

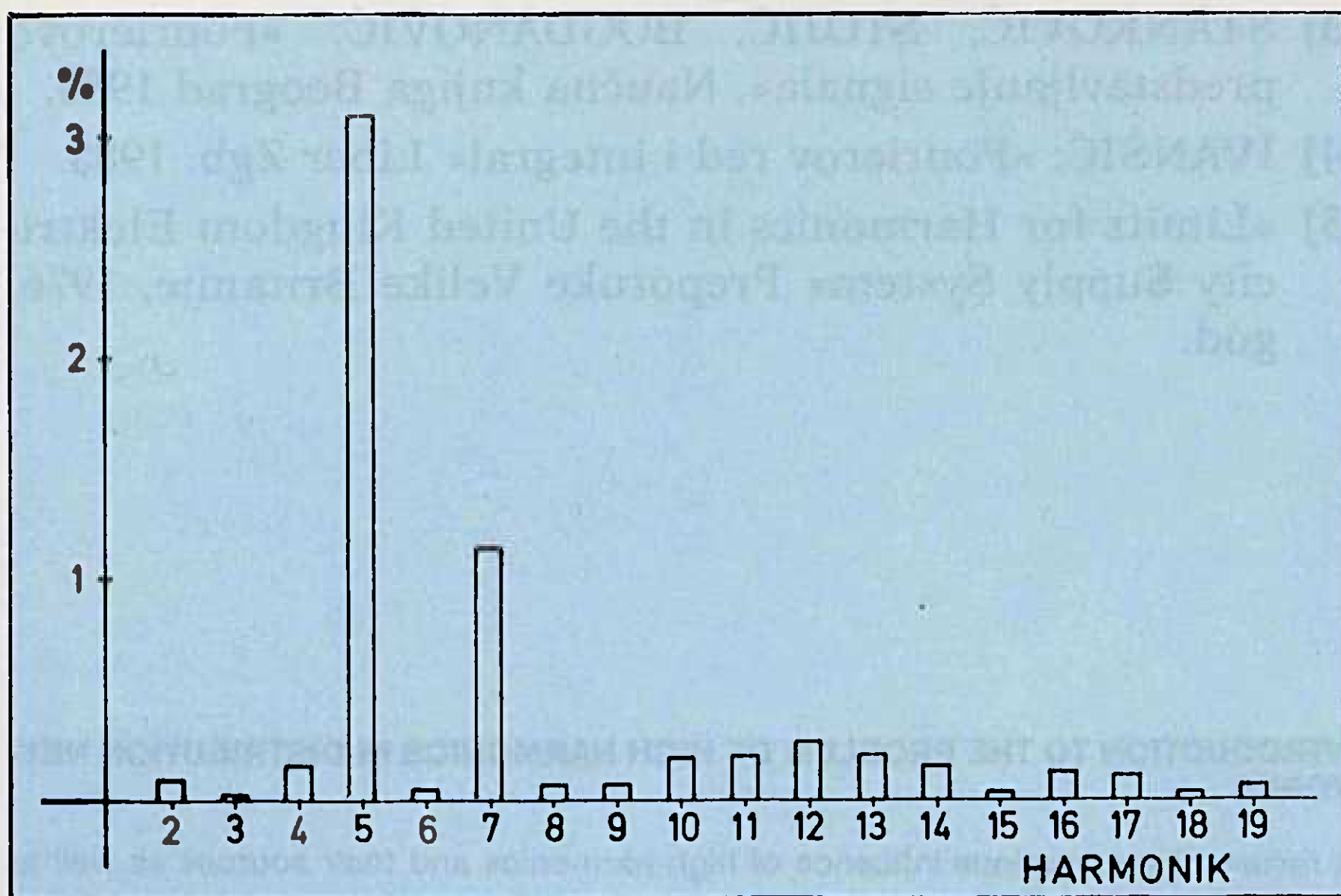
Za analizu valnih oblika struje i napona razvijen je program za harmoničku analizu, kako bi se dobila točna sastavnica s iznosima struja ili napona pojedinih harmonika. O samom programu bit će riječi u jednom od idućih članaka, a on se zasniva na primjeni diskretne Fourierove transformacije (DFT). U daljnjem tekstu bit će prikazan jedan primjer za napon i jedan za struju. Mjerenja valnih oblika učinjena su u istoj točki kao za sl. 1. i sl. 2, samo što je uzeta druga vremenska baza zbog potreba programa za analizu. Slika 3. prikazuje valni oblik napona koji je digitalizirano.



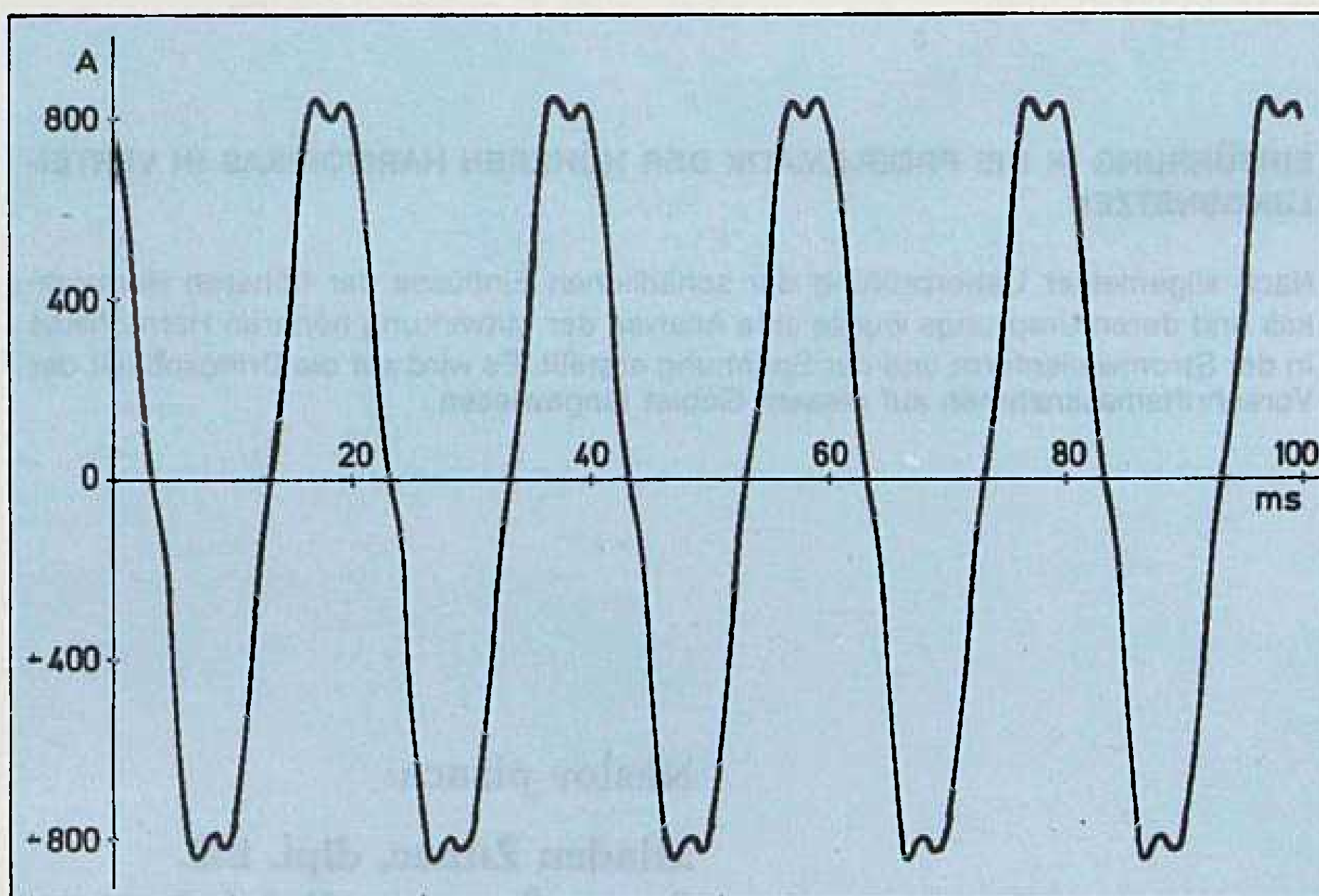
Slika 3. Valni oblik napona

ran i zatim obrađen programom za harmoničku analizu. Na slici 3a grafički je prikazana harmonička analiza, uz napomenu da je frekvencija harmonika broj harmonika puta 50 Hz, tj. za peti harmonik $f = n * 50 = 250$ Hz.

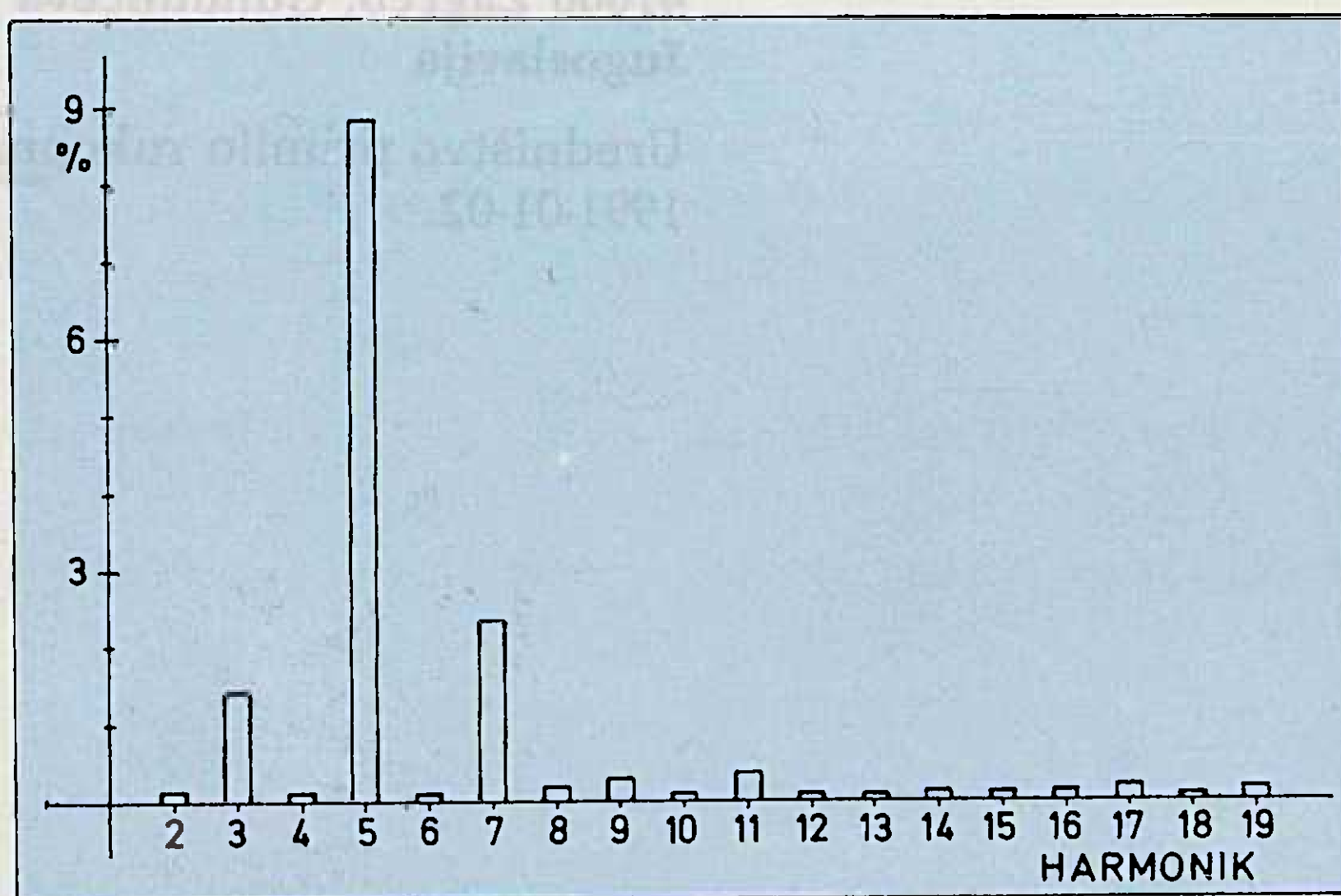
Na slici 4. prikazan je oscilogram struje, a na slici 4a grafički prikaz harmoničke analize struje. Izlazne liste s analitičkim prikazom harmoničke analize napona i struje sa slike 3. i slike 4. dane su u tablici 1. i 2. Bitni elementi koji se mogu dobiti ovakvom analizom i koje bi trebalo propisima ograničiti jesu:



Slika 3a. % osnovnog vala



Slika 4. Valni oblik struje



Slika 4a. % osnovnog vala

Tablica 1.

Harmo- nik	Kut	Amplituda	RMS
1	136.111980634	8743.62713694	6182.67804069
2	131.428426419	7.54961431313	5.33838347616
3	18.6631078618	1.03554755173	.732242696069
4	-11.0588768074	13.5207865928	9.56063988673
5	-35.2811832542	270.834639873	191.509010434
6	-21.6823153271	3.98023219531	2.814449176
7	130.534848053	99.7047397588	70.5018975999
8	72.9576744942	5.56674602922	3.9362838664
9	243.454227574	6.28806793855	4.44633547991
10	38.5637361057	16.8695378069	11.9285645787
11	165.394464926	17.4148874786	12.3141850297
12	-16.4066315534	23.4238288521	16.5631482227
13	255.58138655	17.885008024	12.6466104554
14	158.926231755	13.4237949681	9.49205645122
15	19.0334332868	2.21580637771	1.56681171548
16	263.03225	10.8445918772	7.6682844556
17	-74.6557458987	9.41891870827	6.66018129006
18	70.6679361965	2.53669737178	1.7937159134
19	194.552450766	5.53271470411	3.91222008564

Efektivna vrijednost = 6186.13449912

Tablica 2.

Harmo- nik	Kut	Amplituda	RMS
1	123.217181278	873.399412729	617.586647425
2	151.066182857	1.05231055051	.74409592618
3	264.063797965	12.3299290073	8.71857641258
4	165.697855017	.786207409678	.555932590803
5	70.1791304227	77.134080859	54.542031636
6	110.714733713	.617240474101	.43645492486
7	250.041100023	20.5345047965	14.5200875899
8	16.9645443959	1.57395237844	1.11295240006
9	107.17639635	2.56453632446	1.81340102563
10	196.109311261	.700431084189	.495279569384
11	-73.2647594528	3.14367815183	2.22291613903
12	238.53290422	.719571913926	.508814179888
13	101.220875362	.57227599743	.404660238493
14	21.4243647298	.959641659923	.678569125241
15	-86.2896210535	.782176651207	.553082414154
16	95.8278111837	.959925954804	.678770152079
17	31.1853316105	1.56688044789	1.10795179001
18	206.771608478	.552050900107	.390358935026
19	213.092416203	1.25700954591	.88883997393

Efektivna vrijednost = 620.233450798

ZAKLJUČAK

Kvaliteta električne energije zaslužuje mnogo više pažnje i inzistiranja na održavanju njezina visokog nivoa. Stalnost valnog oblika između ostalog zauzima značajno mjesto u kvaliteti isporučene električne energije. Nepridržavanje tog kriterija na prvi pogled ne uzrokuje naročite smetnje, no to je velika zabuda.

Štete koje nastaju su goleme i ne daju se valjano novčano verificirati. Recimo samo da je jedna od posljedica ubrzano starenje izolacije sa svim posljedicama koje to ubrzano starenje donosi.

Ako promatramo samo distributivnu mrežu srednjeg napona, tu su moguće štete također značajne. Ugrožene su kompenzacije jalove snage, MTK uređaji koji rade na frekvencijama ispod 1 000 Hz, te svi uređaji koji imaju mali otpor na frekvencijama između 50 i

- iznosi pojedinih harmonika (apsolutni ili postotni)
- ukupan postotni iznos svih harmonika
- maksimalno odstupanje valnog oblika napona od sinusoide.

Napomena: Valni oblici snimani su na terenu pomoću digitalnog storage osciloskopa Tektronix 2230 s ugrađenim interfaceom IEEE-488 (IEC-625). Podaci su zatim preko interfacea preseljeni na digitalno računalo (PC) i obrađeni vlastitim programom za harmoničku analizu. Slike su nacrtane pomoću računala na ploteru HP7090A.

1 000 Hz. Može se reći da je i rad relejnih zaštita za nelinearne potrošače vrlo diskutabilan.

Izobličenje valnog oblika vrlo se lako otkriva relativno jeftinom opremom (osciloskop). Kada se distorzija naponskog vala zamjećuje »golim okom«, to je znak da se treba podrobnije baviti analizom valnog oblika. Naravno, to je metoda liječenja već oboljelog bolesnika.

Da bi se smanjio broj »zagađivača« valnog oblika, nužan je preduvjet donošenja odgovarajućih propisa koji će regulirati dozvoljene iznose ukupne distorzije napona, ali i dozvoljene iznose za svaki pojedini harmonik u struji i naponu za sve naponske nivoe.

To će biti jedna od podloga za izdavanje kvalitetnih energetske suglasnosti budućim potencijalnim »zagađivačima«, a omogućit će da se izbjegne velik negativni utjecaj na kvalitetu električne energije koja se isporučuje ostalim potrošačima.

Rješenje postojećih distorzija uzrokovanim nelinearnim potrošačima vrlo je složen, skup i dugotrajan posao, ali posao koji se može prevladati, a uložena investicija se višestruko isplati za vrlo kratko vrijeme.

Ako poduzeće nema odgovarajući kadar i opremu, što je redovit slučaj, treba rješenje potražiti kod znanstvenih ustanova koje takav problem mogu riješiti (fakulteti, instituti ...).

LITERATURA

- [1] S. MILUN i suradnici: »Kompenzacija jalove snage i utjecaj viših harmonika u elektrodistributivnoj mreži grada Zagreba« studija FESB-Split, Split veljača 1988.
- [2] Lj. BOŽIKOVIĆ: »Analiza mogućih štetnih utjecaja viših harmonika izazvanih priključkom postrojenja Tvornica električnih lokomotiva i mjere za njihovo suzbijanje« studija Instituta za elektroprivredu Zagreb i FESB-Split, 1987 god.

- [3] STANKOVIĆ, STOJIC, BOGDANOVIĆ: »Fourierovo predstavljanje signala«, Naučna knjiga Beograd 1988.
- [4] IVANŠIĆ: »Fourierov red i integral« Liber Zgb. 1988.
- [5] »Limits for Harmonics in the United Kingdom Electricity Supply System« Preporuke Velike Britanije, 1976. god.

INTRODUCTION TO THE PROBLEM OF HIGH HARMONICS IN DISTRIBUTION NETWORKS

A review of the injurious influence of high harmonics and their sources as well as an analysis of the role of high harmonics in the voltage and current wave are presented, indicating the urgent need for the enactment of regulations in this field.

EINFÜHRUNG IN DIE PROBLEMATIK DER HÖHEREN HARMONIKAS IN VERTEILUNGNETZEN

Nach allgemeiner Ueberprüfung der schädlichen Einflüsse der höheren Harmonikas und deren Ursprungs wurde eine Analyse der Mitwirkung höherer Harmonikas in der Stromwellenform und der Spannung erstellt. Es wird auf die Dringlichkeit der Vorschriftsmassnahmen auf diesem Gebiet hingewiesen.

Naslov pisaca:

Mladen Žunec, dipl. inž.
Goran Šagovac, dipl. inž.
 Hrvatska elektroprivreda,
 Distribucija Zagreb
 41000 Zagreb, Gundulićeva 32,
 Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1991-01-02.

PROBLEM BUKE U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA I NAJVAŽNIJE MJERE ZA NJENO SMANJIVANJE

Velimir Ravlić — Željko Radošević, Zagreb

UDK 621.311.42.005

PREGLEDNI RAD

U članku su prikazani izvori buke po elementima postrojenja, te domaći i strani propisi koji to reguliraju. Na kraju su izložene mjere za smanjenje buke u transformatorskim stanicama.

Ključne riječi: buka, transformator, transformatorska stanica.

1. UVOD

U nizu sve odlučnijih zahtjeva za zaštitom čovjekove okoline od svih vrsta zagađivanja vrlo značajno mjesto ima i zahtjev za zaštitom od buke. Problem je posebno značajan jer su elementi transformatorskih stanica izvor buke i tokom noći, a tada su i zahtjevi za zaštitom od buke posebno rigorozni. Istovremeno su u toku noći ostali izvori buke manje prisutni, što još više ističe ovaj problem. U sklopu djelotvorne zaštite od buke potrebno je predvidjeti odgovarajuća rješenja već tijekom izrade projektne dokumentacije tako da ukupna razina buke ne prijeđe iznose dozvoljene razine buke.

Cilj je ovog rada da se upozori na najvažnije mjere za smanjenje buke, što je posebno važno s obzirom na aktualnost izgradnje transformatorskih stanica u urbanim područjima.

Kako je sprečavanje buke u transformatorskim stanicama kompleksan zadatak, to će se analizom uzroka buke locirati izvori buke, pa će se na osnovi dobivenih podataka, uz korištenje zahtjeva tehničke regulative u našoj zemlji i izvan nje, pokušati odrediti mjere za smanjenje buke.

2. IZVORI BUKE U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA

Izvori buke u transformatorskim stanicama mogu se podijeliti na primarne i sekundarne izvore.

Primarni izvori buke su transformatori, prigušnice i uređaji za klimatizaciju odnosno ventilaciju.

Sekundarni izvori su oni koji ne sudjeluju toliko u ukupnoj razini buke. To su dizel-agregati, protupožarni uređaji, manji uređaji za ventilaciju.

U skladu s uobičajenom tehničkom praksom u inozemstvu pri provođenju zaštitnih mjera od buke potrebno je uzimati u obzir samo stalne izvore buke.

Povremeni odnosno trenutni izvori buke (kao što su npr. prekidači za vrijeme sklopnih operacija) ne uzimaju se u obzir pri izradi projektne dokumentacije (prema praksi u inozemstvu).

Opravdani zahtjev da elementi transformatorskih stanica (posebno primarni izvori buke) imaju nisku razinu buke u suprotnosti su s vrlo važnim zahtjevom da elementi postrojenja budu što lakši, manjih dimenzija i jeftiniji. Zbog toga se već pri projektiranju elementa postrojenja (npr. transformatora) mora naći kompromisno rješenje.

U toku projektiranja transformatorske stanice najčešće su suprotni zahtjevi u pogledu dispozicijskih rješenja koja se odnose na uvjete hlađenja i na zahtjeve zaštite od buke. To znači da se i u toku projektiranja transformatorske stanice moraju naći određena kompromisna rješenja (npr. korištenje protupožarnih zidova kao elementa za zaštitu od buke). Neke od ostalih mjera za smanjenje razine buke pobliže su opisane u točki 5.

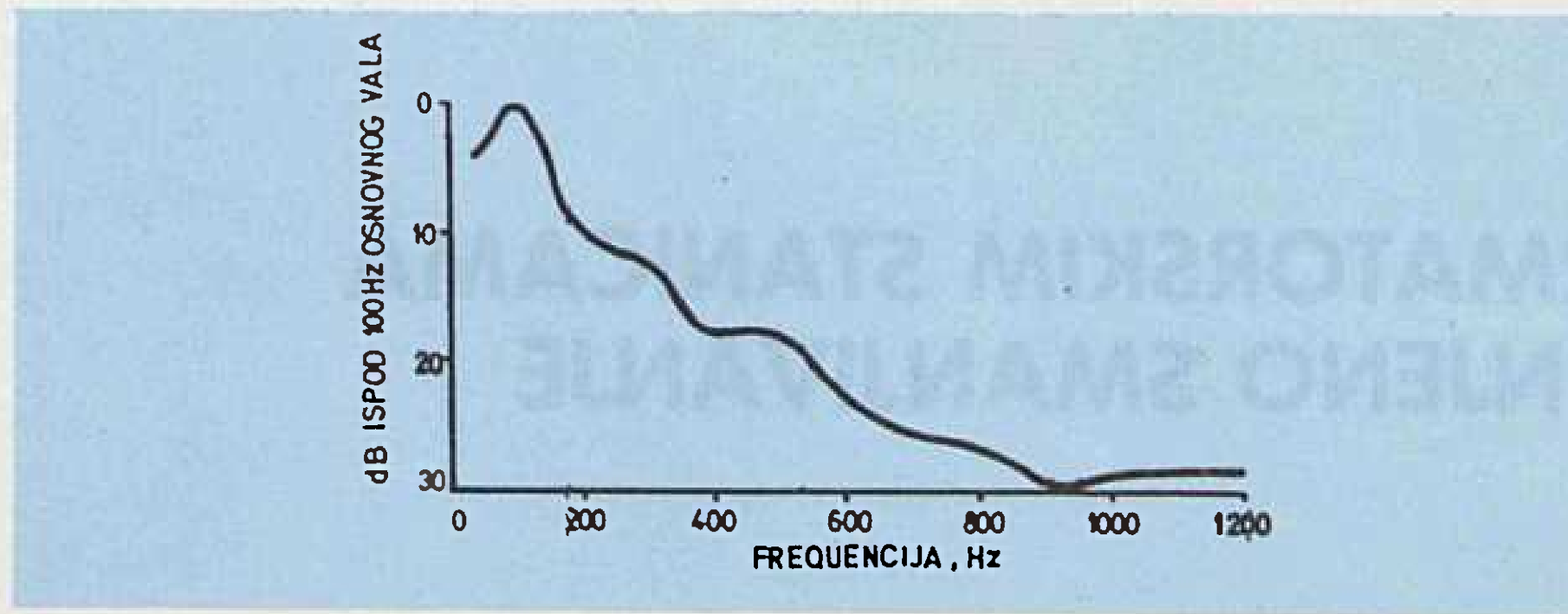
U vezi s uređajima za klimatizaciju najčešći je zahtjev za maksimalnom razinom buke od 50 dBA. Pritom se koriste i dodatne (sekundarne) mjere radi snižavanja razine buke.

Sekundarni izvori buke mogu također dispozicijskim rješenjima smanjiti razinu buke (npr. smještajem u podrum), a dosta često se koriste i prigušivači i apsorpcijski materijali.

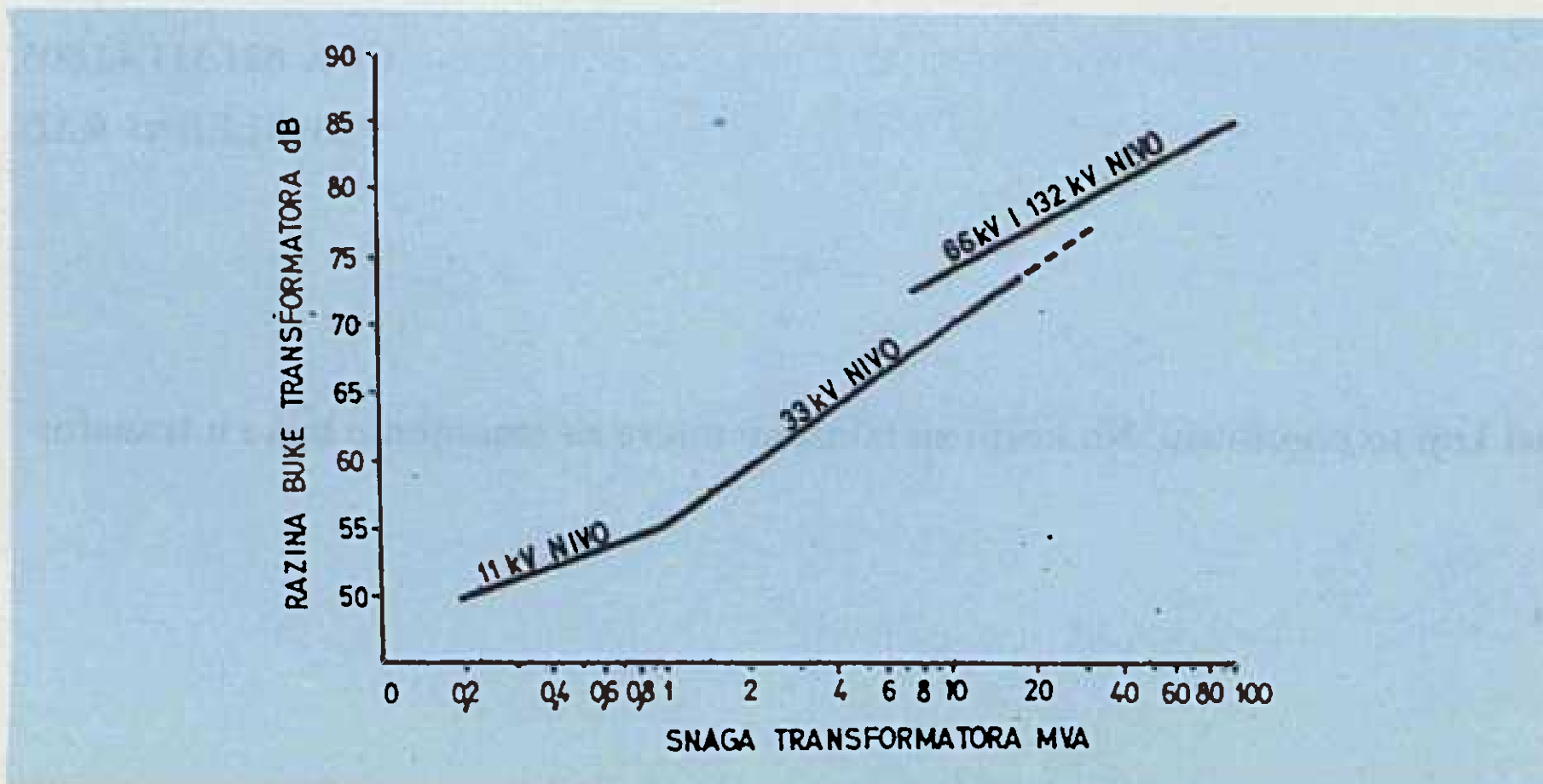
U daljnjem tekstu pobliže ćemo opisati problematiku dopuštenih razina buke i mjera za suzbijanje buke za najvažniji izvor buke — energetske transformator.

Tipična frekvencijska analiza buke transformatora prikazana je na sl. 1.

Suglasno [6] na sl. 2, prikazane su tipične vrijednosti srednje razine buke za energetske transformatore.



Slika 1. Tipična frekventijska analiza buke transformatora



Slika 2. Tipične vrijednosti srednje razine buke za energetske transformatore

3. DOZVOLJENE RAZINE BUKE PREMA INOZEMNOJ TEHNIČKOJ REGULATIVI

Buka transformatora se dosad u našoj zemlji mjerila prema njemačkim propisima VDE, odnosno DIN-normama i prema američkim propisima NEMA. Metode mjerenja definirane u tim propisima međusobno znatno se razlikuju pa se dobiveni rezultati vrlo teško mogu uspoređivati.

Osnovna razlika je u tome što navedeni propisi definiraju različiti razmak od transformatora na kojem se mjeri buka.

Propisi VDE definiraju veće razmake, i to ovisno o nazivnoj snazi transformatora:

- do 1,6 MVA 1 m
- od 1,6 MVA do 65 MVA 3 m
- preko 65 MVA 5 m.

Propisi NEMA određuju mjerenje na uvijek istom razmaku od 0,3 m (osim za transformatore s prisilnom cirkulacijom zraka kod kojih se uz rashladni uređaj razmak povećava na 1,8 m) bez obzira na veličinu transformatora.

Za ilustraciju navedenih razmatranja, vrijednosti dozvoljene razine buke su prikazane u tabl. 1, za uljne i suhe transformatore prema normama DIN i propisima NEMA TR 1:

Tablica 1. Dozvoljene razine buke (dBA) za uljne i suhe distributivne transformatore prema normama DIN i propisima NEMA TR1 (* znači da su to ekstrapolirane vrijednosti)

Nazivna snaga transformatora	Uljni transf. (DIN 42540)	Suhi transf. (DIN 42540)	Suhi transf. (DIN 42523)	Suhi transf. NEMA TR1
100	46	56	46	55
160	47	58	47	58
250	48	60	48	58
400	50	62	50	60
630	52	64	52	62
800	54	66*	53	64
1 000	54	66	53	64
1 600	56	68*	53	66

U tabl. 2. prikazane su veličine dozvoljene razine buke za uljne transformatore prema propisima NEMA TR1:

Tablica 2. Dozvoljene razine buke uljnih transformatora prema propisima NEMA TR1

Srednja razina buke dB	350 kV i manje			450,550 i 650 kV			750 kV i 850 kV		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
57	700	—	—	—	—	—	—	—	—
58	1 000	—	—	—	—	—	—	—	—
59	—	—	—	700	—	—	—	—	—
60	1 500	—	—	1 000	—	—	—	—	—
61	2 000	—	—	—	—	—	—	—	—
62	2 500	—	—	1 500	—	—	—	—	—
63	3 000	—	—	2 000	—	—	—	—	—
64	4 000	—	—	2 500	—	—	—	—	—
65	5 000	—	—	3 000	—	—	—	—	—
66	6 000	—	—	4 000	—	—	—	—	—
67	7 500	6 250	—	5 000	3 750	—	4 000	3 215	—
68	10 000	7 500	—	6 000	5 000	—	5 000	3 750	—
69	12 500	9 375	—	7 500	6 250	—	6 000	5 000	—
70	15 000	12 500	—	10 000	7 500	—	7 500	6 250	—
71	20 000	16 667	—	12 500	9 375	—	10 000	7 500	—
72	25 000	20 000	20 800	15 000	12 500	—	12 500	9 375	—
73	30 000	26 667	25 000	20 000	16 667	—	15 000	12 500	—
74	40 000	33 333	33 333	25 000	20 000	20 800	20 000	16 667	—

Napomene

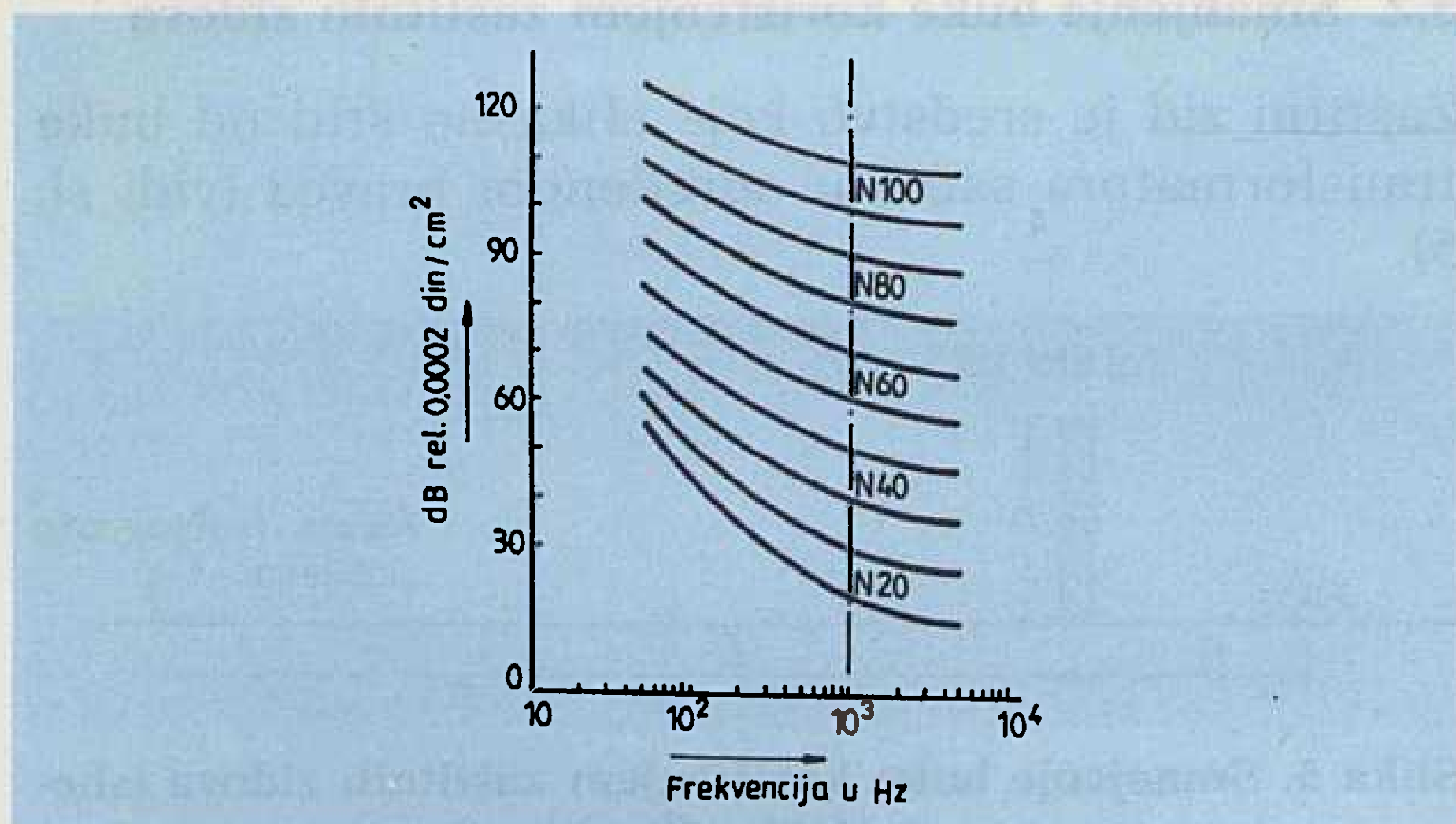
1. Kolona 1 — OA, OW i FOW.
2. Kolona 2 — FA i FOA.
3. Kolona 3 — FOA i FA.

4. Za međuvrijednosti snage (kVA) uzeti sljedeću višu vrijednost (kVA).
5. Za kolone 2 i 3 razine buke su dane za slučaj kad su pomoćni uređaji za hlađenje u pogonu.

IEC Publication 551 za mjerenje razine buke transformatora i prigušnica definira razmake vrlo slično propisima NEMA (0,3 m od transformatora se mjeri buka), ali ne definira dozvoljene vrijednosti razine buke za pojedine tipove (nazivne snage) transformatora.

Osim dozvoljene razine buke transformatora, projektant transformatorske stanice treba obaviti analizu spektra buke i transformatora i okolnog područja gdje će se transformator ugraditi, pa tek onda zaključiti o rješenju problema.

Dakle, mjera prihvatljivosti ne zavisi samo od razine buke već i od spektralnog sastava i dana je krivuljama u ISO preporukama (sl. 3).



Slika 3. Krivulja jednakih nelagodnosti prema ISO preporukama

Tako npr. između krivulja N25 i N30 razine su zvučnih pritisaka za spavaće sobe (N25), dnevne sobe (N30) i sobe za sastanke (N30). Pritom su popravci:

- 5 za vrlo tiho naseljena područja,
- 0 za naseljena područja,
- + 5 za karakteristična urbana područja,
- + 10 za industrijska područja.

Dozvoljene razine buke ovise prema tome i o tipu područja (seosko, gradsko, industrijsko itd.). Prepo-

Tablica 3. Dozvoljene razine buke prema preporukama ISO

Područje	Dozvoljena razina buke u dBA	
	danju	noću
seosko	40	30
gradsko	45	35
industrijsko	50	40

Tablica 4. Dozvoljene razine buke prema njemačkim propisima (TA Lärm)

Područje	Dozvoljena razina buke u dBA	
	danju	noću
pretežno industrijsko	65	50
mješovito (industrijsko i stambeno)	60	45
pretežno stambeno	55	40
čisto stambeno	50	35
lječilišta, bolnice i ustanove za njegu bolesnika	45	35

ruka i propisa o toj problematici u nas nema pa su dani podaci u tabl. 3. koji definiraju kriterije prema preporukama ISO, odnosno podaci u tab. 4. temeljeni su na njemačkim propisima za zaštitu od buke (TA Lärm).

4. DOZVOLJENE RAZINE BUKE PREMA PRAKSI U JUGOSLAVIJI

Tehnička regulativa u Jugoslaviji dosta je manjkava i postoji samo Propis o dozvoljenim razinama buke [5] koji vrijedi za područje Slovenije i preporuka za ograničavanje razine buke na području grada Zagreba koja se primjenjuje i na području cijele Hrvatske [4]. Ta preporuka je u skladu s preporukom ISO [3], pa bi to trebala biti osnovica za izradu odgovarajućih tehničkih propisa koji bi vrijedili za cijelu Hrvatsku. Zajednička karakteristika ovih normativnih akata jest podjela urbanih sredina na 6 zona stanovanja s različitim maksimalno dozvoljenim razinama buke. Isto tako su za noćno razdoblje dozvoljene razine buke za 10–15 dBA niže od onih koje su dopuštene za dan. Dozvoljene razine buke su također ovisne i o karakteristikama buke. Tako se npr. uzimaju za 5 dBA niže razine buke od dozvoljenih razina zbog postojanja diskretnih tonova u spektru buke transformatora. Isto tako može se na izmjerene vrijednosti dodati 5 dBA kako bi se provodila usporedba s dozvoljenim razinama buke.

Tablica 5. Dozvoljene razine buke u urbanim sredinama (noću)

Zona stanovanja	Propis / preporuka		
	Smjernice za grad Zagreb	ISO smjernice	Propis za Sloveniju
I. seoska, bolnička, rekreacijska	25	15–25	35
II. predgradska sa slabim prometom	30	20–30	40
III. gradska	35	25–35	40
IV. gradska (poslovna djelatnost ili glavne ulice)	40	30–40	40
V. poslovni trgovački ili upravni centar	45	35–45	45
VI. industrijska	50	40–50	65

5. MJERE ZA SMANJENJE BUKE TRANSFORMATORA

Mjere za smanjenje buke mogu biti primarne i sekundarne.

Primarne mjere obuhvaćaju mjere proizvođača transformatora: projektantska i konstruktorska rješenja) kao i odgovarajuća rješenja u toku proizvodnje transformatora.

Osnovni izvor buke je jezgra transformatora, pa su i najznačajnija sniženja razine buke vezana za jezgru:

1. Najveće sniženje buke se može postići upotrebom laserski obrađenog lima i superorijentiranog lima.

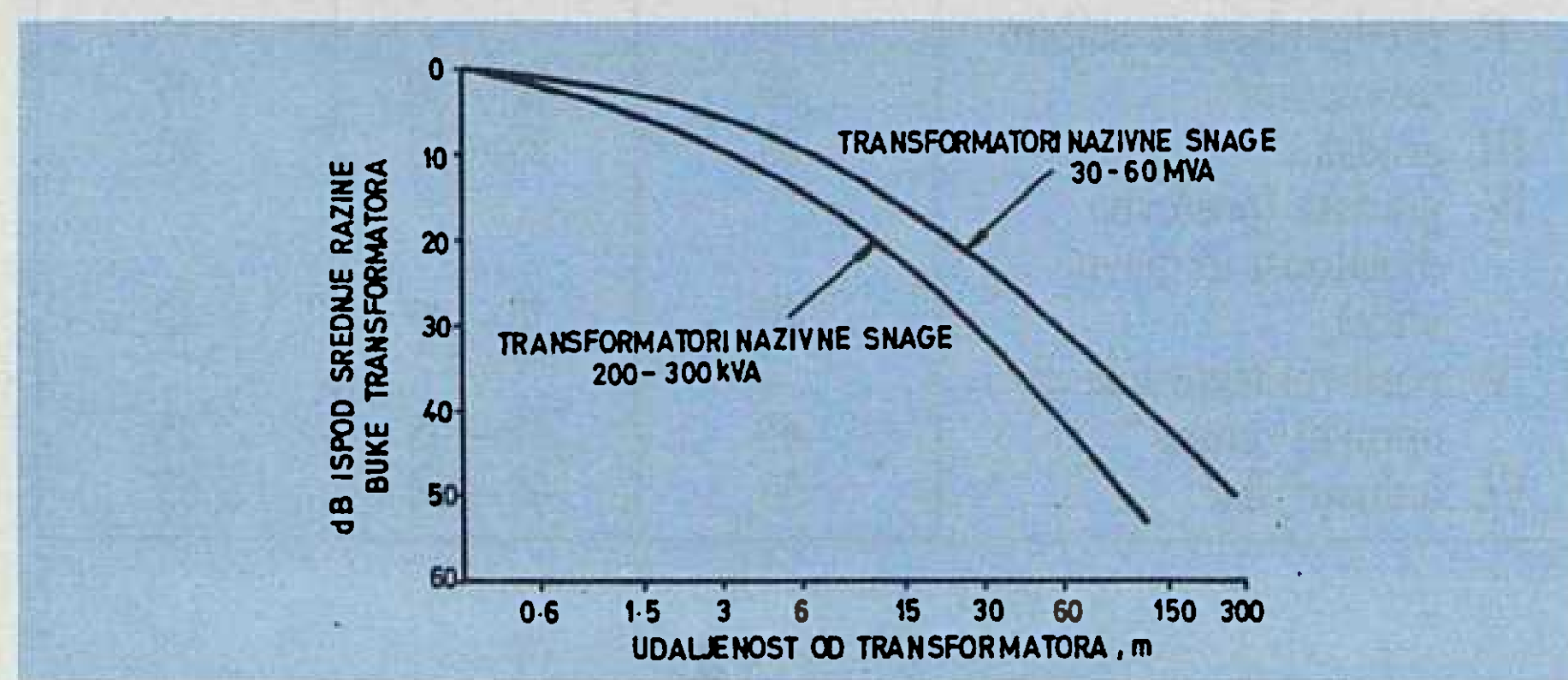
2. Smanjenjem indukcije snizuje se razina buke.
3. Ispravnim dimenzioniranjem i oblikovanjem jezgre može se smanjiti razina buke.
4. Dobrom obradom lima mogu se sniziti gubici.
5. Dobrim konstrukcijskim rješenjima sistema za stezanje jezgre i kontrolom sila pritezanja i pažljivim slaganjem lima može se također sniziti razina buke.
6. Ispravnim dispozicijskim rješenjem (razmacima) između jezgre, kotla i pomoćne opreme može se također sniziti razina buke.

Primarne mjere koje se odnose na namote manje su djelotvorne od mjera koje se odnose na jezgru, a odnose se na iznose napona po zavoju, visinsku simetriju namota i na vlastite frekvencije namota. U primarne mjere ubraja se i smanjenje buke sprečavanjem mogućih vibracija ostale opreme na transformatoru. Sekundarne mjere za smanjenje buke mogu se podijeliti u više vrsta:

1. smanjenje buke udaljavanjem transformatora, tj. izborom lokacije transformatora,
2. smanjenje buke korištenjem zaštitnih zidova (korištenje prepreka na putu širenja buke),
3. smanjenje buke oklapanjem čitavog transformatora (smještaj u zgrade ili akustičke oklope),
4. poništavanje buke transformatora pomoću akustičke rezonancije,
5. smanjenje buke ventilatora i hladnjaka (aerodinamičke buke).

5.1. Smanjenje buke udaljavanjem transformatora

To je najjednostavnija mjera za smanjenje buke, ali je primjenljiva jedino za vanjska sklopna postrojenja ako nema refleksije. U principu se energetske transformatori udaljavaju od stambenih zgrada, pri čemu se imaju na umu udaljenosti dalekovoda od stambenih zgrada.



Slika 4. Smanjenje buke transformatora udaljavanjem transformatora

Sl. 4. prikazuje krivulje slabljenja buke u zavisnosti od udaljenosti prema podacima iz [6.]

Pomoću ovih krivulja, a na osnovi podataka o dozvoljenoj nivou buke (npr. prema tablicama 3. i 4), može se odrediti na kojoj udaljenosti mora biti smješten energetske transformator. Time bi se razina buke smanjila na željeni iznos, odnosno smanjila bi se razina buke za željeni iznos od one vrijednosti koju je dao proizvođač transformatora.

Kako je vidljivo iz tabl. 3. najbolje je locirati transformatore u industrijskoj zoni (najviše dozvoljene

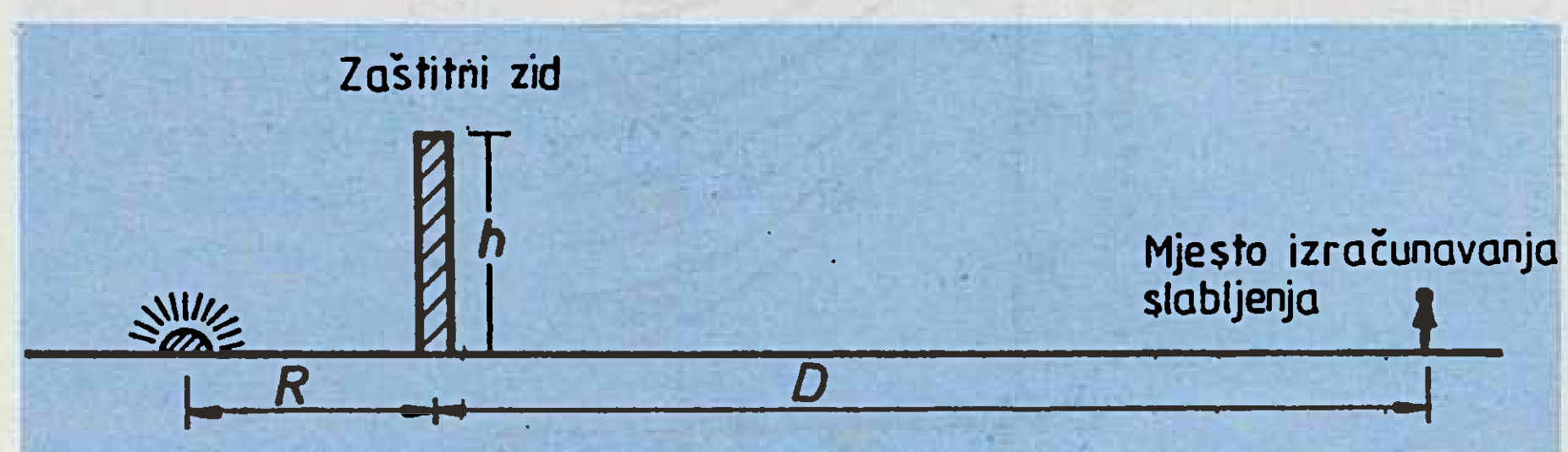
razine buke). Tada je udaljenost do najbližih objekata najmanja.

Tako npr. transformatorska stanica s transformatorima 2×20 MVA ima prema procjeni razinu buke 47 dBA. Ako je ona smještena u industrijskoj zoni, najbliži objekti morali bi biti smješteni približno 110 metara od nje, a ako se nalazi u gradskoj zoni, ta udaljenost iznosi oko 600 metara.

Iako se čini da je ova metoda besplatna, to nije točno, jer treba uzeti u obzir cijenu koštanja zemljišta i cijenu dodatnih veza (bilo kabelskih bilo nadzemnih vodova) s obzirom na to da je transformatorska stanica dalje od potrošača.

5.2. Smanjenje buke korištenjem zaštitnih zidova

Zaštitni zid je sredstvo koje efikasno štiti od buke transformatora samo u određenom pravcu (vidi sl. 5).

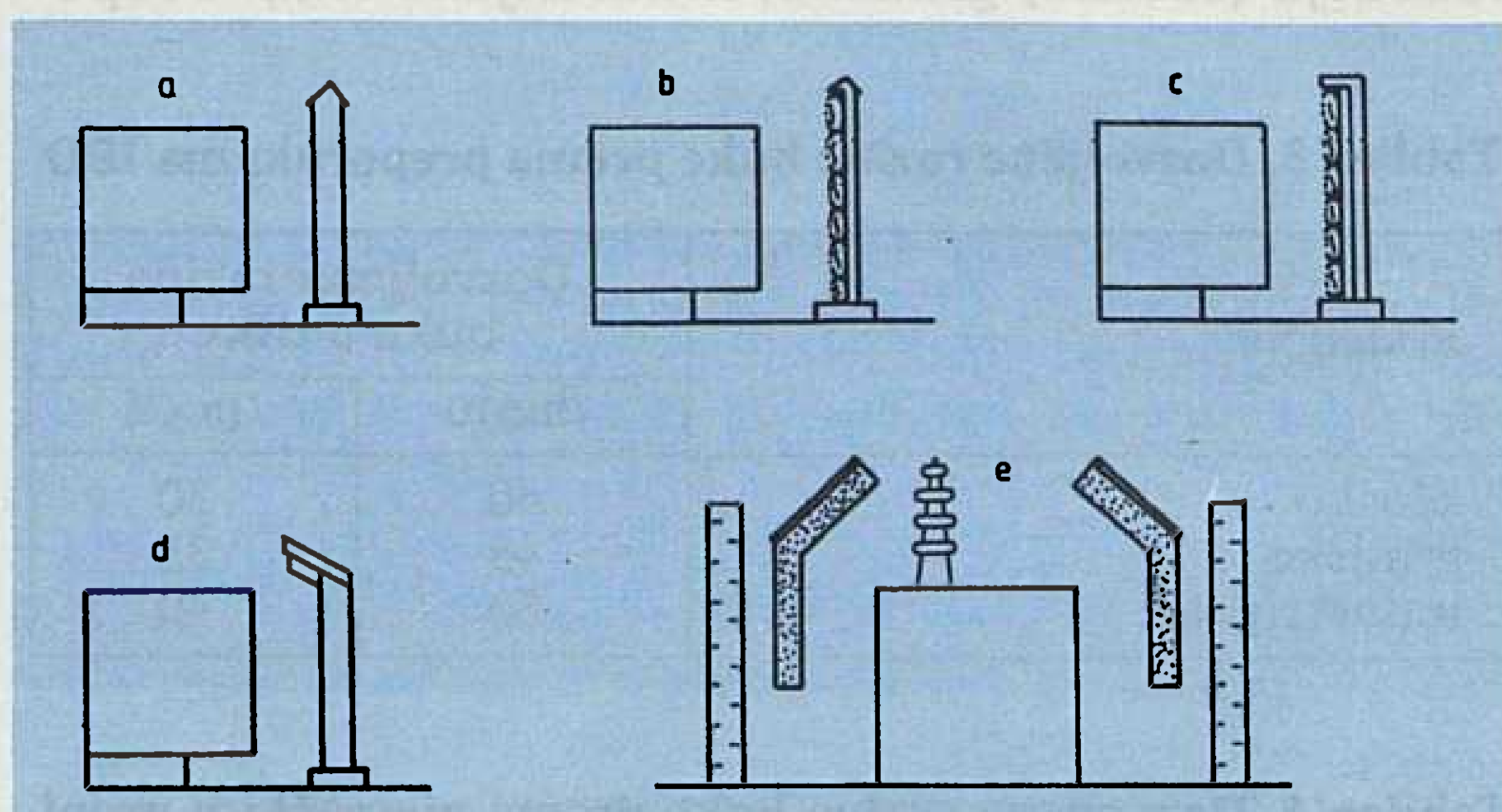


Slika 5. Smanjenje buke korištenjem zaštitnih zidova (shematski prikaz)

Smanjenje buke za različite frekvencije može se izračunati pomoću aproksimativnog izraza:

$$L = 10 \log \frac{20}{\lambda} \cdot \frac{h^2}{R} \text{ (dB)}. \quad (1)$$

Navedeni izraz vrijedi uz uvjet da je $D \gg R$ (prema sl. 5). Najčešće se kao zaštitni zid koristi protupožarni zid. Ako je potrebno znatnije smanjiti razinu buke, potrebno je koristiti se nekim od građevinskih rješenja koja su prikazana na sl. 6, prema [1]:



Slika 6. Građevinska rješenja za smanjenje buke pomoću zaštitnih zidova

a) zid od opeke, b) betonski zid s unutrašnjom oblogom od apsorpcijskog materijala, c) zid od opeke s unutrašnjom oblogom od apsorpcijskog materijala, d) zid od opeke s nadstrešnicom, e) pregrade od apsorpcijskog materijala unutar zaštitnih zidova.

Pritom je zid od opeke najjednostavnije rješenje i postavlja se s jedne ili više strana oko transformatora, ovisno o potrebnom smanjenju razine buke. Ako

je zid na udaljenosti 1 m od transformatora i 1 m iznad gornje površine transformatora, može se računati sa smanjenjem razine buke od 10 dBA.

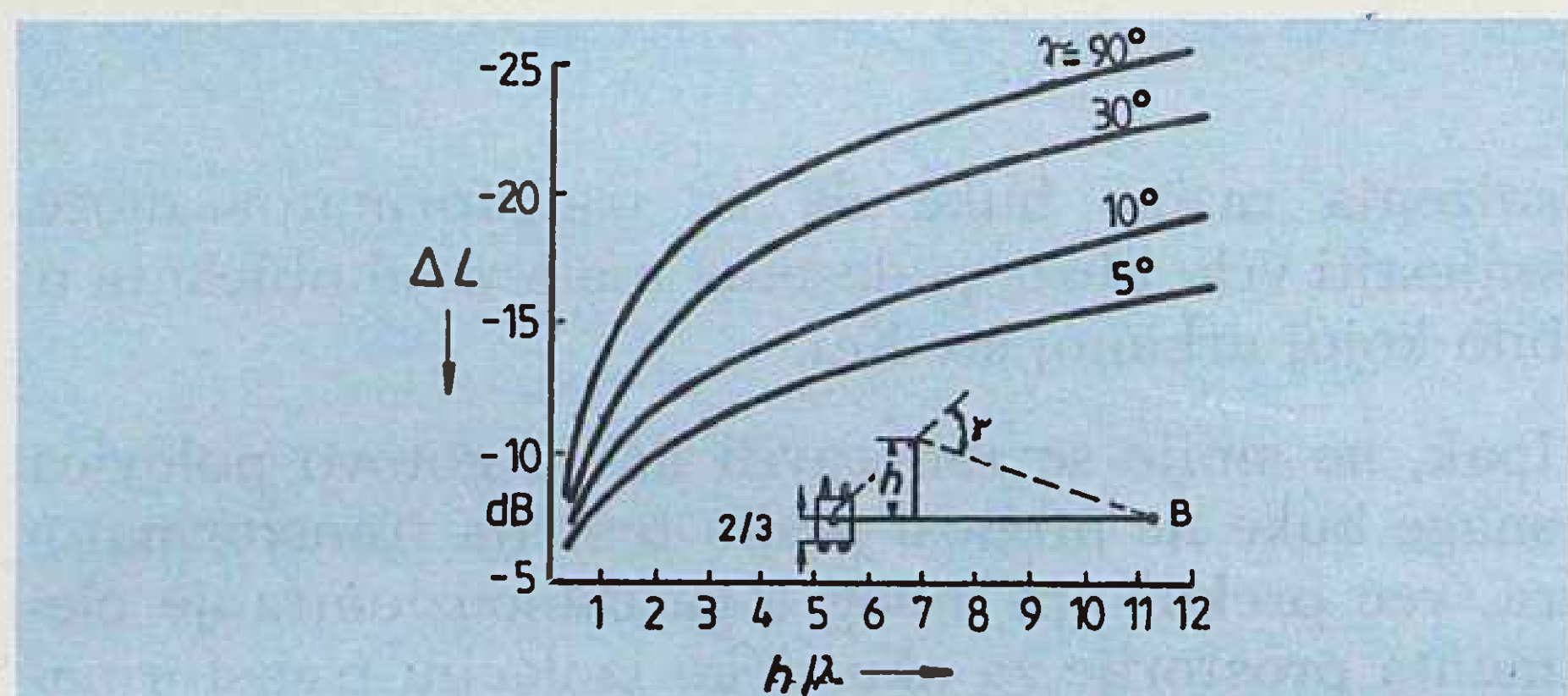
Ako se provede unutrašnje oblaganje zaštitnog zida materijalom koji je dobar zvučni izolator (sl. 6. b i c), može se postići smanjenje razine buke i do 12 dBA. U svakom slučaju, smanjenje razine buke ovisi o visini zaštitnog zida, njegove udaljenosti od transformatora, valne dužine zvuka i od mjesta na kojem se izračunava slabljenje. Za osnovnu frekvenciju u buci transformatora od 100 Hz iznosi valna dužina zvuka:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{300}{100}$$

$$\lambda = 3,3 \text{ m.}$$

Krivulje smanjenja buke pomoću zaštitnih zidova prikazane su na sl. 7.



Slika 7. Smanjenje buke korištenjem zaštitnih zidova

h — visina zida u m

λ — valna dužina zvuka u m

f — frekvencija u Hz

γ — kut prelamanja zvuka

B — mjesto izračunavanja razine buke

Korištenje zida s nadstrešnicom još je bolje rješenje jer se osim povećanja visine zida h povećava i kut prelamanja zvuka γ . Na taj se način može smanjiti razina buke u odgovarajućem pravcu i do 15 dBA. Pritom je moguće kut povećati i smanjenjem udaljenosti transformatora od zaštitnog zida. Veoma je važno predvidjeti u donjim dijelovima zaštitnog zida otvore za ventilaciju kao bi se osiguralo normalno hlađenje transformatora.

Otvori za ventilaciju moraju biti određenih dimenzija kako ne bi bilo nepoželjnog efekta, tj. povećanja razine buke (problem je naročito izražen za frekvencije od 200 Hz i 300 Hz).

Postave li se akustičke pregrade (prema sl. 6. e), nisu potrebni otvori za ventilaciju jer zrak struji kroz prostor između vanjskog zida i akustičke pregrade.

Pregradama se, dakle, dosta efikasno štiti samo jedno područje oko transformatora. Barijera stvara područje »sjene« slično kao i pri širenju svjetlosti. Dakle, zbog sumjernih dimenzija barijere i valne dužine zvuka dolazi do difrakcije zvuka na barijeri.

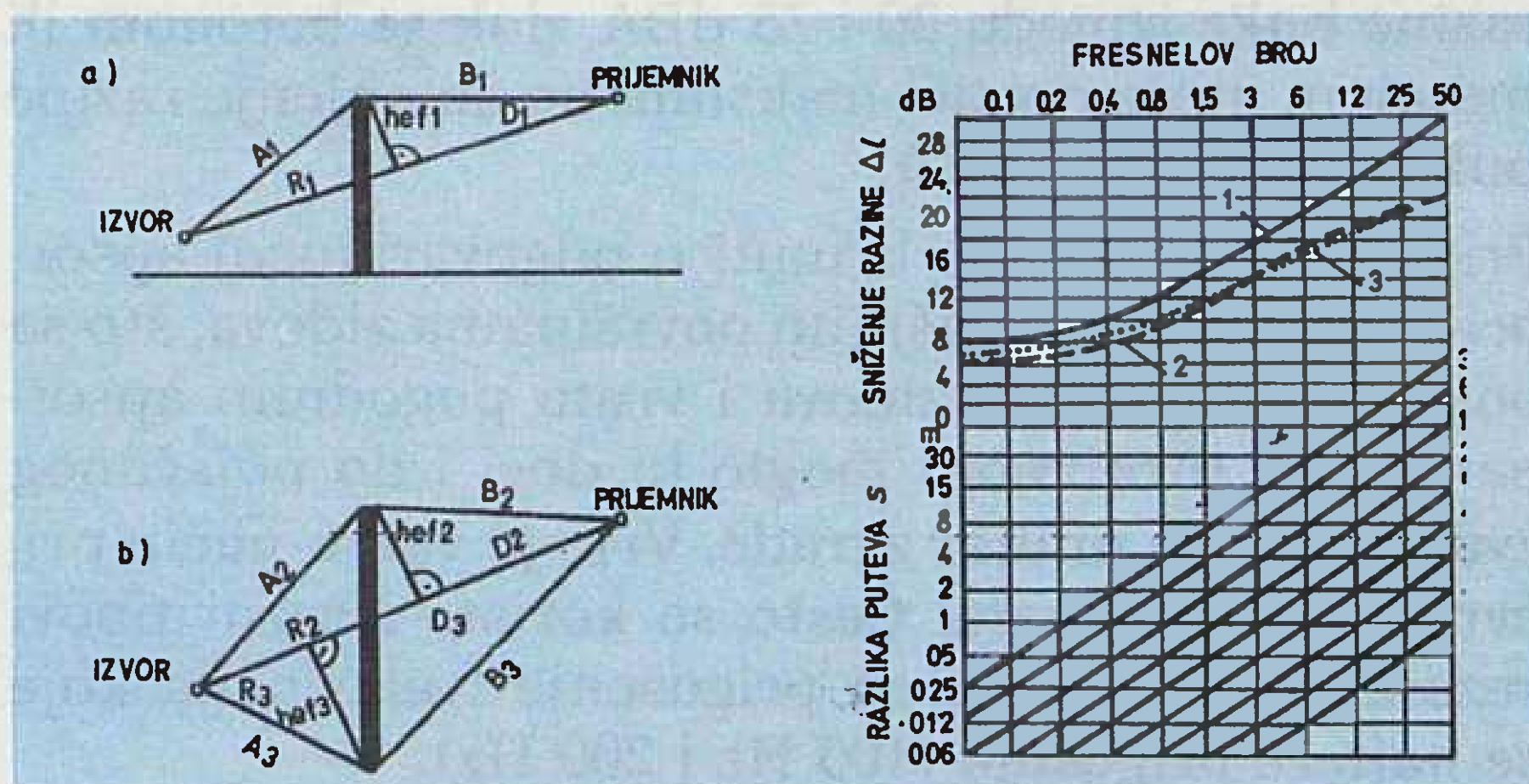
Točniji proračun sniženja razine buke pomoću barijera moguć je uz sljedeće pretpostavke:

1. Zvučni izvor je točkast.
2. Barijera je beskonačno duga.
3. Materijal barijere ima gubitke prijenosa barem 10 dBA veće od željenog sniženja razine buke.

Sniženje razine buke ovisi o frekvenciji i o razlici dužina putova zvuka (s) koja iznosi (prema sl. 8) iz [2]:

$$s_1 = (A_1 - R_1) + (B_1 - D_1) \quad (3)$$

$$s_1 = \sqrt{R_1^2 + h_1^2} - R_1 + \sqrt{D_1^2 + h_1^2} - D_1. \quad (4)$$



Slika 8. Određivanje sniženja razine buke barijerom

- a) razlike putova širenja preko vrha barijere,
- b) razlike putova širenja preko bočnih strana barijere, s_2 i s_3 računaju se iz izraza (4) uz zamjenu indeksa,
- c) dijagram za određivanje sniženja razine buke (krivulja 1).

U proračunu se dobiju tri parcijalna sniženja razine buke (ΔL_1 ; ΔL_2 ; ΔL_3), a ukupno sniženje razine buke ΔL iznosi:

$$\Delta L = 10 \log \sum_{i=1}^3 \left(10^{-\frac{\Delta L_i}{10}} \right)^{-1} \quad (5)$$

Strana barijere prema izvoru mora biti obložena materijalom koji apsorbira zvuk i koji je otporan na atmosferske utjecaje. Udaljenost transformatora mora biti takva da se spriječi nastajanje stojnog vala na harmonicima buke transformatora:

$$d \neq \frac{c}{2 \cdot f_0 \cdot n} \quad (6)$$

$$d \neq \frac{340}{2 \cdot 100 \cdot n} \quad (7)$$

$$d \neq \frac{1,7}{n} (n = 1, 2, \dots). \quad (8)$$

Budući da se barijerama može smanjiti razina buke do 15 dBA, to znači da se npr. transformatorska stanica 2×20 MVA može instalirati u samu gradsku zonu, a ne npr. 600 metara od nje.

Izgradnjom zaštitnih zidova nastaju problemi s pozicijom priključaka (kako faznih, tako i za opremu u nul-točki) energetskog transformatora. Pri izradi projektne dokumentacije potrebno je pronaći kompromis između dimenzija zida (prije svega visine zida) i razmaka između zida i transformatora kako bi se zadovoljili suprotni zahtjevi u pogledu smanjenja razine buke i u pogledu minimalnih razmaka od dijelova pod naponom i zahtjeva u pogledu hlađenja.

5.3. Smanjenje buke oklapanjem cijelog transformatora

Korištenje transformatorskih zgrada (oklapanje cijelog postrojenja) najefikasnija je metoda za smanjenje razine buke i na taj je način omogućeno smanjenje buke transformatora u svim smjerovima oko transformatora. Smanjenje buke zavisi uglavnom od debljine i konstrukcije zida i krova, načinu izvedbe vrata i ventilacionih otvora.

Zahvaljujući velikoj površinskoj gustoći i niskoj vlastitoj frekvenciji, opekom se može postići smanjenje razine buke između 20 i 35 dBA, dok se betonom ili metalom može postići maksimalno smanjenje razine buke od 20 do 25 dBA.

Pritom je vrlo važno brinuti o odgovarajućoj apsorpciji zvuka na unutrašnjim površinama zidova, što se postiže oblaganjem zidova i vrata pogodnim apsorberima. U protivnom moglo bi doći i do pojačanog zvučnog polja unutar zgrade. Vrlo je važan način pričvršćenja asporbera. Često se koriste i razni tipovi rezonatora, posebno za prigušenje frekvencija koje se najteže prigušuju (100 Hz i 200 Hz).

Prema tome, tri su načina prenošenja buke iz transformatorskih zgrada:

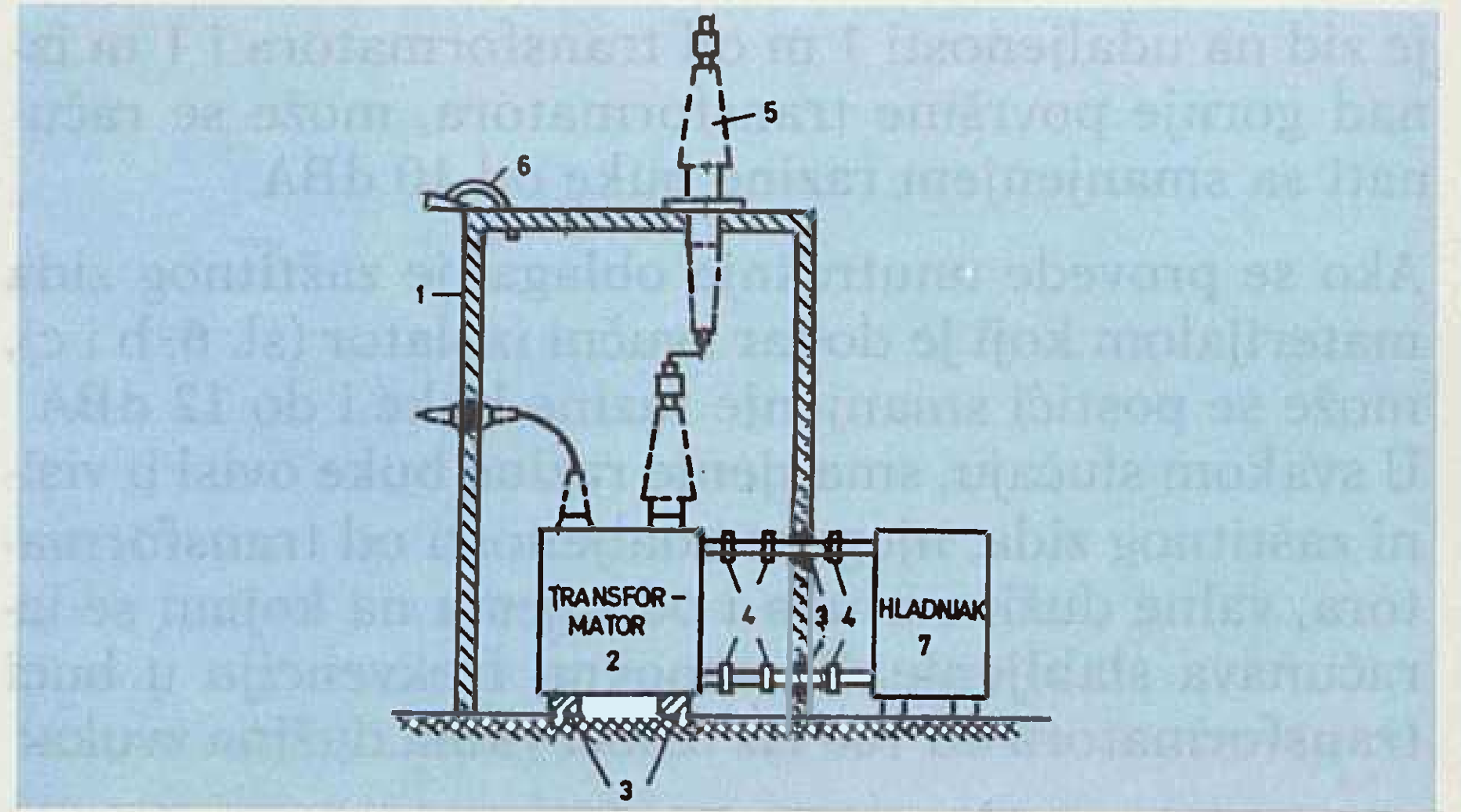
1. vibracijom zidova koju zidovi primaju dodirom preko temelja transformatora, preko kabela ili preko izolatora pomoću kojih se vrši spoj transformatora s ostalim elementima postrojenja,
2. vibracijom zidova zbog zvučne energije koja se prenosi od transformatora,
3. prijenosom buke koja se zrakom kroz kanale ili ventilacijske otvore prenosi izvan zgrade.

Nezavisno od toga da li se razina buke smanjuje pomoću zaštitnog zida ili zgrade, najveće smanjenje razine buke postiže se smanjenjem vibracija koje se prenose preko temelja. To se postiže montažom transformatora na antivibracionom postolju ili postavljanjem transformatora na elastomerske ležajeve.

Izbor karakteristika elastomerskih ležajeva (u prošlosti se koristio i kaučuk, ali on ima lošije karakteristike od elastomera) prilično je složen problem i potrebno je uzeti u obzir dosta faktora: jedinična opterećenja po ležaju, najveći centrički pritisak, sigurnost protiv klizanja, zakretanje ležajeva, posmične deformacije itd. Pritom je veoma važno provesti i odgovarajuću provjeru djelovanja potresa na ovako montirani transformator.

U primjeru velikih transformatora ponekad se hladnjaci postavljaju dalje od transformatorskog kotla. Tada se obično hladnjaci ostavljaju neoklopljeni, tj. izvan zgrade, a samo transformatorski kotao s ostalom opremom transformatora, kao glavni izvor buke, smješta se u zgradu. Radi sprečavanja vibracija svi cijevni i ostali spojevi između kotla i hladnjaka moraju imati elastično povezivanje. Isto tako mora biti elastično uležištenje takvih spojeva na mjestu prolaza kroz zidove (vidi sl. 9).

Dakle, ispravnim izborom i dimenzioniranjem zidova, vrata i prigušivača uvijek se mogu postići takva



Slika 9. Shematski prikaz neoklopljenog hladnjaka i oklopljenog ostalog dijela transformatora

- 1 — zidovi zgrade
- 2 — transformatorski kotao
- 3 — elastični podmetači
- 4 — elastični spojevi za cijevi
- 5 — provodni izolatori
- 6 — cijev za izlaz zraka
- 7 — hladnjak

snižavanja razine buke da se transformator može smjestiti vrlo blizu, pedesetak metara od objekata u bilo kojoj urbanoj sredini.

Ipak, ne smije se zaboraviti da se gotovo polovica snage buke ne prenosi preko temelja transformatora, već preko ulja. Zbog toga dimenzioniranje elementa prostorije za akustičku izolaciju transformatora ima prvorazrednu važnost. Kako je potrebno riješiti mnoštva problema (smanjeni razmaci od dijelova pod naponom, pogoršani uvjeti hlađenja, rušenje čitave prostorije ili pojedinih zidova u slučaju transporta transformatora itd.), neki proizvođači koriste se i nekim drugim rješenjima za smanjenje buke transformatora metodom oklapanja transformatora.

Tako je npr. tvrtka AEG proizvela energetske transformatore s dvostrukim kotlom. Transformator ima vanjski čelični omotač koji obuhvaća kotao transformatora. Međuprostor između kotlova ponekad se ispunjava materijalom koji apsorbira zvuk. Uređaji za hlađenje nalaze se izvan kotla transformatora i povezuju se s njim pomoću elastičnih elemenata. Spojevi između čeličnog omotača i kotla transformatora također su elastični zbog sprečavanja direktnog prijenosa vibracija. Za jedinice nazivne snage veće od 50 MVA montaža se izvodi na mjestu ugradnje, što prilično komplicira montažu transformatora. Prema podacima tvrtki AEG i Ferranti na taj se način može razina buke smanjiti i do 15 dBA. S obzirom na cijenu može se konstatirati da se danas praktično koriste samo posebne prostorije (kućice) za akustičku izolaciju transformatora i da su rješenja s dvostrukim kotlom malobrojna.

Radi smanjenja troškova razvijeni su i tipovi prostorija lake konstrukcije, pri čemu je pojedine dijelove (posebno krov) lako demontirati. Time se i lakše dobiva potreban prostor za smještaj opreme za ispitivanje transformatora.

5.4. Snižavanje buke metodom poništavanja zvuka

To je metoda tkz. akustične superpozicije. Uređaji se sastoje od jednog ili više zvučnika koji su izvor tonova. U prostor oko transformatora iz zvučnika se emitiraju harmonici buke transformatora suprotne faze od smetajuće buke.

Velik je nedostatak ove metode u tome što omogućuje smanjenje buke samo u određenom području koje je ograničeno kutom od 35°.

Ovo je u načelu jedna od najjeftinijih metoda, ali se zadovoljavajući rezultati mogu postići tek uvođenjem uređaja za automatsku regulaciju, jer se razina buke mijenja tijekom pogona transformatora.

Na taj način omogućeno je smanjenje buke u određenoj točki i do 20 dBA.

5.5. Smanjenje buke ventilatora i hladnjaka (aerodinamičke buke)

Vrlo često su pomoćni uređaji za hlađenje transformatori većih snaga (ventilatori i hladnjaci) veći izvor buke nego transformatori. Transformatori velikih snaga vrlo su često smješteni u zgradi, pa njihova pomoćna oprema za hlađenje (hladnjaci izvan zgrade odnosno ventilatori ugrađeni u zidove transformatorske zgrade) postaju glavni izvor buke. U tom je slučaju, posebno u slučaju gradskih transformatorskih stanica, potrebno posebnu pozornost obratiti načinu uležištenja ventilatora odnosno hladnjaka, pri čemu se koriste apsorpcijski prigušivači.

Pravilnim izborom ventilatora (korištenjem ventilatora sa širokim i malobrojnim lopaticama, nazivne brzine ventilatora do maksimalno 750 okretaja/minuti, itd.) može se smanjiti razina buke ventilatora. Za hladnjake mogu se koristiti elastomerski ležajevi sličnih karakteristika kao što su oni za oslanjanje transformatora. Pritom se mora posvetiti pažnja istim parametrima kao i u slučaju izbora elastomerskih oslonaca za transformatore.

Isto tako je potrebno predvidjeti zaštitu od širenja buke transformatora kroz ventilacijsku komoru na krovu, što je vrlo često kod metalom oklopljenih SF6 postrojenja, kad i transformatori i postrojenja mogu biti smješteni u istoj zgradi. U tom se slučaju obično koriste zvučni apsorberi (mineralna vuna, panel-apsorberi, olovni lim itd.).

Ako su transformatori smješteni u zgradi, poseban je problem pristup transformatoru kod većih popravaka (jer je to suprotan zahtjev od onoga da se razina buke smanji približavanjem transformatora zidovima), kao i za transport transformatora. Stoga se predviđa demontažni zid kako bi se u slučaju potrebe remonta transformatora mogao zid demontirati. Za pristup transformatoru i ostaloj opremi (odvodnici prenapona, zemljospojnici u nultočki transformatora itd.) u slučaju pregleda i nadzora transformatora služe vrata normalnih dimenzija, ali izrađena također tako da apsorbiraju buku.

6. ZAKLJUČAK

S razvojem sredstava za proizvodnju, prometa i potrošnje električne energije u industriji i u većim urbanim sredinama registrira se sve veći porast razine buke i vibracija u čovjekovoj radnoj i životnoj sredini. Prema postojećoj zakonskoj regulativi projekti transformatorskih stanica moraju obavezno sadržavati projekte zaštite čovjekove radne i životne okoline, uključujući i rješavanje problema zaštite od buke i vibracija. Iskustvo je pokazalo da je moguće naći tehnički korektno i ekonomski prihvatljivo rješenje korištenjem domaćih materijala i opreme.

Iz teksta je vidljivo da se samo koordiniranom akcijom investitora, proizvođača transformatora, projektanta i korisnika može postići jednostavno, tehnički korektno i ekonomski prihvatljivo rješenje sniženja razine buke na željenu razinu. Isto tako, bilo bi veoma važno napraviti odgovarajuću tehničku regulativu za ovu problematiku jer postojeća regulativa ne obuhvaća u cijelosti ovu problematiku.

LITERATURA

- [1] SPAIĆ Č., SPAIĆ G.: »Sagledavanje problema buke u transformatorskim stanicama i najvažnije mere za njeno smanjenje«, XII stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Budva, 1975.
- [2] FILIPOVIĆ, D.: »Potrebe i mogućnosti sniženja razine buke distributivnih trafostanica«, XVI savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Opatija, 1983.
- [3] ISO Recommendation R1996 — Assessment of noise with respect to community response, May 1971.
- [4] Smjernice za ograničavanje razine buke na području grada Zagreba, Sekretarijat za komunalne poslove građevinarstva i saobraćaj, 16. 11. 1971.
- [5] Odlok o maksimalno dozvolje ih revne hrupa za posebna območja na ravne i bivalne okolja, ter za bivalne prostore. Uradni list SRS 3/1977.
- [6] AUSTEN STIGENT, S., FRANKLIN, A. C.: »The J & P Transformer Book«, Butterworth & Co., London, 1973.

THE PROBLEM OF NOISE IN TRANSFORMER SUBSTATIONS AND THE MOST IMPORTANT REDUCTION MEASURES

Noise sources are presented according to substation element, as well as the domestic and foreign regulations applicable. Measures to reduce noise in transformer substations are given.

PROBLEME BEZÜGLICH DER GERÄUSCHE IN DEN TRANSFORMATORSTATIONEN UND DIE WICHTIGSTEN MASSNAHMEN ZU IHRER VERRINGERUNG

Im Artikel spricht man über die Geräuschquellen und sie sind nach den Anlageelementen dargestellt. Es wurden auch die ausländischen Vorschriften, die dies regeln angeführt. Am Ende spricht man über die Massnahmen zur Verringerung der Geräusche bei Transformator — Stationen.

Naslov pisaca:

Velimir Ravlić, dipl. inž.
Željko Radošević, dipl. inž.
»Rade Končar« Zagreb,
41000 Zagreb,
Fallerovo šet. 22,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1990-11-20.



MASINOIMPEX

Poduzeće za vanjsku trgovinu
41000 Zagreb, Varšavska 9

Phone 041/457-111
Fax 041/424-090, 426-269
Telex 21177, 21254 MAEX YU

ASTRA MAŠINOIMPEX je poduzeće za vanjsku trgovinu, specijalizirano za export i import kompletnih objekata, postrojenja, opreme, repromaterijala, strojeva, dijelova i alata za sve grane industrije; obavlja i vanjskotrgovinsko zastupanje i posredovanje u prometu roba i usluga, turističku i ugostiteljsku djelatnost u poslovanju s inozemstvom, financijski inženjering, marketing i konzultersku djelatnost u vanjskotrgovinskom poslovanju.

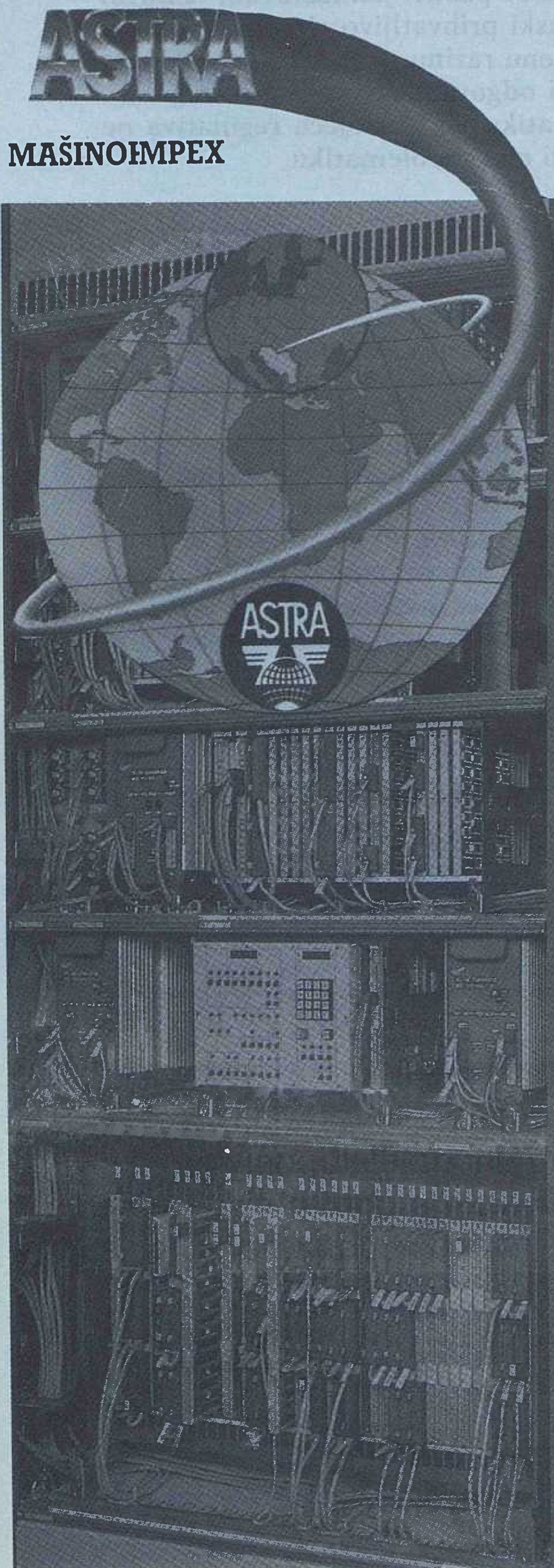
Zbog nedostatka prostora nemoguće je nabrojiti sve važnije izvozne reference ASTRA MAŠINOIMPEXA u mnoge

države svijeta: plasman domaćih telefonskih i telegrafskih međugradskih centrala, postrojenja i opreme za prehrambenu i kemijsku industriju, strojeve i elektrostrojogradnje, strojeva za obradu drveta, tekstilnu i kožarsku industriju, automatskih alatnih strojeva i alata, proizvoda metaloprerađivačke industrije, stakla, keramike, porculana, kože, gume, tekstila i druge robe.

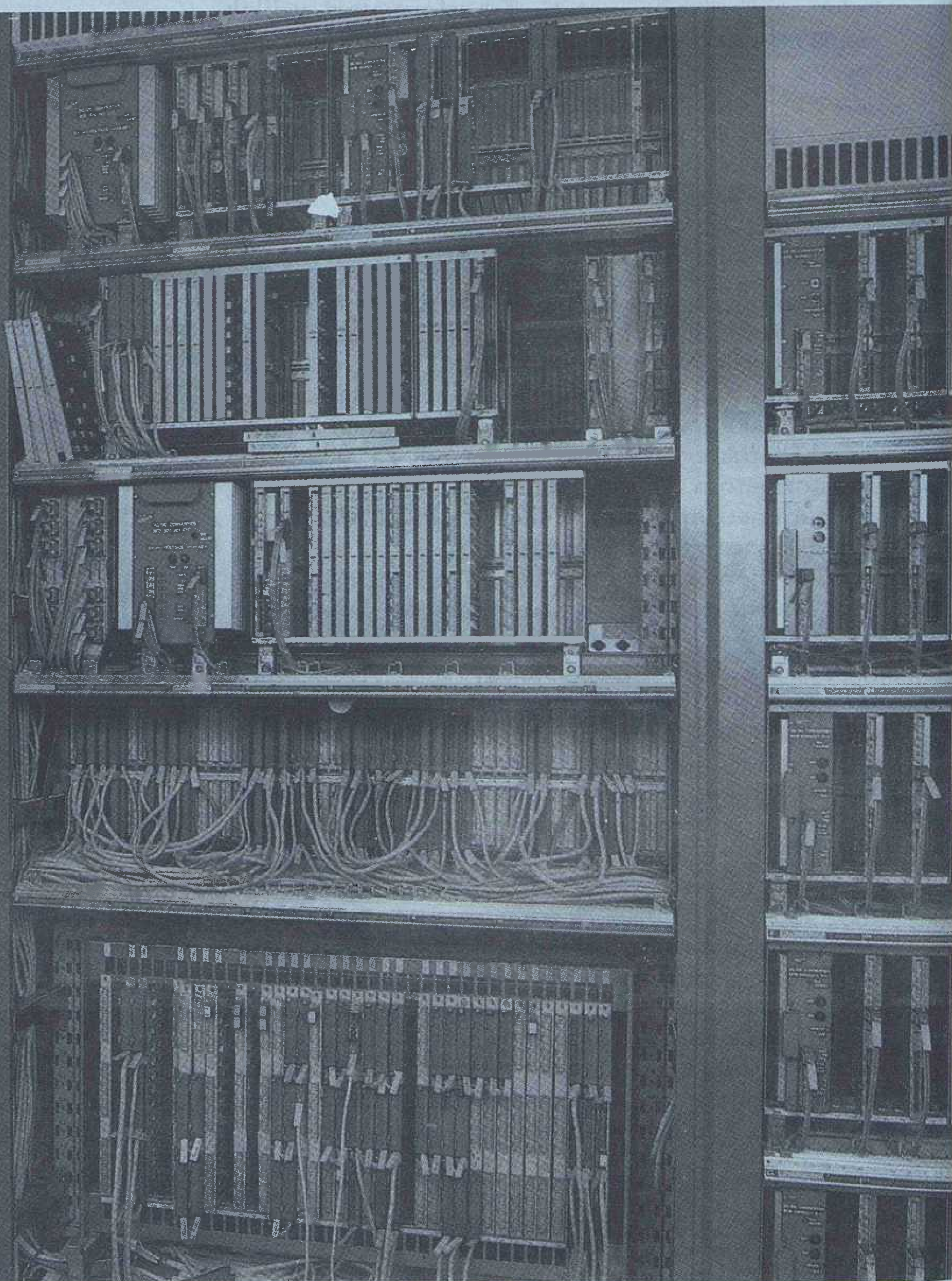
ASTRA MAŠINOIMPEX istodobno ima i značajnu ulogu u uvozu postrojenja, moderne opreme i repromaterijala potrebnog domaćoj proizvodnji. Našim posredstvom u Jugoslaviji su izgrađeni i modernizirani mnogi privredni objekti: rafinerije i petrokemijska postrojenja, kemijske i tekstilne tvornice, postrojenja za dobivanje i preradu obojenih metala, tvornice papira, stakla, za preradu plastičnih masa, oprema za željeznička transportna poduzeća, poštanske telefonsko telegrafске organizacije i

radioteleviziju, oprema za energetske objekte itd.

Osnovna značajka poslovnog programa ASTRA MAŠINOIMPEXA sastoji se u različitim modalitetima čvrstog partnerstva s brojnim domaćim izvozno orijentiranim proizvođačima i tradicionalnoj povezanosti kroz privrednu suradnju s uglednim inozemnim partnerima. U našem poslovanju posebnu aktivnost usmjerujemo na složenije i više oblike privredne suradnje: kooperacije i osnivanje pojedinih kapitalnih dioničarskih i mješovitih društava za izgradnju infrastrukturnih objekata i tvornica atraktivnih proizvoda po najsuvremenijim svjetskim tehnologijama. Naša uloga u osnivanju mješovitih društava sastoji se u povezivanju stranih i domaćih ulagača-osnivača na temelju osmišljenih poslovnih programa, te realizacija svih vanjskotrgovinskih i izvozno-uvoznih zadataka.



MAŠINOIMPEX



S ASTRA MAŠINOIMPEXOM NA INOZEMNOM TRŽIŠTU POSTIŽETE CILJ U SVAKOJ TRŽIŠNOJ KOMBINACIJI

PRORAČUNAVANJE PRIJELAZNOG PRENAPONA OKLOPA METALOM OKLOPLJENIH PLINOM SF₆ IZOLIRANIH POSTROJENJA

Istraživanje utjecaja na sniženje prenapona

Dr. Salih Čaršimamović, Osijek

UDK 621.316.545

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu se iznose rezultati eksperimentalnih i računarskih istraživanja utjecaja na sniženje prijelaznog prenapona oklopa metalom oklopljenog plinom SF₆ izoliranog postrojenja koji se javlja pri sklapanju rastavljačem.

Ključne riječi: metalom oklopljena postrojenja, vrlo brze prijelazne pojave, uzemljenje, prijelazni prenapon uzemljenja.

1. UVOD

Tijekom razvoja metalom oklopljenih plinom SF₆ izoliranih postrojenja, primijećen je fenomen prelaznog prenapona na uzemljenim dijelovima oklopa do 100 kV i više. Fenomen je interesantan zbog mogućnosti pojave kvarova na sekundarnim strujnim krugovima, tako da sa stajališta sigurnosti postrojenja posljedice prijelaznog prenapona na uzemljenim dijelovima oklopa mogu postati ograničavajući faktor za pouzdanost rada krugova kontrole, zaštite i mjerenja. Eksperimentalne metode, kao i korištenje suvremenih brzih računala omogućuju istraživanje najznačajnijih fizičkih pojava koje se u sustavu događaju pri ovakvim prijelaznim elektromagnetskim pojavama. Kako se radi o veoma brzim pojavama (reda MHz), eksperimentalna istraživanja zahtijevaju izuzetno, kvalitetno mjerenje, što je veoma teško ostvariti u laboratorijima, a pogotovu na mjestu ugradnje. Istraživači su danas suočeni s brojnim i često veoma različitim postupcima proračuna vrlo brzih prijelaznih pojava; za svaki pojedinačni element postrojenja na raspolaganju su brojni modeli, a njihovo kombiniranje u određenu cjelinu moguće je ostvariti na mnoge načine. Pitanje izbora najoptimalnijeg modela za svaki element postrojenja, njihovo odgovarajuće povezivanje i utvrđivanje ograničenja u digitalnom simuliranju presudno je za suvremenu inženjersku praksu u ovom području.

Na osnovi do sada provedenih istraživanja niza autora [1 – 6] moguće je o pitanjima modeliranja i simuliranja istraživanih pojava u metalom oklopljenim postrojenjima izvesti sljedeće opće zaključke:

- postoje različite mogućnosti predstavljanja pojedinačnih elemenata postrojenja, te se na osnovi njih dobivaju različiti stupnjevi točnosti
- valjanost pojedinih modela može se provjeriti simuliranjem odziva na jediničnu step-pobudu i us-

- poređivanjem rezultata simuliranja s mjerenjima
- sva provedena istraživanja, ako se kritički sagledaju, imaju manjkavosti u tome što ne daju dovoljno sigurne odgovore o točnosti i granicama primjenljivosti modela kada se primijene na stvarna postrojenja
- vrijeme simuliranja u svim dostupnim istraživanjima razmjerno je kratko, te se ne mogu izvesti pouzdani zaključci o ponašanju modela u duljem vremenu.

Vlastita iskustva u modeliranju i simuliranju vrlo brzih prijelaznih pojava na oklopu nastalih pri sklapanju rastavljačem pribavljena su na osnovi brojnih eksperimentalnih i računarskih istraživanja elektromagnetskih pojava u metalom oklopljenim postrojenjima. Na osnovi usporedbe rezultata mjerenja i rezultata digitalnog simuliranja razvijen je cjelovit model postrojenja.

Eksperimentalna istraživanja provedena su u laboratoriju velike snage Energoinvesta Dobrinje, na ispitnoj sekciji na kojoj su simulirani uvjeti rada rastavljača u realnim postrojenjima.

Računarska istraživanja provedena su primjenom Alternative Transient Programa (ATP) [7].

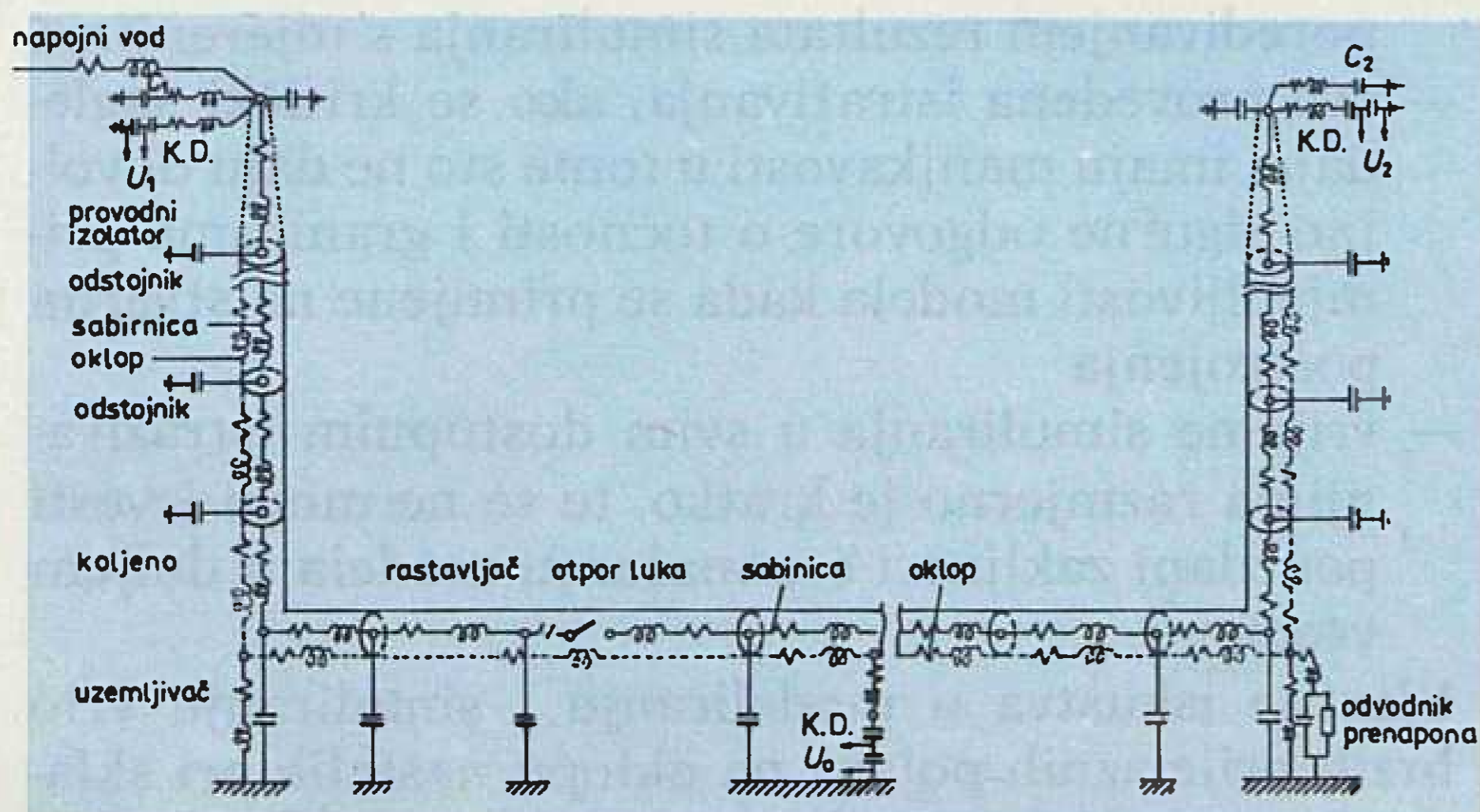
2. IZBOR MODELA

Izbor modela za pojedine elemente metalom oklopljenog postrojenja s ograničenjima primjene i uspoređenje između izmjerenih i proračunatih oblika valova za jediničnu step-pobudu i u uvjetima rada rastavljača u realnim postrojenjima iznesen je u radu [8]. Elementi metalom oklopljenog postrojenja koji su modelirani za potrebe simuliranja elektromagnetskih pojava dani su na slici 1.

U tablici 1. dane su karakteristike i pretpostavke o primjenljivosti za modele sabirnica, oklopa i uzemlji-vačkih vodova.

Tablica 1.

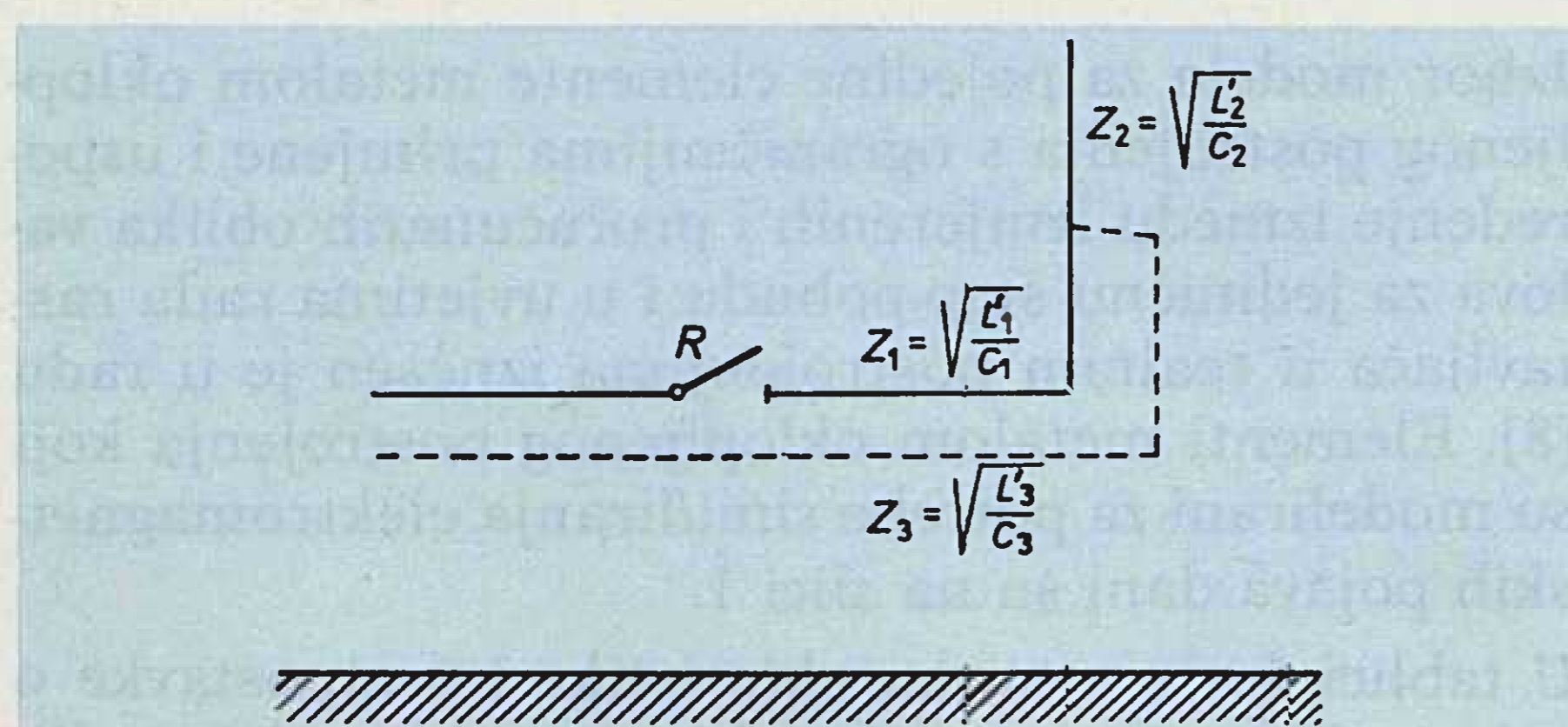
Element	Model	Karakteristike	Ograničenja primjene
Sabirnica	Model prijenosne netransponirane linije s raspodijeljenim parametrima	Ulazni parametri daju se u modalnim veličinama (R' , L' , C') i modalnom transformacionom matricom $ T_i $, određenim na dominantnoj frekvenciji	<ul style="list-style-type: none"> – Vežanje između vodiča i oklopa je zanemarivo pri vrlo visokim frekvencijama – Za $f_{kar} < f_{dom} < f_{krit}$ ili $f_{krit} < f_{dom}$ pretpostavlja se da je transformaciona matrica konstantna – Za $f_{dom} < f_{kar}$ ili $f_{dom} = f_{krit}$ potrebno je uzeti u obzir frekventnu ovisnost transformacione mustrice – Korišteni Carsonovi i Pollaczekovi članovi za $\rho = 250 \Omega m$
Oklop	Model prijenosne netransponirane linije s raspodijeljenim parametrima	Kao za sabirnice	Kao za sabirnice
Uzemljivački vodovi	Model prijenosne netransponirane linije s raspodijeljenim parametrima	Ulazni parametri daju se u modalnim veličinama (R , L , C) i modalnom transformacionom matricom $ T_i $, određenim na dominantnoj frekvenciji	<ul style="list-style-type: none"> – Korišteni Carsonovi i Pollaczekovi članovi za $\rho = 250 \Omega m$



Slika 1. Modelirani elementi ispitne sekcije

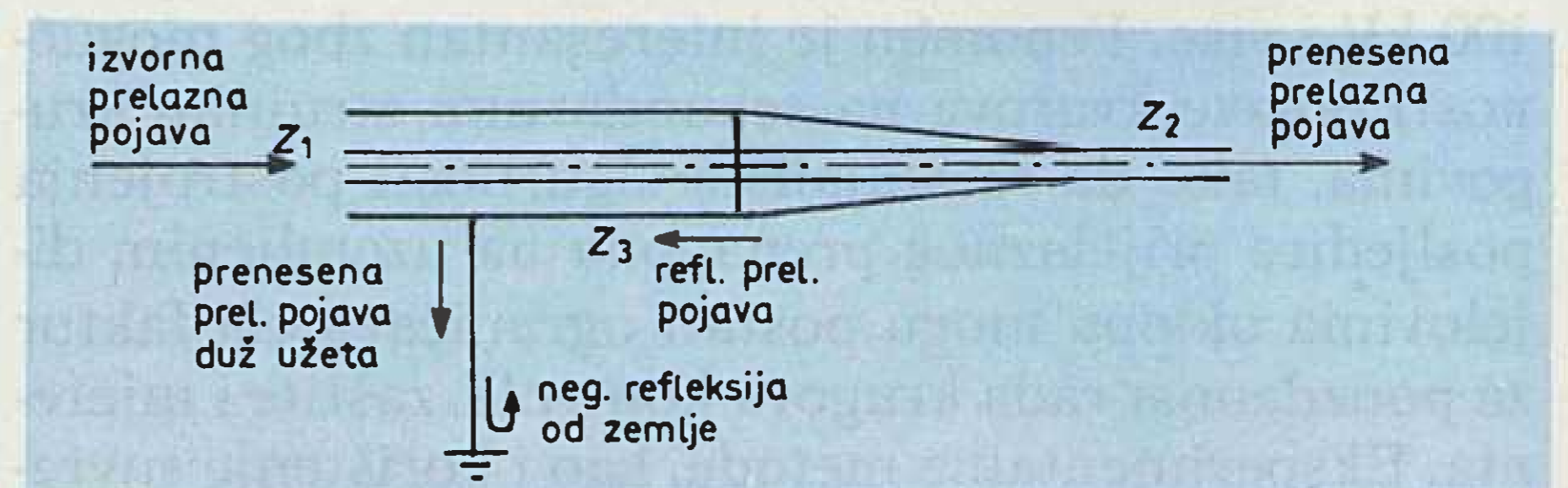
3. NASTAJANJE PRIJELAZNOG PRENAPONA NA UZEMLJENIM DIJELOVIMA

Nastanak prijelaznog prenapona na uzemljivačkim dijelovima vezan je za pojavu prenapona na sabirnicama metalom oklopljenih postrojenja uvjetovanih paljenjima između kontakata rastavljača. Tako nastao putni val rasprostire se duž vodiča Z_1 sve dok ne naiđe na diskontinuitete koji su najčešće provodni izolatori ili kabelaške glave, gdje dolazi do prelamanja vala na zračnu liniju Z_2 i reflektiranja vala na oklop Z_3 (slika 2).



Slika 2. Pojednostavljeni strujni krug

Reflektirani val prostire se duž oklopa sve dok ne naiđe na uzemljivačke vodove. Na istom mjestu se dio vala Z_3 prelama na uzemljivački vod i prostire se duž njega (slika 3).



Slika 3. Prikaz uzemljivačkih vodova

Kada naponski val dostigne površinu zemlje, javlja se negativna refleksija koja teži da poništi naponski val koji se kreće duž uzemljivačkog voda. Uz uvjet da je preskok između kontakata rastavljača nastao pri $\Delta U = 2$ j. v. (najstroži uvjet), napon na oklopu može se pojednostavljeno dati izrazom:

$$U_{okl} = -U_p \frac{2Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

gdje je

U_p – vršna vrijednost putnog vala nastalog preskokom između kontakata rastavljača

Z_1 , Z_2 , Z_3 – valna impedancija sabirnica, zračnog voda i uzemljivačkih komponenti.

U osnovi postoji nekoliko načina smanjenja prijelaznog prenapona U_{okl} , i to smanjenjem vrijednosti Z_3 :

- povećanjem presjeka oklopa,
- smanjenjem dužina vodiča (induktiviteta) između oklopa i zemlje
- smanjenjem impedancije uzemljivačkih vodiča ugradnjom paralelnih kapaciteta uzemljivačkim vodovima
- ugradnjom ZnO odvodnika prenapona vezanih na oklop.

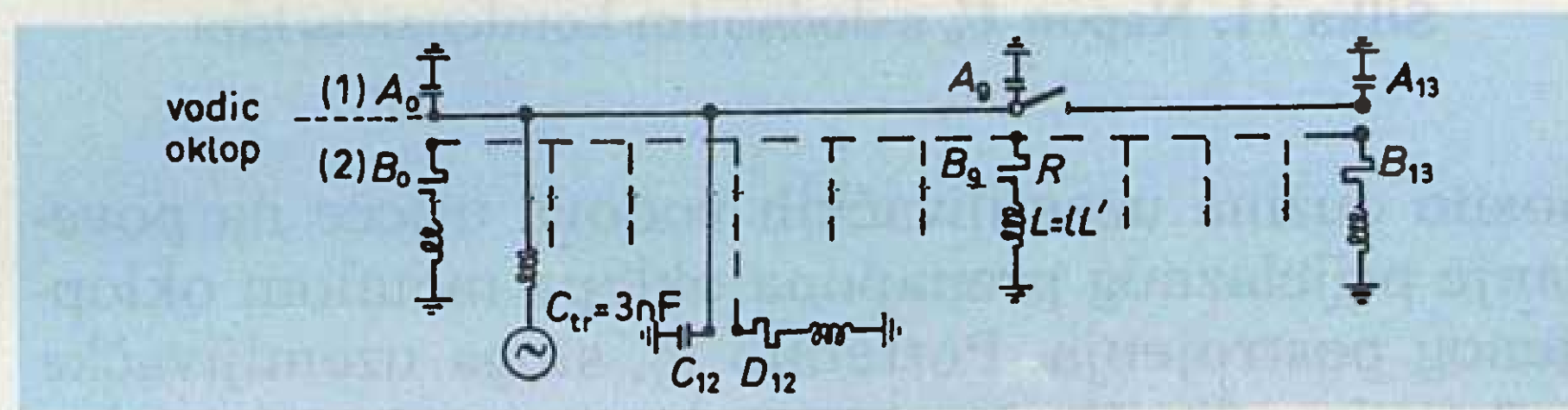
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na osnovi usvojenog računarskog modela izvršeno je istraživanje efekata pojedinih mjera na sniženje prijelaznog prenapona oklopa metalom oklopljenog postrojenja nastalog pri sklapanju rastavljačem:

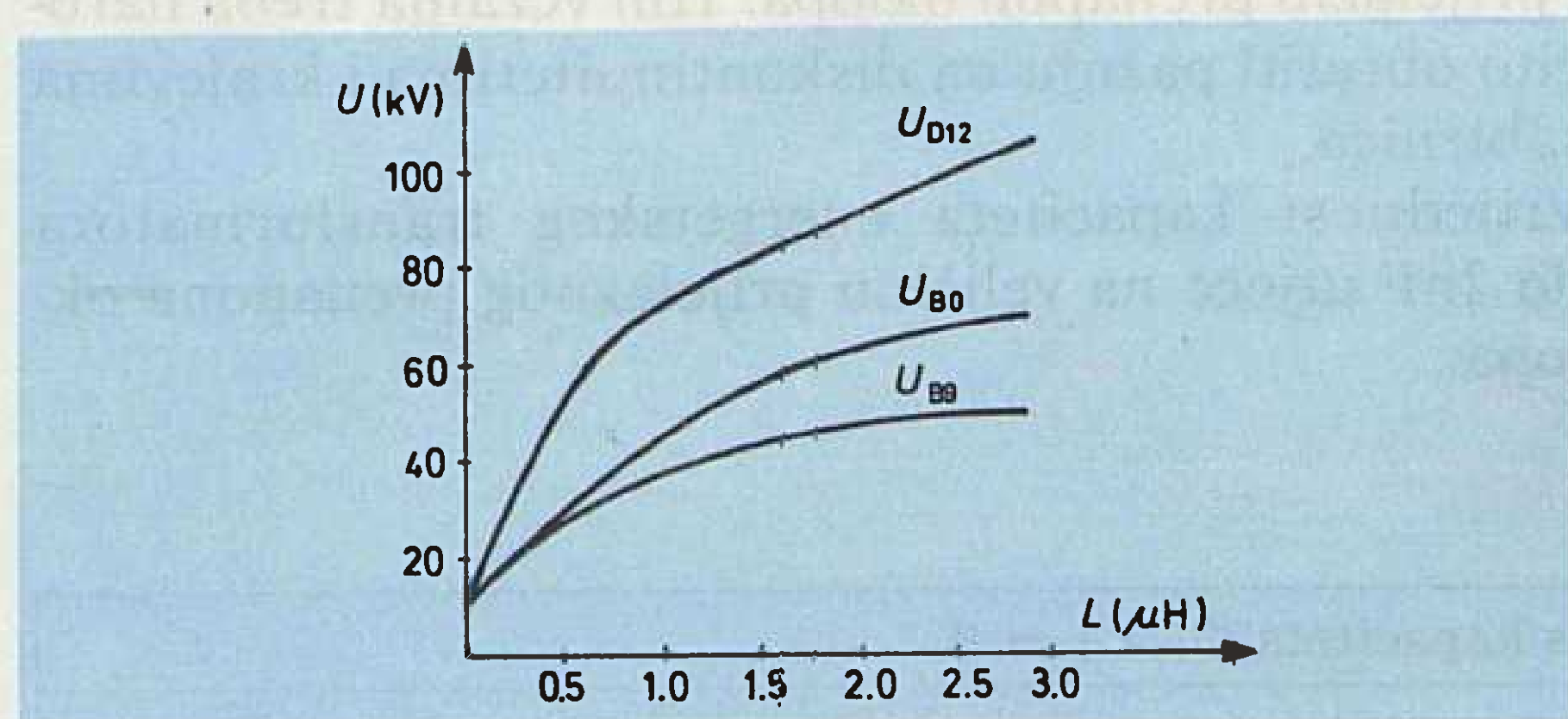
- promjenom induktiviteta uzemljivačkih vodova
- promjenom kapaciteta energetskog transformatora
- ugradnjom dodatnih kondenzatora paralelno uzemljivačkim vodovima
- ugradnjom ZnO odvodnika prenapona na oklop postrojenja.

Proračun je obavljen za operacije zatvaranja rastavljača u trenucima maksimuma napona izvora.

Model postrojenja na kojem je ispitivan utjecaj induktiviteta uzemljivačkih vodova dan je na slici 4 [9]. Vodič je označen sa 1, a oklop sa 2. Uzemljivački vodovi vezani su na oklop na razmacima 4 m. Induktivitet uzemljivačkih vodova mijenjan je promjenom dužine l . Otpor voda R je konstantan i iznosi $R = 0.01 \Omega$. Promjena vrijednosti napona oklopa u karakterističnim točkama postrojenja u ovisnosti o induktivitetu dana je na slici 5.



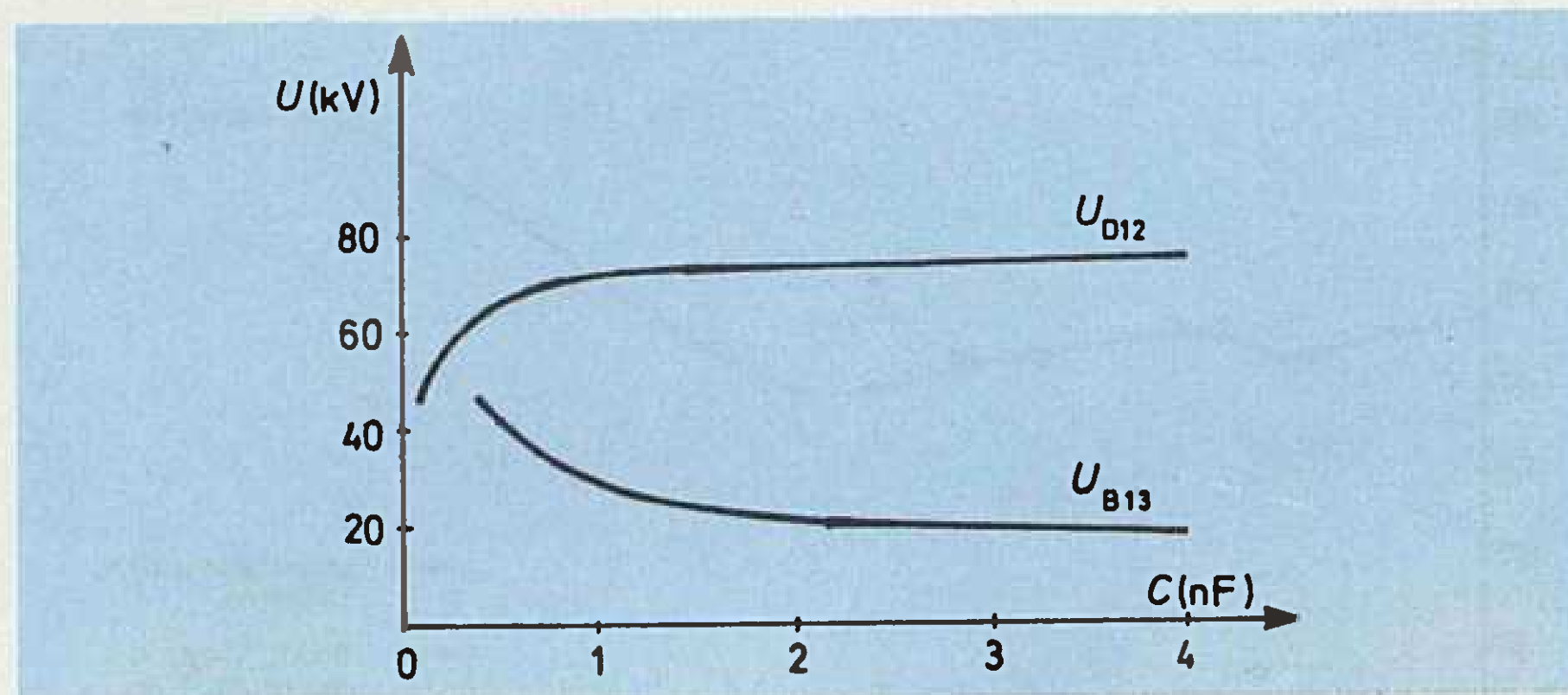
Slika 4. Model postrojenja



Slika 5. Promjena napona u ovisnosti o induktivitetu

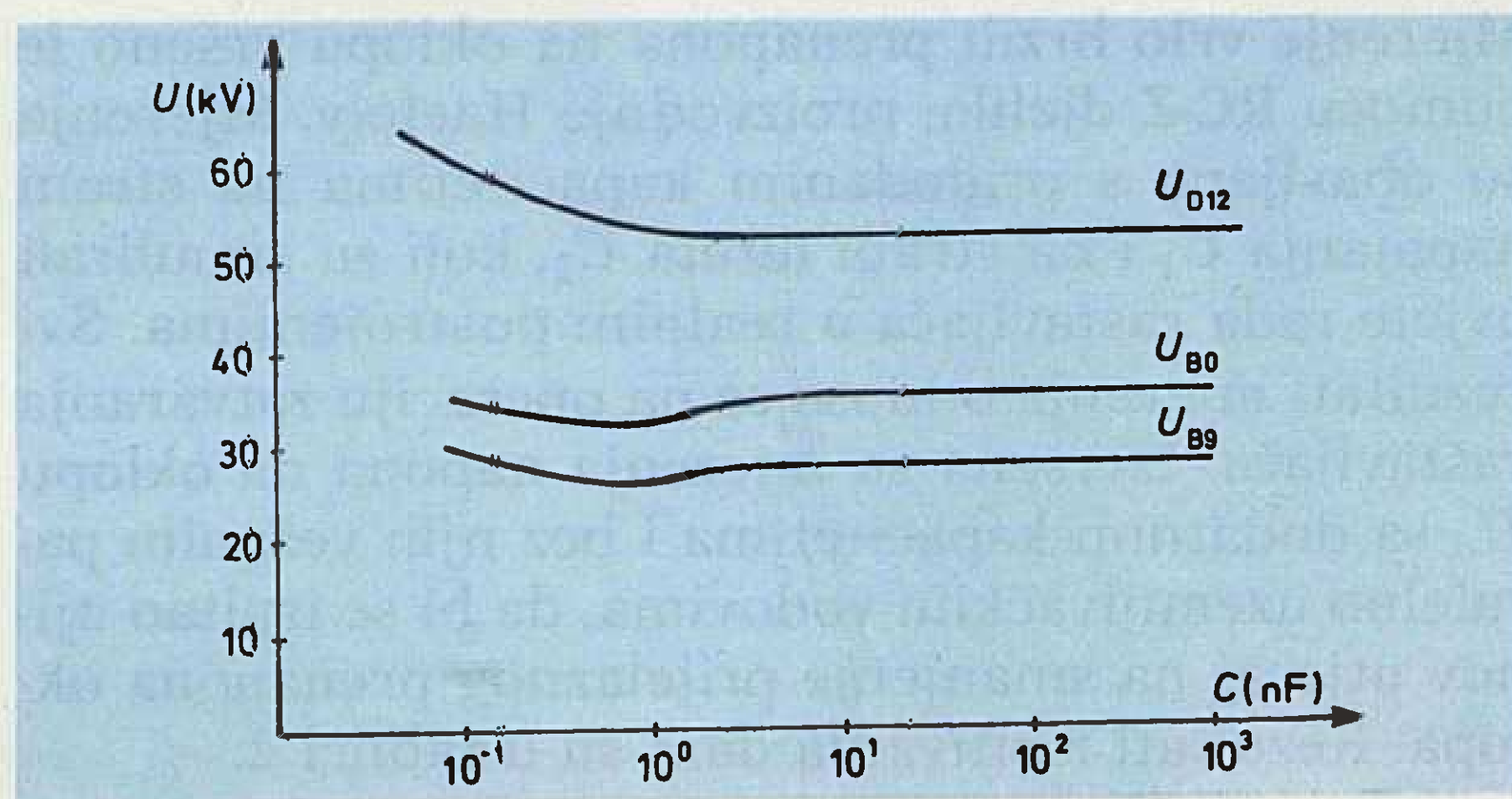
Veća vrijednost induktiviteta, odnosno dužina uzemljivačkih vodova utječe tako da povećava prijelazni prenapon oklopa metalom oklopljenog postrojenja. Uzemljivački vodovi se stoga trebaju izvoditi što je moguće kraći i većeg presjeka, jer je tada induktivitet a time i prijelazni prenapon oklopa manji. Ovim vodovima treba posebnu pozornost obratiti na diskontinuitetima i krajevima sabirnica.

Utjecaj promjene kapaciteta energetskog transformatora na nivo porasta prijelaznog prenapona oklopa ispitivan je na istoj shemi kao na slici 4, samo što su vrijednosti aktivnog otpora i induktiviteta uzemljivačkih vodova ostale konstantne, $R = 0.01 \Omega$ i $L = 1 \text{ mH}$. Kapacitet energetskog transformatora mijenjan je od 0.5 do 3nF. Promjena vrijednosti napona u karakterističnim točkama postrojenja u ovisnosti o kapacitetu transformatora dana je na slici 6.



Slika 6. Promjena napona u ovisnosti o kapacitetu

Promjena kapaciteta energetskih transformatora utječe dvojako na veličinu prijelaznog prenapona oklopa. Povećanjem vrijednosti kapaciteta do 2nF smanjuje se veličina prijelaznog prenapona na kraju postrojenja, ali ujedno podiže i vrijednost prijelaznog prenapona oklopa na kraju otcjepa na kojem je transformator priključen. Povećanje vrijednosti kapaciteta energetskog transformatora iznad 2nF ne utječe dalje na promjenu vrijednosti prijelaznog prenapona oklopa. Utjecaj ugradnje dodatnih kondenzatora paralelno uzemljivačkim vodovima ispitivan je na istom modelu postrojenja sa slike. 4. Promjena vrijednosti napona oklopa u karakterističnim točkama postrojenja u ovisnosti o vrijednosti kapaciteta dodatnih kondenzatora dana je na slici 7.



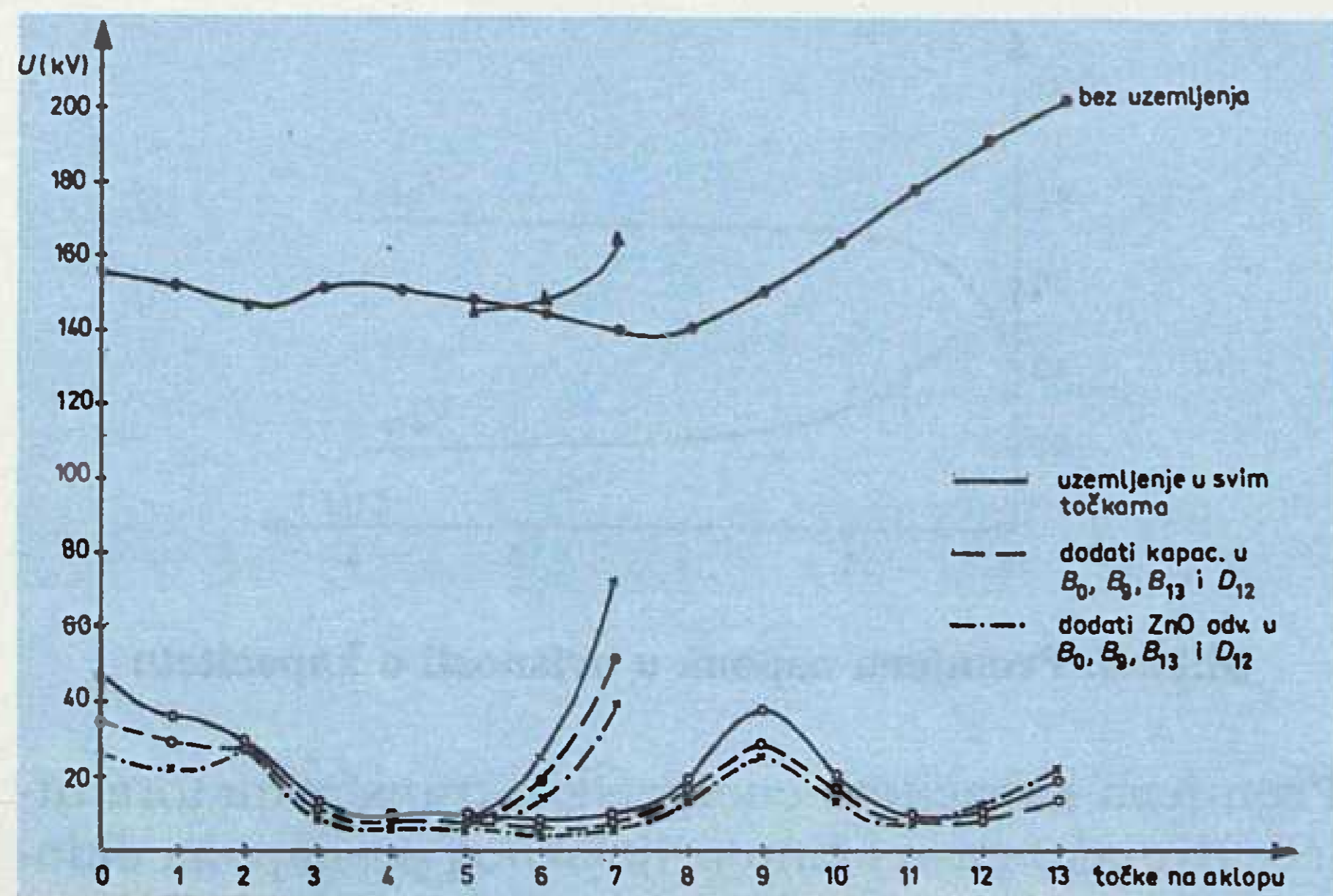
Slika 7. Promjena napona u ovisnosti o kapacitetu

Ugradnja dodatnih kapaciteta paralelno uzemljivačkim vodovima smanjuje vrijednost prijelaznog prenapona oklopa. Utjecaj ugradnje dodatnih kondenzatora je do vrijednosti 1nF. Dalje povećanje vrijednosti kapaciteta ne utječe na sniženje vrijednosti prijelaznog prenapona oklopa.

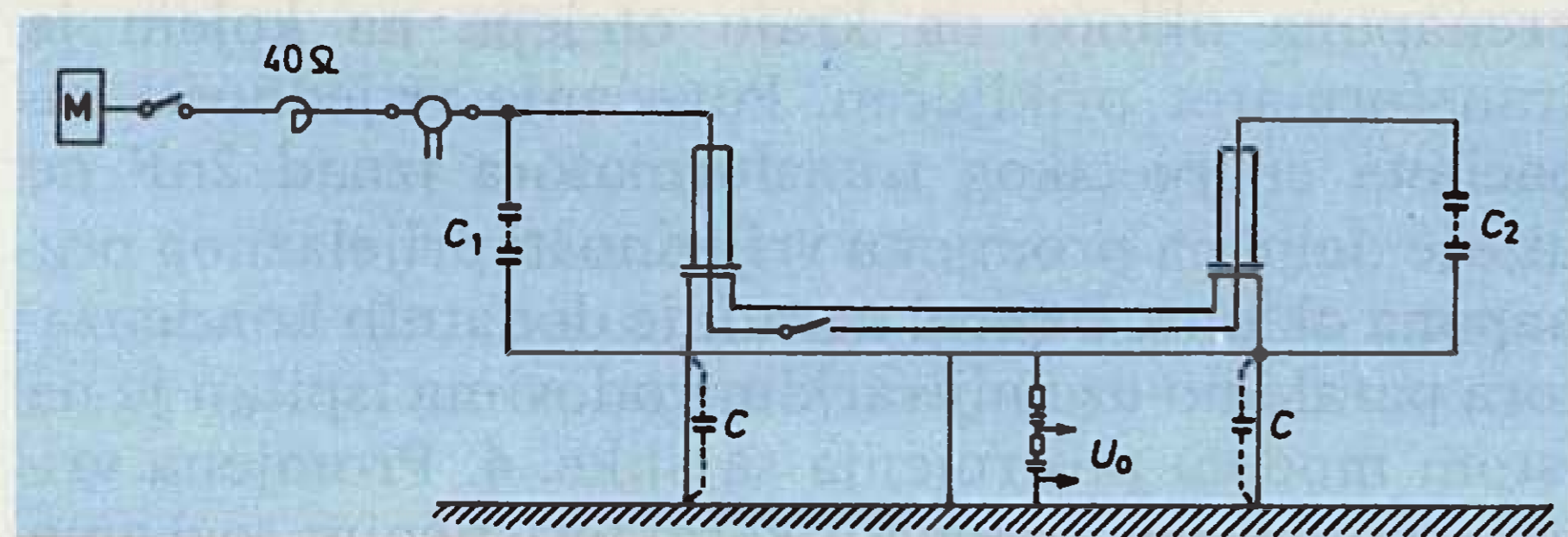
Utjecaj ugradnje ZnO odvodnika prenapona paralelno uzemljivačkim vodovima u karakterističnim točkama B₉, B₁₃ i D₁₂ ispitivan je na istom modelu postrojenja danom na slici 4. Odabrani su ZnO odvodnici prenapona tipa XAQ-12A₃, nazivnog napona 12kV. Ugradnja ZnO odvodnika prenapona na oklop utječe na smanjenje prijelaznog prenapona oklopa, kako zbog njihovih zaštitnih karakteristika, tako i dijelom zbog kapaciteta samog odvodnika.

Opći pregled razmotrenih utjecaja na smanjenje prijelaznog prenapona oklopa provedenih putem računarskih istraživanja dan je na slici 8.

Mjerenja prijelaznog prenapona na oklopu provedena su u laboratoriju velike snage na ispitnom sklopu nazivnog napona 245 kV, slika 9.



Slika 8. Pregled razmotrenih mjera



Slika 9. Ispitni krug

Mjerenje vrlo brzih prenapona na oklopu vršeno je pomoću RC-Z djelila, proizvodnje Haefely. Mjerenja su obavljena s pridodanim kapacitetima na strani napajanja C_1 i na strani tereta C_2 , koji su simulirali uvjete rada rastavljača u realnim postrojenjima. Svi rezultati mjerenja odnose se na operaciju zatvaranja rastavljača. Izvršena su mjerenja napona na oklopu U_0 sa dodatnim kapacitetima i bez njih vezanim paralelno uzemljivačkim vodovima, da bi se ispitaio njihov utjecaj na smanjenje prijelaznog prenapona oklopa. Rezultati ispitivanja dani su u tablici 2.

Tablica 2.

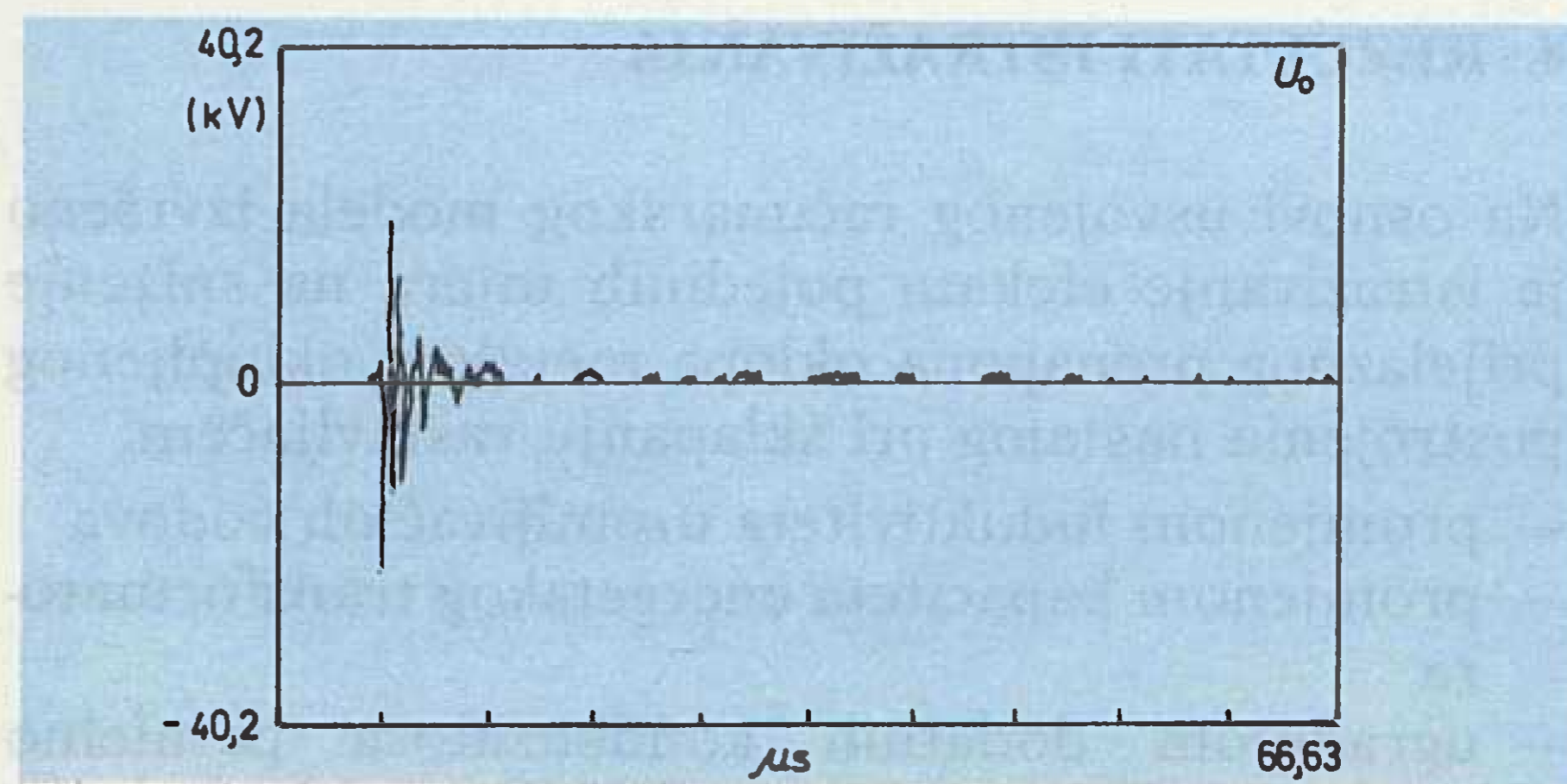
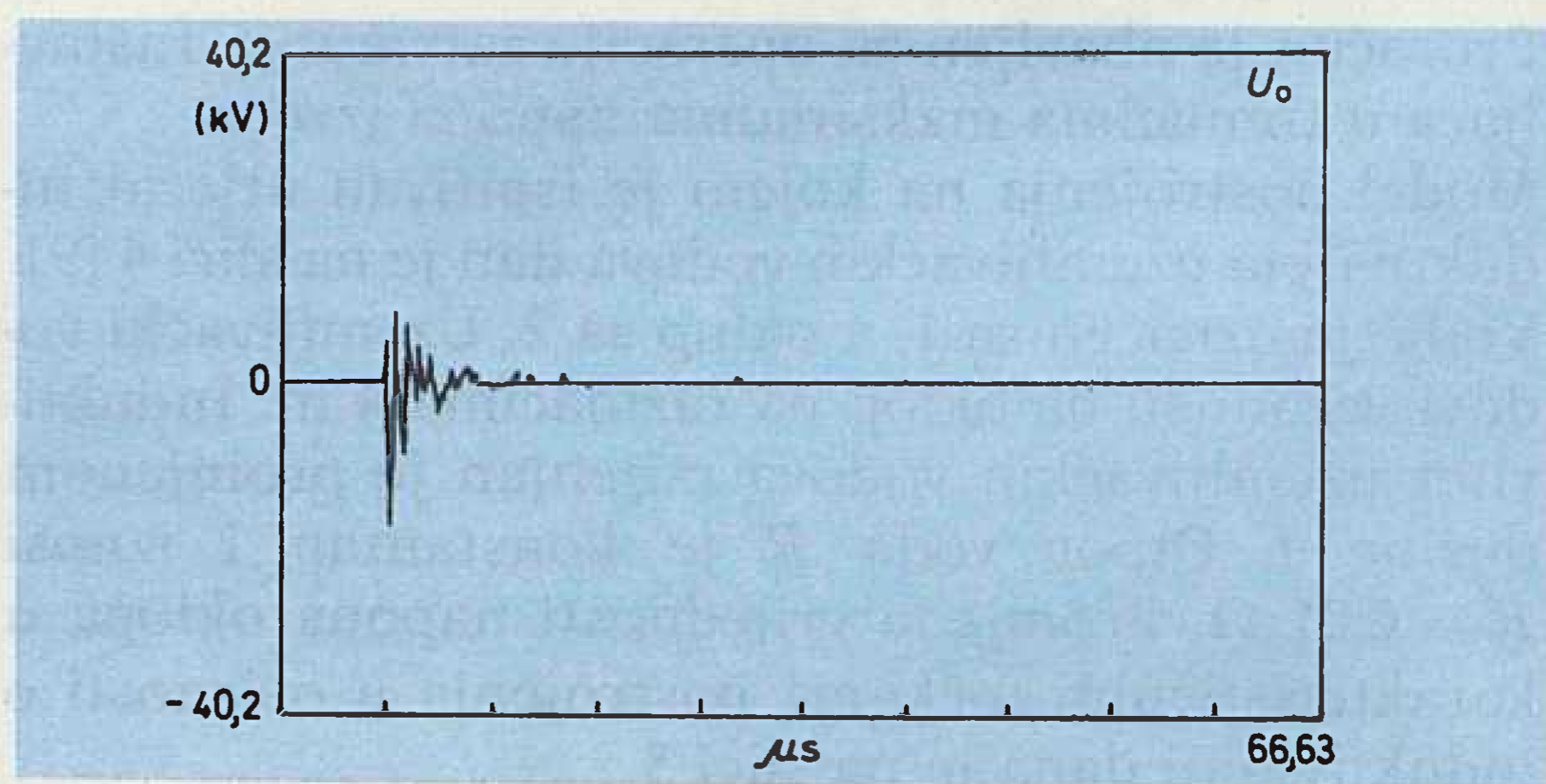
Napon	Odnos kapaciteta $C_1/C_2 = 9$					
	bez ugrađenih dod. kapacit.			s ugrađenim dod. kapacit.		
	mjer. br. 1	mjer. br. 13	mjer. br. 22	mjer. br. 29	mjer. br. 37	mjer. br. 45
Napon na oklopu (kV)	22.8	25.15	22	18	18.86	19.6

Iz tablice 2. vidljivo je da je ugradnjom dodatnih kondenzatora $C = 2\text{nF}$ paralelno uzemljivačkim vodovima smanjena vrijednost napona na oklopu reda 20 %.

Oblik izmjenjenog napona U_0 za slučaj bez dodatnih kondenzatora i s dodatnim kondenzatorima dan je na slikama 10. i 11.

5. ZAKLJUČAK

Izneseni su modeli elemenata metalom oklopljenog postrojenja za digitalno simuliranje prelaznih prenapona na oklopu. Pokazano je da veći induktivitet, od-

Slika 10. Napon U_0 bez dodatnih kondenzatoraSlika 11. Napon U_0 s dodatnim kondenzatorima

nosno dužina uzemljivačkih vodova utječe na povećanje prijelaznog prenapona oklopa metalom oklopljenog postrojenja. Potrebno je, stoga uzemljivačke vodove izvoditi što je moguće kraće i većeg presjeka, jer je tada induktivitet vodova manji, a time je manji i prijelazni prenapon oklopa. Tim vezama treba naročito obratiti pažnju na diskontinuitetima i krajevima sabirnica.

Vrijednost kapaciteta energetskog transformatora do 2nF utječe na veličinu prijelaznog prenapona oklopa.

Ugradnja dodatnih kondenzatora paralelno uzemljivačkim vodovima utječe na smanjenje prijelaznog prenapona oklopa. Optimalna vrijednost dodatnih kapaciteta za svaki konkretan primjer treba se odrediti na osnovi provedenih proračuna.

Ugradnjom ZnO odvodnika prenapona na oklop utječe se na smanjenje prijelaznog prenapona oklopa kako zbog njihovih zaštitnih karakteristika, tako dijelom i zbog kapaciteta samog odvodnika.

LITERATURA

- [1] T. YOSHIKUMI, S. MATSUDA, T. NITA, »Fast transient overvoltages in GIS caused by the operation of isolators«, Proceedings of third Int. Sym. on Gaseous Diel., Knoxville, USA, 1982.
- [2] S. A. BOGGS, A. PLESSL, N. FUJIMOTO, »Disconnect switch induced transients and trapped charge in gas-insulated substations«, IEEE Trans. on Pow. App. and Syst., vol. PAS-101, No. 10, 1982.
- [3] N. FUJIMOTO, H. A. STUCKLESS, S. A. BOGGS, »Calculation of disconnect induced overvoltages in gas-insulated substations«, CIGRE Paper 13 – 15, Paris, 1984.
- [4] A. EDLINGER, G. MAUTHE, F. PINEKAMP, D. SCHLICHT, W. SCHMIDT, »Disconnect switching of charging current in metal-enclosed SF₆-gas insulated switchgear at EHV«, CIGRE Paper 13 – 14, Paris, 1984.
- [5] J. LALOT, A. SABOT, J. KIEFFER, S. W. ROWE, »Preventing earth faulting during switching of disconnect in GIS including voltage transformer«, IEEE Trans. on Pow. Del., vol. PWRD-1, Jan. 1986.
- [6] R. WITZMAN, »Fast transient in gas insulated substations (GIS)-modeling of different GIS component«, V. Int. Symp. on HV Eng., Braunschweig, 23 – 28. Aug. 1987.
- [7] ATP Rule Book, LEC, Leuven, 1989
- [8] Z. HAZNADAR, S. ČARŠIMAMOVIĆ, R. MAHMUTČEHAJIĆ, »More accurate modeling of GIS components in digital simulations of very fast electromagnetic transients«, XVII. Pow. Ind. Comp. Appl. Confer. PICA '91, Baltimore, 7 – 10, May, 1991.
- [9] S. ČARŠIMAMOVIĆ, Z. BAJRAMOVIĆ »Istraživanje porasta prelaznog potencijala oklopa MOP-a nastalog pri manipulaciji rastavljačem«, XIX. savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Bled, 1989.

NUMERICAL SIMULATION OF THE TRANSIENT OVERVOLTAGE OF THE METAL ENCLOSURES OF SF₆ GAS-ISOLATED SWITCHGEARS

A Study of the Influence on Overvoltage Reduction

This paper presents the results of an experimental and numerical simulation study of the influence on transient overvoltage reduction of the metal enclosures of SF₆ gas isolated switchgears for disconnecting switching operations.

BERECHNUNG DER UEBERGANGSVORSPANNUNG DER METALLUMHÜLLUNG DER MIT GAS SF₆ ISOLIERTEN ANLAGEN

ERFORSCHUNG DES EINFLUSSES AUF DIE SENKUNG DER VORSPANNUNG

Es werden Ergebnisse über die experimentelle Computer-forschungen des Einflusses auf die Senkung der Uebergangsvorspannung der Metallumhüllung mit dem Gas SF₆ isolierten Anlage, die bei der Zusammenlegung entsteht, ermittelt.

Naslov pisca:

Dr. Salih Čaršimamović, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet, Osijek
54000 Osijek, Istarska 3
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1991-02-28.



PROIZVODNI PROGRAM

Energetski kabele za napone:

1 kV-s termoplastičnom izolacijom
10 kV-s izolacijom od:
— umreživog polietilena
— etilen-propilena

20 kV — s izolacijom od:
— umreživog polietilena
— termoplastičnog polietilena
35 kV — s izolacijom od:
— umreživog polietilena
— etilen-propilena

Termoplastikom izolirani instalacijski vodovi i kabele.

Gumom izolirani instalacijski vodovi i kabele.

Brodski kabele izolirani etilen-propilenom i plaštom od neoprena.

Kabele i konektori za aerodromske instalacije.

Samonosivi kabelelki snopovi Elkalex-1.

Telekomunikacijski kabele s izolacijom i plaštom od termoplastičnih materijala.

Telefonske montažne žice.

Optički kabele.

Specijalni vodovi i kabele.

Rudarski kabele.

Kabelelki setovi sa konektorima.

Lakirana žica.

Aluminijska, alu-čelična i užad iz aluminijske legure.

Čelična užad za dizalice, brodove i druge namjene.

Umreživi polietilen



PRIMJENA PERSONALNIH RAČUNALA KAO INTELIGENTNIH TERMINALA U OKRUŽENJU SISTEMA ZA NADZOR I UPRAVLJANJE PROCESIMA PROZA-11D/R

Predrag Kovačević, Osijek

UDK 681.13:621.31

STRUČNI RAD

Permanently poboljšavanje performansi personalnih kompjutera (PC) i stalno nastojanje za usavršavanjem u praksi provjerenog sistema za nadzor i upravljanje procesima PROZA-11D/R rezultiralo je primjenom PC-a kao inteligentnih terminala. Time je unapređena komunikacija čovjek — sistem uz djelomično rasterećenje resursa HOST kompjutera.

Ključne riječi: PROZA-11D/R — SCADA, infograf-semigraf, PC-inteligentni terminal.

1. UVOD

Suvremeni sistemi za nadzor i upravljanje procesima (Supervisory, Control And Data Acquisition — SCADA sistemi) odlikuju se bogatom i fleksibilnom komunikacijom čovjek — sistem (Man Machine Interface — MMI) koja omogućava više različitih načina prikaza nadziranih procesa i mogućnosti za akciju operatora. Uobičajeno je da osim alfanumeričke i funkcionalne tastature za lakši odabir akcije operatora postoje pokazni uređaji (pointing devices), kao što su miš (mouse), kugla za navođenje (trackball), upravljačka palica (joystick), svjetlosno pero (lightpen), dodirni zaslon (touch screen), unosna tablica (tablet) i dr. Ti uređaji su praćeni odgovarajućom programskom podrškom, menijima i ikonama, te jakim sistemom pomoći operatoru ovisnim o okolišu (context — sensitive help). Za prikaz procesa karakteristična je primjena pune grafike i sistema prozora s mogućnošću otvaranja, zatvaranja, selektiranja, pomicanja (panning) i zumiranja, te grafički prikazi mjerenja preko krivulja, stupčastih prikaza (bar chart) i prikaza isječcima (pie chart).

Ovakve mogućnosti zahtijevaju značajno procesorsko vrijeme i specifičnu hardversku arhitekturu, tako da ih je gotovo nemoguće realizirati u klasičnim mainframe konfiguracijama sa standardnim grafičkim terminalima. Zbog toga je uobičajeno za te namjene koristiti grafičke stanice, standardne ili specijalne konstrukcije, koje su zapravo potpuno autonomna računala velike procesorske snage i značajnog kapaciteta periferija. Takva računala vežu se u računarsku mrežu s HOST i FEP-računalima koji obavljaju ostale SCADA-funkcije.

Ovakvi SCADA-sistemi pružaju u svakom pogledu veći komfor korisniku, kao i, u pravilu, veći opseg prikupljenih i obrađivanih podataka. Međutim, njihova cijena, kao rezultat kompliciranije hardverske i soft-

verske strukture sistema, još uvijek nije primjerena korisnicima u visokonaponskim i niskonaponskim elektroenergetskim mrežama čije potrebe ne prelaze 5 000 elemenata u bazi podataka.

Za korisnike koji već posjeduju semigrafički sistem, koji ih zadovoljava kapacitetom, ali ne i mogućnostima MMI-a, zamjena za sistem s punom grafikom (full graphic) iziskuje znatne troškove. Naime, potrebno je gotovo sasvim izmijeniti postojeći računarski sistem, generirati novu bazu podataka i ekranske prikaze, ponovno obaviti ispitivanje funkcionalnosti svih elemenata sistema i ponovo osposobiti operatore koji su navikli na stari sistem. Osim navedenog, za vrijeme tih izmjena daljinski vođeni objekti ostaju bez mogućnosti nadzora i upravljanja. Mogući kompromis je da se postojeći SCADA-sistemi, koji su se u praksi dokazali i rade sa vrlo visokom pouzdanošću, osuvremene kompatibilnim hardverom i softverom nove generacije čija primjena ne zahtijeva veće zahvate u strukturu postojećih sistema. Tu svakako odlučujuću ulogu ima osuvremenjivanje komunikacije čovjek — sistem personalnim računalima u ulozi inteligentnih terminala.

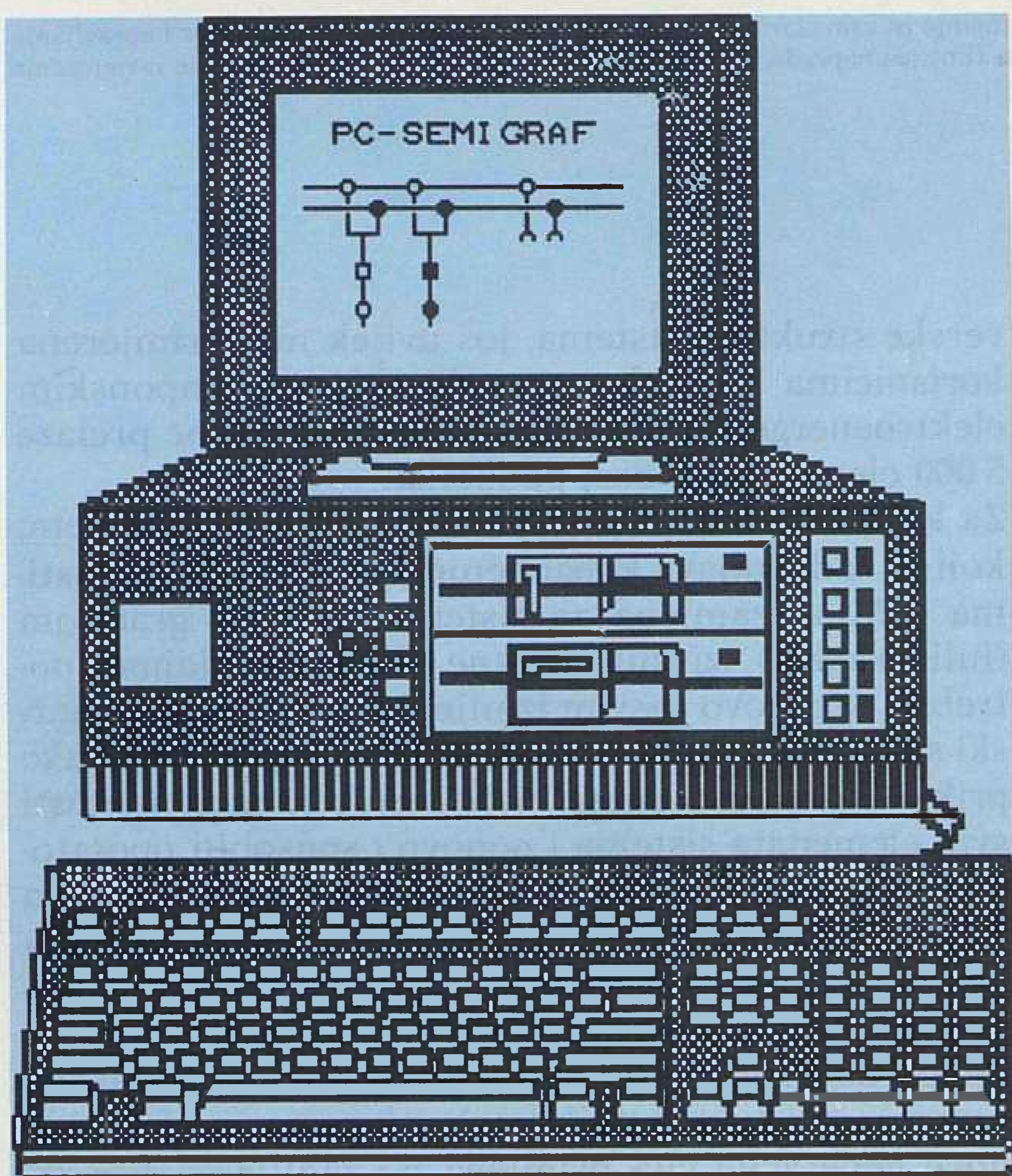
2. PC KAO INTELIGENTNI TERMINAL U SISTEMIMA ZA NADZOR I UPRAVLJANJE PROCESIMA PROZA-11D/R

SCADA-sistem PROZA-11D/R imao je u svojoj prvotnoj izvedbi semigrafičke terminale SRA koji su u vrijeme projektiranja prvih sistema bili tehnološki vrh. U konfiguracijama srednje generacije bilo je nužno te terminale zamijeniti INFOGRAF 3-2-1 terminalima domaće proizvodnje. Razvojem osobnih računala i padom njihove cijene postalo je moguće realizirati takve terminale standardim PC-ima sa VGA grafičkom karticom i odgovarajućim emulatorskim pro-

gramom. Takva konfiguracija pod nazivom PC-SEMIGRAF i programski paket za emulaciju isporučuju se u najnovijim generacijama SCADA-sistema PROZA-11D/R. Zamjena postojećih SEMIGRAF i INFOGRAF-terminala u sistemima starije izvedbe jednostavna je i ne zahtijeva zahvate u strukturu sistema kao kod zamjene SEMIGRAF-terminala INFOGRAF-om.

2.1. Zahtjevi na hardver i sistemski softver

Da bi PC-SEMIGRAF normalno radio, postavljaju se sljedeći minimalni zahtjevi na hardver: PC-AT s VGA grafičkom karticom i odgovarajućim kolor-monitorom te jednim serijskim portom za priključak na HOST i jednim paralelnim za priključak štampača



Slika 1.

koji mora biti IBM-kompatibilan. Na računalu treba biti instaliran PS/2 kompatibilni BIOS i operativni sistem MS — DOS 3.3., a u memoriji ne smije biti rezidentan nijedan keyboard driver (tzv. yuskbd ili keybyu).

2.2. Opis programskog paketa za emulaciju semigrafičkih terminala

Programski paket za emulaciju sastoji se od tri programa. Prvi je generator znakova za VGA grafičku karticu. Drugi program instalira memorijski rezidentne rutine za prilagođenje sistemskog softvera, a treći, glavni program, emulira semigrafičke terminale koristeći mapu znakova generiranu prvim programom o okolišu koji osigurava drugi program.

2.2.1. Generator znakova za EGA/VGA karticu

Generator znakova omogućuje jednostavno kreiranje i izmjenu semigrafičkih i alfanumeričkih znakova. Nije potreban za svakodnevni rad programa i namijenjen je projektantima sistema koji žele mijenjati izgled postojećih znakova ili dodavati nove. Ulaz programa je datoteka formata EGA. CPI koja se standardno isporučuje uz operativni sistem MS-DOS 3.3. i koja sadrži pet stranica od 256 znakova. Izlaz iz programa je datoteka istog formata. Za potrebe emulacije koristi se 4 do 5 stranica, i to prva za prošireni ASCII set, druga za 48 linijski PROZA mod s elektroenergetskim setom, treća za 32 linijski PROZA mod i peta za prošireni YU set.

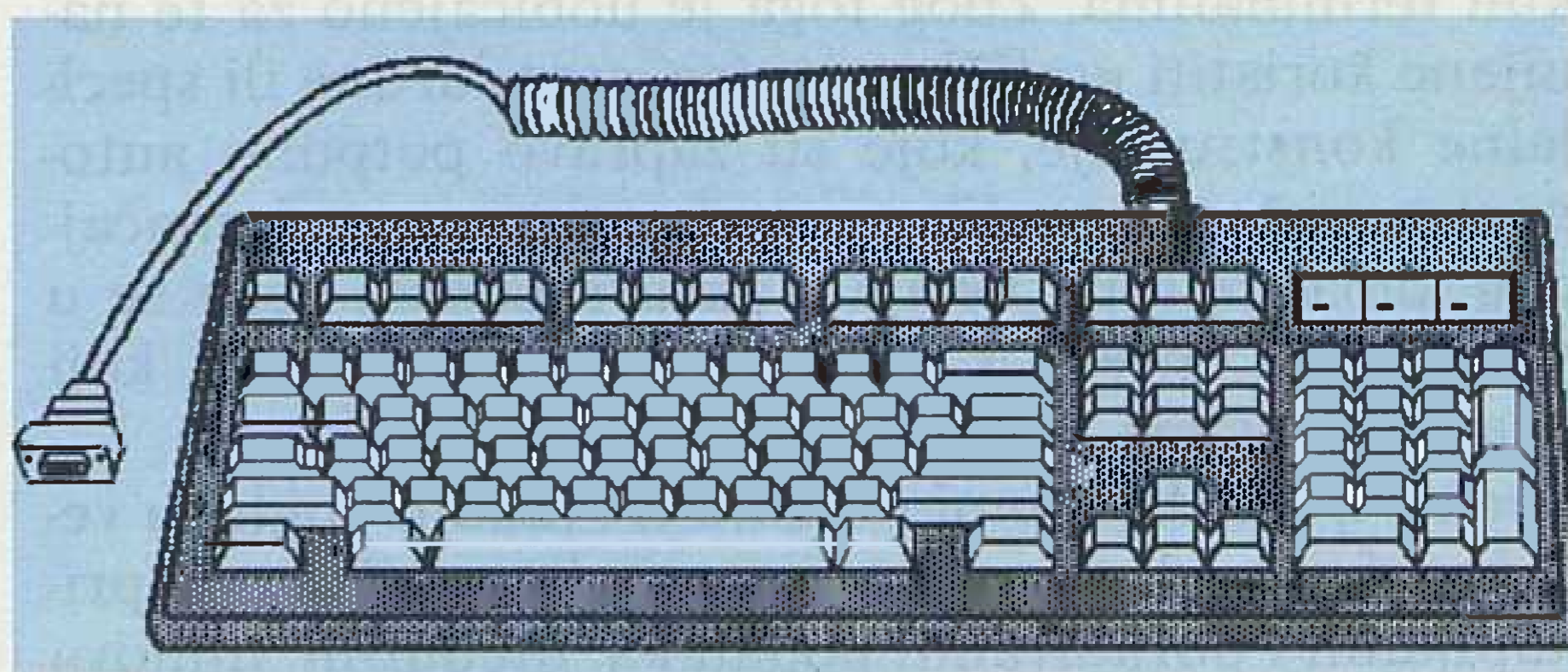
2.2.2. Memorijski rezidentni dio programskog paketa

Zbog zahtjeva da program što manje opterećuje HOST-računalo bilo je potrebno promijeniti sistemsku rutinu za rad sa serijskim portom i omogućiti da bude aktivirana prekidnim (interrupt) signalom sa kontrolera. Ta rutina nakon aktiviranja brzo sprema znak u FIFO rep velike duljine, odakle ga vidi glavni program. Druga rutina presijeca standardni keyboard driver i omogućava korištenje svih tipaka na tastaturi pa čak i specijalnih sistemskih tipaka, kao što je na pr. Scroll Lock, za funkcijske tipke PROZA paketa. Treća rutina onemogućava standardnu kopiju ekrana jer glavni program sadrži inteligentniju rutinu koja razlikuje set znakova na ekranu i omogućuje vjeran ispis procesne slike na matrični štampač.

2.2.3. Glavni program

Glavni program emulira sve funkcije semigrafičkih terminala tipa SEMIGRAF I INFOGRAF koje su potrebne za normalan rad programskog paketa PROZA-11D/R. Funkcionalna tastatura smještena je u cijelosti na standardnu tastaturu. Sve funkcije koje su realizirane zasebnim tipkama na PROZA funkcionalnoj tastaturi i na PC tastaturi imaju zasebne tipke. Za to su korištene sve tipke osim standardnih alfanumeričkih tipki čiji je raspored preuređen u skladu s jugoslavenskim standardom.

Osim emulacije, program ima i neke lokalne funkcije koje olakšavaju rad operatora i sistem programera. To su poziv i pregled datoteke postojećih funkcija (HELP) u bilo kojem trenutku. Zatim vjerna kopija sadržaja ekrana u punoj grafici na lokalni matrični štampač. Tu je i promjena značenja funkcionalnih ti-



Slika 2.

paka za ON-LINE ili OFF-LINE rad, kao i dohvat i editiranje prethodnih naredbi. Osim toga treba spomenuti i emulaciju hardcopy-terminala kojom se omogućuje ispis i na ekran i na lokalni štampač vezan na PC. To je osobito potrebno kada se PC koristi kao udaljeno radno mjesto pa ispisi na udaljene sistemske štampače nemaju smisla.

3. DODATNE FUNKCIJE INTELIGENTNOG TERMINALA

3.1. Plot-funkcija

Plot-funkcija omogućava crtanje elemenata ekranskih prikaza u rezoluciji 160 × 144 točaka. Ta je funkcija u potpunosti podržana u okviru programskog paketa PROZA-11D/R u ON-LINE radu u procesnim slikama i barchart prikazima i u OFF-LINE radu u editoru slika EDS. Korisna je za prikaz elemenata koji nisu definirani kroz postojeći set znakova, a zauzimaju veći prostor na slici. Ovaj programski modul znatno proširuje slobodu u generiranju ekranskih prikaza i time obogaćuje komunikaciju čovjek — sistem.

3.2. Kolor-kopija

Ovaj programski modul omogućava kopiju procesnih slika na kolor-štampač. Prednosti takve kopije u odnosu na crno-bijelu jest mogućnost razlikovanja trenutnih statusa elemenata procesne slike (npr. u programskom paketu PROZA-11D/R zelena boja označava vod pod naponom, tamnoplava beznaponsko stanje, svijetloplava nepoznato stanje itd.).

3.3. Podrška za miša i menije

Ovaj programski modul znatno unapređuje komunikaciju čovjek — sistem i skraćuje obuku operatora. Miš je uređaj koji omogućava jednostavnije i brže navođenje kursora, pa time skraćuje vrijeme potrebno za reakciju operatora. Sistem propadajućih menija upravljan mišem i preko tastature nudi operatoru jednostavan izbor komandi iz preglednog popisa (menija), te nije potrebno pogled skretati s ekrana na tastaturu da bi se pronašla odgovarajuća tipka ni pamtiti sve komande na sistemu.

4. ZAKLJUČAK

PC je računalo univerzalne namjene, velikog spektra periferija, izvrsno podržano programskom opremom i razvojnim alatima, a relativno niske cijene. To ga čini pogodnim da se tretira kao komponenta kojom je

lako realizirati i mnoge probleme koji su prije zahtijevali dugotrajan i skup razvoj specijalnog hardvera i softvera. Kao prednosti PC-SEMIGRAF inteligentnog terminala treba istaknuti jednostavnost supstitucije starih terminala i instalacije novih PC-SEMIGRAF konfiguracija, zatim veliku fleksibilnost u promjenama postojećih i dodavanju novih funkcija i semigrafičkih znakova bez ikakvih hardverskih zahvata. Postoji i mogućnost realizacije lokalnih funkcija što rasterećuje HOST-računalo, kao i mogućnost korištenja različitih periferija po veoma pristupačnim cijenama kao što su miš, tablet, modemske kartice, kartice za povezivanje u računarsku mrežu i dr.

LITERATURA

- [1] Rade končar Inženjering: PC-SEMIGRAF korisnički priručnik, 1990.
- [2] R. DUNCAN: »Advanced MS-DOS Programming«, Microsoft Press, 1989.
- [3] P. KOVAČEVIĆ: »Mogućnosti primjene personalnih računala u sistemima daljinskog vođenja s osvrtom na primjenu u CDU Elektroslavonije Osijek«, Zbornik radova 7. stručnog savjetovanja o upravljanju i informatici u Elektroprivredi Jugoslavije (CIGRE) Cavtat, 1988.
- [4] M. ISAILOVIĆ: »Računarski sustavi za daljinski nadzor i upravljanje (SCADA SUSTAVI)«, Zbornik DIT-a Zagreb, »Daljinski nadzor i upravljanje u složenim energetskim, komunalnim i drugim sistemima, 1990.

APPLICATION OF PERSONAL COMPUTERS AS INTELLIGENT TERMINALS IN THE PROZA-11D/R SYSTEM FOR PROCESS CONTROL AND MANAGEMENT

Permanent improvement in the performance of personal computers (PCs) as well as continual improvements in the practically tested PROZA-11D/R system for process control and supervision resulted in the use of the PC as an intelligent terminal, thereby improving user-system communication and partially relieving the HOST computer.

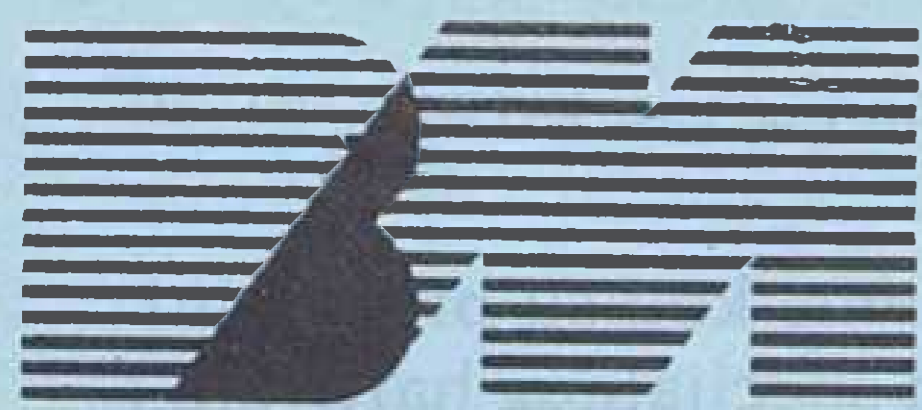
ANWENDUNG DER PC ALS INTELIGENTE TERMINALE IM RAHMEN DER UEBERWACHUNGSSYSTEME UND DER STEUERUNG DER PROZESSE PROZA — 11 D/R

Die permanente Verbesserung der Performancen der PC und das ständige Bemühen nach Verbesserung des in der Praxis bewährten Ueberwachungssystems und die Steuerung über die Prozesse Proza 11 D/R, hat als Ergebnis die Anwendung der PC als intelligente Terminale. Dadurch wurde die Kommunikation Mensch — System verbessert, wobei die Resourcen der Host Computer entlastet wurden.

Naslov pisca:

Predrag Kovačević, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet u
Osijeku,
54000 Osijek, Istarska 3,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1990-11-29.



BRODOMATERIJAL

brodomaterijal – poduzeće za unutarnju i vanjsku trgovinu i usluge, p. o.

veletrgovina

rijeka

51000 rijeka, j. kraša 12 • p.p. 396 • telefoni: © 211-211 • telegram: brodma rijeka
telex: 24205 brodma yu • telefax 32882 • žiro račun: 33800-601-11971

»Brodomaterijal« je u okviru svog širokog polja djelatnosti stekao ugled obavljajući i mnoge poslove za Elektroprivredu.

Postao je priznata firma na području građenja trafostanica 110/20 kV i 110/35 kV po sistemu inženjeringa i isporukom opreme za DV 110 kV i DV 400 KV.

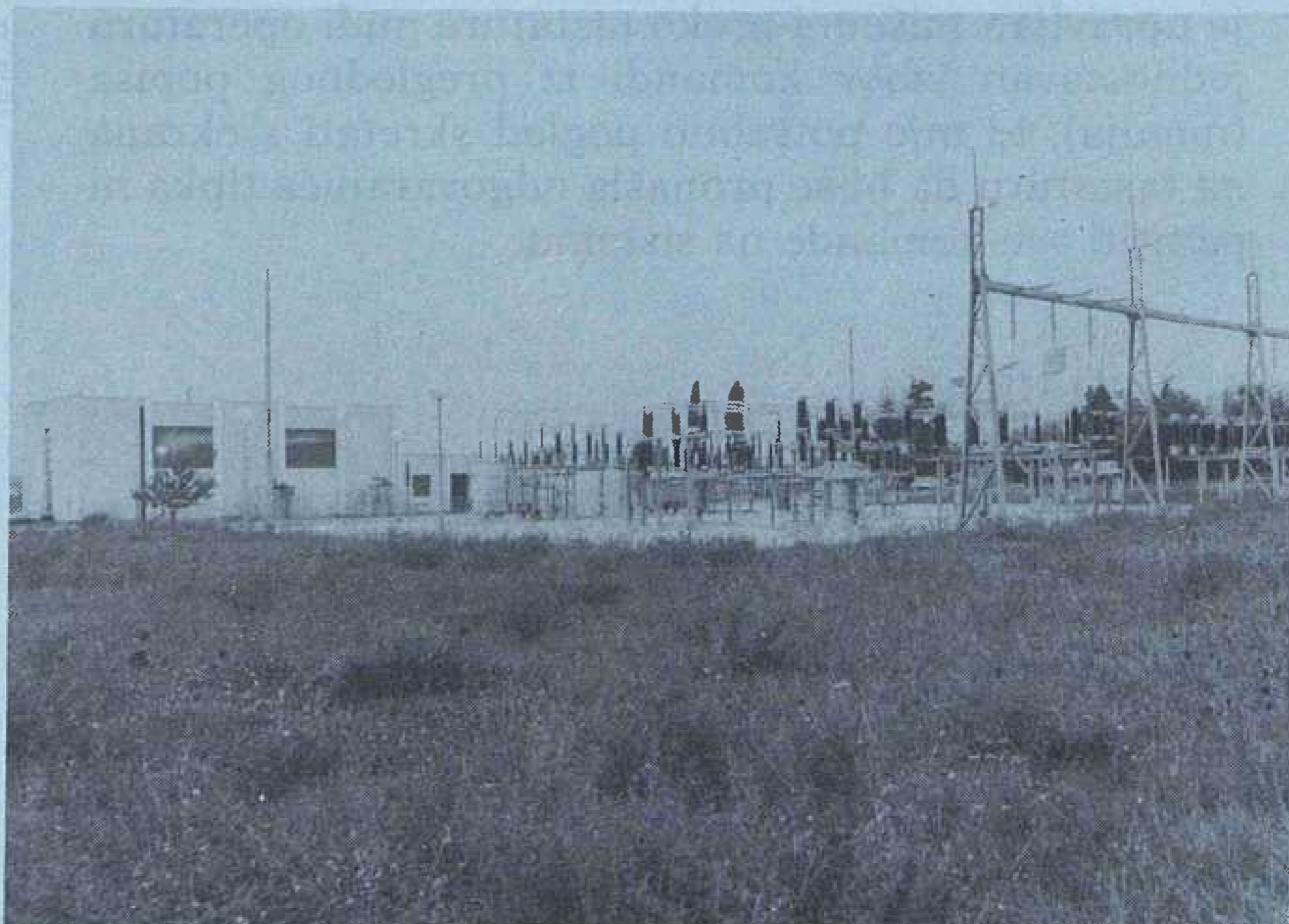
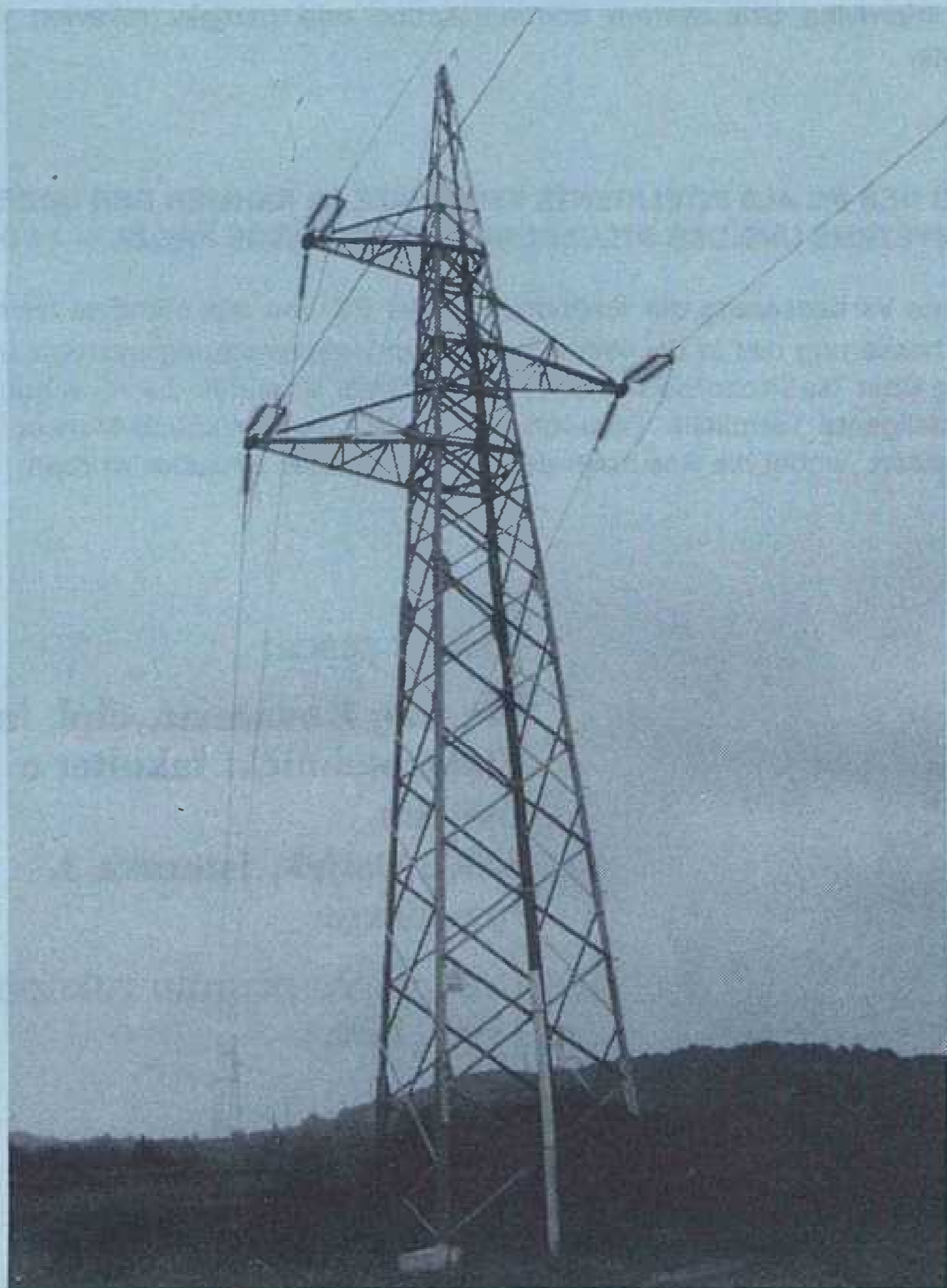
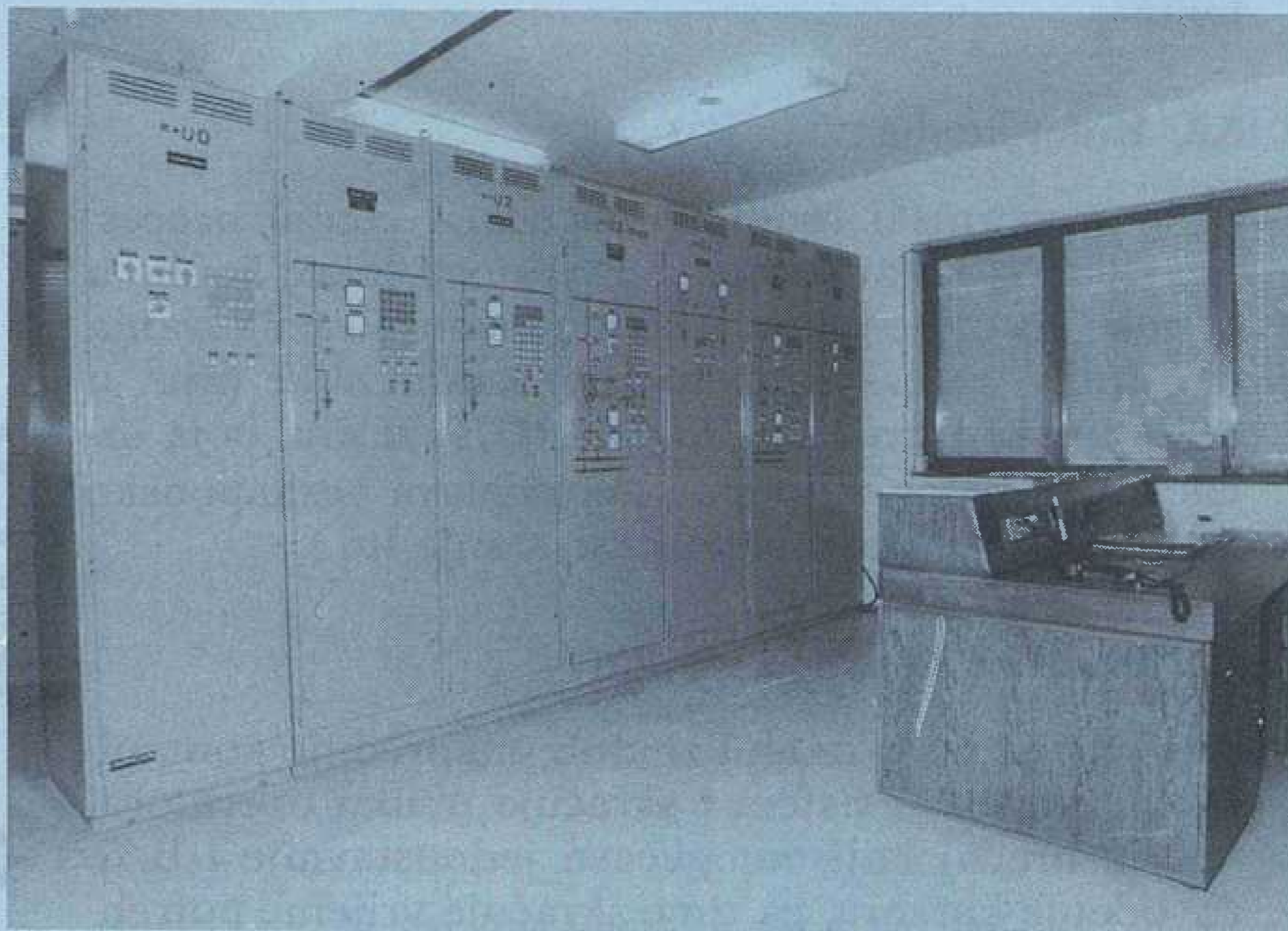
Na regiji Hrvatskog primorja i Istre obavio je sljedeće poslove za Hrvatsku elektroprivredu:

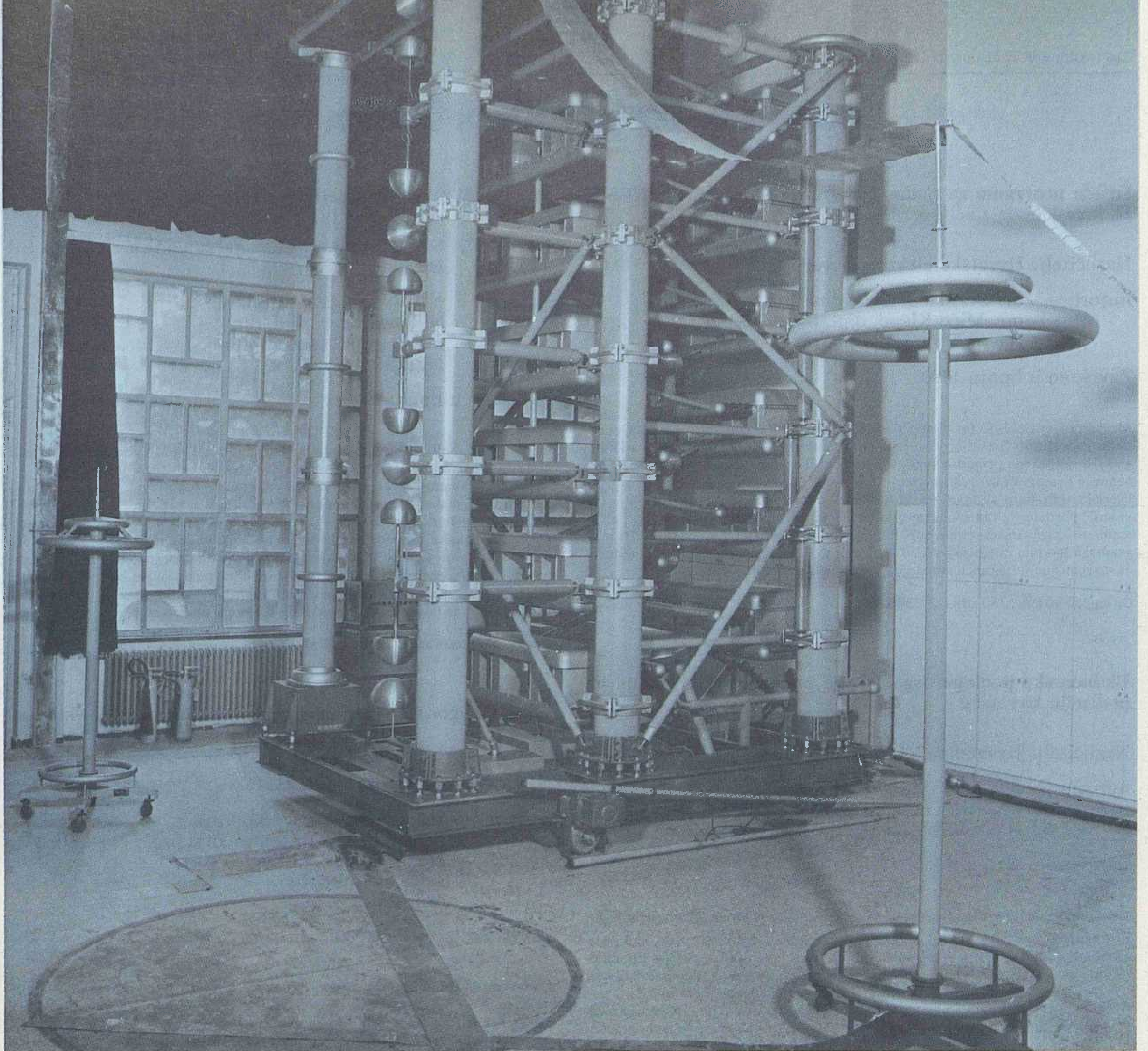
- uvoz podmorskih kabela za Krk – Rab 110 kV,
- isporuka kompletne opreme za TS 110 kV Rovinj – Lošinj – Šijana,
- DV 110 kV Rovinj – Vodnjan – Pula
- isporuka opreme za DV 400 kV TS Melina – TS Tumbri
- isporuka opreme i izgradnja objekta po sistemu ključ u ruke za TS Matulji 110/20 kV.

Za sve informacije izvolite se obratiti na poslovnicu Elektromaterijal 146, na telefone:

051/211-211 kućni: 206, 207 i 211

051/213-541, (telefax br. 32-882 ili 213-541, telex br. 24205).





RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1990. 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 tridesetosam godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institut je postao nosilac obrade važnih problema hrvatske i jugoslavenske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilanciranja energetskih sistema uspoređivanjem vrijednosti elektrana, stalni rad na studiji perspektivnog razvoja jugoslavenske mreže visokog i najvišeg napona, te rad na analizi potrošnje i drugim problemima razvoja razdjelnih mreža.

Osim rada na užoj problematici razvoja elektroenergetskog sistema, razvio se rad na tehnološkim elementima termoenergetike, te u tehnici visokog napona. U pojedinim specijalnostima ovih područja Institut je vodeća ustanova u zemlji. Posljednjih godina ubrzano se razvija i studij nuklearne energetike.

Suradnici Instituta su također i priznati stručnjaci izvan Instituta, među kojima je i nekoliko istaknutih sveučilišnih profesora.

Znanstveno istraživački rad se obavlja, prema unutar-njoj organizaciji, u nekoliko posebnih grupa, od kojih svaka ima svoj zaokruženi djelokrug rada:

Studijska radna jedinica za elektroenergetske sisteme i ekonomsku problematiku

Studijska radna jedinica za razdjelne, visokonaponske, n. n. mreže i za projektiranje

Studijska radna jedinica za termoenergetske sisteme
Zavod za visoki napon i prijenosne mreže

Studijska radna jedinica za hidrotehničke sisteme.

U daljnjem tekstu prikazani su važniji radovi iz djelovanja ovih grupa u 1990. godini.

STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Izrada programa za tjedno planiranje eksploatacije EES-a, II. faza

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: dr. Branka Jelavić, dipl. inž.
mr. Mićo Klepo, dipl. inž.
Davor Tomašić, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1990.

Metodološko rješenje problema tjednog planiranja eksploatacije EES-a obrađeno je u studiji Srednjoročno (tjedno) planiranje eksploatacije EES-a (1989. god.), a realizacija pripadne programske podrške zamišljena je u dvije faze, pri čemu je ova prva faza realizacije.

U ovoj studiji dane su upute za tri funkcije odnosno programska modula: predviđanje potrošnje električne energije, moguću proizvodnju protočnih hidroelektrana, te aproksimaciju dnevnog dijagrama opterećenja s n-stupaca. Ta tri programska modula mogu se izvoditi samostalno ili kao cjelina, a njihova međuveza omogućena je pomoću zajedničkih ulazno-izlaznih datoteka.

Opseg: 60 stranica, 30 slika, 2 tablice.

Ekonomske podloge organizacije poduzeća distribucije na području Hrvatske

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: mr. Luka Staničić, dipl. oec.
Lada Jurišić, dipl. oec.
Nada Jandrilović, dipl. oec.

Završeno u ožujku 1990.

Ekonomske podloge organizacije poduzeća distribucije Hrvatske obuhvatile su:

- analizu ostvarenog ekonomskog položaja ukupne elektroprivrede, kao i njenih djelatnosti u 1986, 1987. i 1988. godini radi utvrđivanja ostvarenih odnosa, u području jednostavne i proširene reprodukcije, između djelatnosti, koji su posljedica ostvarene razine prodajne cijene električne energije;
- na osnovi postojećih prijedloga moguće organizacije Javnog poduzeća elektroprivrede Hrvatske, proračunala se cijena električne energije javnog poduzeća i njegovih sastavnih dijelova. Na osnovi ovog proračuna cijene utvrdilo se da li dolazi do novih odnosa u raspodjeli mogućeg prihoda od prodaje električne energije krajnjim potrošačima u odnosu na proteklo razdoblje;
- u skladu s proračunom pod točkom b) bilo je moguće utvrditi ekonomski položaj distributivnih osnovnih i radnih organizacija udruženog rada.

Opseg: 86 stranica, 8 tablica.

Određivanje nadoknade za korištenje prostora HE i TE

Naručitelj: Ministarstvo za energetiku i industriju

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.
Lada Jurišić, dipl. oec.

Završeno u listopadu 1990.

Zakonom o elektroprivredi (N. N. br. 31/90) u članku 7 se propisuje plaćanje naknade društveno političkim zajednicama na čijem teritoriju se nalaze ili će se nalaziti objekti proizvodnje električne energije. Tu naknadu plaćaju svi objekti proizvodnje u Republici Hrvatskoj, bez obzira na vrstu primarne energije koju koriste za proizvodnju električne energije.

Naknada za korištenje prostora treba se sastojati od fiksnog i varijabilnog dijela. Fiksni dio predstavlja vrijednost zauzete zemljišne površine; osnovu za utvrđivanje varijabilnog dijela, koji može biti pozitivan ili negativan, predstavlja: a) višenamjensko korištenje, gdje se vrednuju sve koristi i štete; b) odstupanje od dozvoljenog opterećenja okoline u odnosu na »nulto stanje«.

Na osnovi navedenih kriterija, proračunali su se koeficijenti (d/kVh) koji pomnoženi s proizvedenom električnom energijom daju cijenu koju Hrvatska elektroprivreda treba plaćati društveno-političkim zajednicama posebno za hidroelektrane i termoelektrane.

Opseg: 24 stranice.

Dugoročni razvoj energetike u Hrvatskoj

Naručitelj: Samoupravna interesna zajednica znanosti SR Hrvatske

Autori: mr. Branko Vuk, dipl. inž.
Nikola Bilčar, dipl. inž.
mr. Damir Pešut, dipl. inž.
Ivan Šimurina, inž.

Završeno u lipnju 1990.

Polazi se od analize energetske situacije u svijetu i u razvijenim zemljama te se potvrđuju ostvarene tendencije u tom razvoju. Nakon toga daje se prikaz osnovne komponente strategije razvoja energetike Jugoslavije. Slijedi prikaz i analiza energetske toka u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1970. do 1987. godine, i to tako da se polazi od ukupno potrebne energije te se preko postrojenja za energetske transformacije dolazi do neposredne potrošnje energije. Na temelju kretanja te potrošnje načinjena su predviđanja potreba do 2010. godine. Predviđena potrebna energija za neposredne potrošače u budućem razdoblju bila je osnovna odrednica za definiranje optimalnog razvoja cjelokupnog energetske sustava odnosa i pojedinih njegovih podsustava.

Opseg: 194 stranice, 54 tablice, 57 slika.

HE Krčić gornji — Osnovni projekt — Energetsko-ekonomski dio

Naručitelj: 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.

U ovome radu obrađena je jedna od potencijalnih lokacija buduće hidroelektrane Krčić Gornji. Ona se nalazi izvodno od HE Krčić Donji u gornjem toku kanjona Krčić. Rad se sastoji od nekoliko dijelova (poglavlja). U drugom dijelu predstavljeno je konceptijsko rješenje s osnovnim parametrima (veličine izgradnje) i pripadajućim troškovima (investicijama) izgradnje. Sljedeće poglavlje razmatra moguću proizvodnju hidroelektrane Krčić Gornji za sve promatrane varijante izgradnje (dugi, kratki dovod, tri usporne kote i četiri veličine izgradnje). Moguća proizvodnja je proračunata uz poštivanje svih relevantnih karakteristika i podataka. Nakon toga, kada je proračunata moguća proizvodnja uz poznavanje investicijskih ulaganja i drugih energetsko-ekonomskih parametara, sve varijante izgradnje hidroelektrane Krčić Gornji promatrane su u elektroenergetskom sistemu Hrvatske. Zato su u četvrtom poglavlju navedene osnovne karakteristike o potrošnji električne energije, termoelektranama i hidroelektranama s kojima će se računati u ovome radu. U petom dijelu navedeni su rezultati elektroenergetskih bilanci, i to samo one vrijednosti koje su potrebne za daljnje analize. Te daljnje analize provedene su u šestom dijelu. Sveobuhvatnom i kompleksnom analizom energetsko-ekonomskih prilika u elektroenergetskom sistemu Hrvatske određeni su najpovoljniji parametri (veličina izgradnje, usporna kota i dužina tunela) hidroelektrane Krčić Gornji. Te vrijednosti su: veličina izgradnje 10 m³/s; usporna kota 350 mnm i tunel dug 2 637 metara.

Opseg: 54 stranice, tablice, 10 slika.

Uklapanje HE Ričica u elektroenergetski sistem SR Hrvatske te njena energetsko-ekonomska vrijednost

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije, Split — OOUR Projektni biro

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.
mr. Luka Staničić, dipl. oec.

Suradnici: mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.
Marijan Magdić, dipl. oec.
Neda Komerički, ek.

Završeno u lipnju 1990.

Hidroelektrana Ričica nalazi se na sjeverozapadnom dijelu Imotsko-bekijskog polja. Izgradnjom akumulacije Ričica za potrebe navodnjavanja i povećanja poljoprivredne proizvodnje Imotsko-bekijskog polja voda bi se energetske koristila u postrojenju HE Ričica. U ovome radu promatrana je samo hidroelektrana Ričica, i to s elektroprivrednog stajališta i njezina vrednovanja u elektroenergetskom sistemu.

Hidroelektrana Ričica je, dakle, višenamjenski objekt koji bi financirale Elektroprivreda i Vodoprivreda. Režim rada, kao i neki drugi parametri (npr. veličina izgradnje) hidroelektrane Ričica prilagođeni su vodoprivrednim zahtjevima, odnosno navodnjavanju Imotsko-bekijskog polja, Upravo zbog toga, a i drugih elemenata, hidroelektrana Ričica nije u ovom trenutku rentabilno postrojenje. Naime, na temelju sveobuhvatne analize prilika u elektroenergetskom sistemu i karakteristikama hidroelektrane Ričica izračunata je relativna energetske-ekonomska vrijednost s prosječnim troškovima koja iznosi 0,836, dok s aktualiziranim troškovima je 0,415. Da se bolje razumiju te brojke spomenut će se da ako je relativna energetske-ekonomska vrijednost »1« ili veća, promatrani objekt je rentabilniji od alternativnog rješenja (dopunske termoelektrane na uvozni ugljen). U našem slučaju HE Ričica ima tu vrijednost 0,836 odnosno 0,415, što je manje od jedinice »1«.

Opseg: 27 stranica, tablice.

Određivanje adekvatne (istovremene) nabavne vrijednosti hidroelektrana i termoelektrana

Naručitelj: Režija grupe

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.
Nikola Bilčar, dipl. inž.

Suradnici: mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.
Mara Morić, teh.
Ivica Posavec, teh.
Neda Komerički, ek.
Josip Bunjevčević, teh.

Završeno u srpnju 1990.

Za potrebe Hrvatske elektroprivrede – Komisije za normiranje troškova poslovanja hidroelektrana i termoelektrana – učinjen je ovaj elaborat. Naime, Komisija se našla pred problemom kako i na koji način odrediti usporedive vrijednosti hidroelektrana i termoelektrana u sastavu Hrvatske kad se zna da su neke građene ili revitalizirane od 1905. do današnjih dana.

S tim u svezi Institut za elektroprivredu je predložio jedinstven postupak za određivanje troškova izgradnje, doduše, novih hidroelektrana koji se može primijeniti i na postojeće izgrađene hidroelektrane.

Utvrdjivanje nabavne vrijednosti termoelektrana moguće je na bazi specifičnih investicija u funkciji veličine jediničnih snaga, i to odvojeno za protočno, a odvojeno za recirkulaciono hlađenje.

Opseg: 43 stranice, tablica, slika.

Hidroelektrane Kupari (Različite varijante izgradnje)

Naručitelj: Elektroprivreda, Rijeka

Autor: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.

Suradnici: mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.
mr. Luka Staničić, dipl. oec.
Neda Komerički, ek.
Ivica Posavec, teh.

Završeno u rujnu 1990.

U okviru ovoga rada analizirana je HE Kupari na rijeci Kupi u više varijanta. Naime, osnovnim projektom predviđeno je da HE Kupari bude derivacijsko postrojenje s dužinom tunela otprilike 6 800 m. Energetske-ekonomska vrijednost takve koncepcije HE Kupari vrlo je niska. Zato se pokušalo pronaći optimalno rješenje HE Kupari s obzirom na dužinu tunela. Promatrano je osam varijanti izgradnje HE Kupari s dužinom tunela od 0, 1 000, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000, 6 000 i 6 852 metra. Energetske-ekonomske analize pokazale su da koncepciju HE Kupari treba usmjeriti prema kraćoj derivaciji ili čak pribranskom rješenju.

Opseg: 31 stranica, tablica.

Određivanje rezerve u elektroenergetskom sistemu

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.
mr. Slavko Alerić, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1990.

U ovome radu pokušao se naznačiti problem rezerve u elektroenergetskom sistemu. Ovome vrlo važnom pitanju, kako će se iz referata vidjeti, do sada nije poklanjana nužna pažnja pa čak nije načinjena nijedna (koliko je poznato autorima) kvalitetna analiza planirane i ostvarene rezerve. Nakon uvodnog dijela i nekih definicija pokušalo se kvantitativno obraditi pojam rotirajuće rezerve i doći do zaključaka da u miješanom hidro-termo-sustavu ne bi trebalo uzimati u obzir rotirajuću rezervu za dugoročno planiranje izgradnje elektroenergetskog sustava.

Opseg: 42 stranice, tablica, slika.

Studija strategija dugoročnog razvoja elektroprivrede Jugoslavije u periodu do 2010. godine s osvrtom na 2020. godinu

Naručitelj: Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.
mr. Slavko Alerić, dipl. inž.
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.
Slobodan Milić, dipl. inž.
mr. Danica Vuković, dipl. inž.
prof. dr. Stanimir Putnik, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1990.

U studiji su realno sagledane sve mogućnosti izgradnje elektrana – preostalih za izgradnju mogućih hidroelektrana, termoelektrana na domaći ugljen na nalazištima ugljena i s kapacitetima TE koje dopuštaju rezerve ugljena za vijek trajanja termoelektrana, TE na uvozni ugljen i na kraju nuklearnih elektrana. Bez zabrana, a uz uvjet minimalnih troškova u EES Jugoslavije, traženo je optimalno rješenje između svih mogućnosti, naravno za više (niža, srednja, viša) razina razvoja potrošnje električne energije.

Dograđena je struktura izgradnje u više scenarija i predložen najpovoljniji s pripadajućim mjerama i akcijama koje iziskuje takav razvoj.

Opseg: 114 stranica, 16 tablica, 2 slike (knjiga 1); 119 stranica, 52 tablice, 3 slike (knjiga 2).

Energetske-ekonomska i društveno ekonomska ocjena opravdanosti i efikasnosti izgradnje AS Čaprazlije

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: mr. Slavko Alerić dipl. inž.
Marijan Magdić dipl. oec.
mr. Luka Staničić dipl. oec.

Završeno u lipnju 1990.

Svrha je izrade ovog elaborata ocjena energetske-ekonomske i društveno-ekonomske opravdanosti i efikasnosti izgradnje AS Čaprazlije. Izgradnjom AS Čaprazlije stvorila bi se akumulacija čiju vodu bi koristile HE Orlovac, HE Đale i HE Zakućac. Realizacijom navedene investicije povećala bi se proizvodnja električne energije u navedenim elektranama.

Izgradnja navedenog objekta analizirana je i ocijenjena sa stajališta doprinosa elektroenergetskom sustavu Hrvatske, financijske uspješnosti i društveno-ekonomske uspješnosti.

Model tokova troškova u izgradnji i eksploataciji proizvodnih i prijenosnih objekata elektroenergetskog sustava

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: Marijan Magdić, dipl. oec.

Završeno u veljači 1990.

Svi izdaci u procesu proizvodnje evidentiraju se u novčanom obliku i dešavaju se neprestano u obliku određenog toka. Budući da se izražavaju u novčanom obliku, onda se najpćenitije može govoriti o novčanim tokovima o novčanim kretanjima sredstava. Svrha rada je identifikacija ekonomskih kategorija relevantnih za planiranje izgradnje elektroenergetskih objekata. Naglasak je na troškovima u djelatnosti proizvodnje i prijenosa u razdoblju 1981–1987.

Baza podataka novčanih tokova za ekonomsko — energetsko vrednovanje elektrana

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: Franjo Klečina dipl. inž.
Marijan Magdić dipl. oec.

Završeno u prosincu 1990.

Svrha formiranja ekonomske baze podataka elektroenergetskog sustava Hrvatske jest neophodnost raspolaganja sistematiziranim ekonomskim podacima, čija obrada služi onda za razne ekonomske analize.

Ovim elaboratom utvrđene su relacije, zatim ekonomski podaci koji će se prikupljati i subjekti za koje će se prikupljati podaci. To znači da je organizacijski pristup i programska podrška razrađena do tog stupnja da se podaci mogu unositi, ažurirati, pregledati i brisati.

STUDIJ RAZDJELNIH NISKONAPONSKIH, VISOKONAPONSKIH MREŽA I PROJEKTIRANJE

Dugoročni razvoj distributivne djelatnosti u Hrvatskoj do 2000. godine s projekcijom do 2005. godine

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.
mr. Rihard Schenner, dipl. inž.
Dasenko Baldasari, dipl. inž.
mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1990.

U studiji se:

- analizira postojeće stanje izgrađenosti mreže i transformacije u odnosu na dosegnute energetske tokove 1989. g.
- analizira potrebno stanje odnosno rast mreže i transformacije u skladu s predviđenom elektroenergetskom bilancom.

Područje Hrvatske podijeljeno je na deset zona (bivše radne organizacije distribucije, te četiri grada — Zagreb, Rijeka, Split i Osijek). Obavljene su detaljne analize mreže 35 kV i 35/10 kV. Pomoću posebno razvijene globalne metode analizirana je mreža 10 kV i 0,4 kV.

Na temelju navedenih proračuna određene su potrebe za sanacijom postojećeg stanja te potrebe uvjetovane razvojem električnog konzuma. Potrebna ulaganja iskazana su naturalno i financijski, i to po elementima distributivnog sistema — vodovi 35 kV, 10 kV i 0,4 kV, te TS 110/X, 35/10 i 10/0,4 kV.

Kao osnovni zaključak možemo navesti da su sadašnja ulaganja u distributivnu djelatnost višestruko manja od potrebnih.

Opseg: 66 stranica i 25 tablica.

Koordinacija gubitaka napona u niskonaponskim mrežama

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.
mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1990.

Veličina gubitka napona u n. n. mreži osnovni je kriterij za kvalitetu napajanja u tzv. javnoj distribuciji. Potrošači žele imati kvalitetnu električnu energiju, stalnog napona, tj. po mogućnosti u granicama dopuštenih tolerancija za trajne vrijednosti i kolebanja, kao i biti unutar dopuštenih vrijednosti izobličenja. Kako su tolerancije za aparate određene od proizvođača, distribucija električne energije mora udovoljiti tim zahtjevima s jedne strane, a s druge graditi što ekonomičnije mreže.

Osim toga, izišao je kod nas, kao posljedica preporuke IEC, novi standard koji predviđa prijelaz na povišeni napon 230/400 V u roku 15 godina.

U radu je na osnovi proračuna, kao i dosadašnjih iskustava sastavljen prijedlog dopuštenih gubitaka napona na priključku i na aparatu, tj. uzevši u obzir gubitak napona i u priključku potrošača.

Pokazano je da ukupni kriterij gubitka napona treba graditi osim na relativnom gubitku napona još i na njegovoj apsolutnoj vrijednosti na priključku i na aparatu kod potrošača. Na kraju su dane preporuke za regulaciju napona na n. n. vodu (grad, selo), veličine odstupanja koje se toleriraju, kao i veličine za slučajeve izvanrednog pogona. Priloženi su dijagrami prijenosa kabelskim i nadzemnim vodovima.

Opseg: 80 stranica, 26 slika, 11 tablica, 7 slika u prilogu.

Proračun i ocjena ometajućih utjecaja brzih i sporih kolebanja napona u NN i SN mreži

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.

Suradnja: Lahorko Wagmann, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1990.

Proučavanje sporih i brzih kolebanja napona staro je već 80-ak godina. Značajna su istraživanja iz 30-ih godina, pa zatim 50-ih i 70-ih, čemu je kao vrhunac došla izrada IEC standarda 555-3/1982. Time je zaključena tzv. klasična metoda određivanja flikera. U radu su osim ovoga prikazani i rezultati najnovijih istraživanja koje je provela UIE, a kojima je dobivena metoda kojom se na najbolji način do sada modelira percepcija flikera u sastavu žarulja — oko — mozak. Poznavanje problema flikera u distributivnoj djelatnosti elektroprivrede značajno je za mogućnost povećanja kvalitete opskrbe električnom energijom. Prije ili kasnije pojaviti će se procjena flikera-efekta kao jedan od kriterija za elektroenergetsku suglasnost.

U elaboratu su prikazani i rezultati kompjutorskih proračuna utjecaja na susjedne čvorove u mreži (program »FLIKER«), kao i proračuna veličine fliker-efekta ovisno o obliku i učestalosti deformiranog naponskog vala (programi »FLUSIN« i »FLUSTEP«).

Osim toga prikazane su i blok-sheme načina istraživanja i proračuna kolebanja napona u distributivnoj mreži.

Opseg: 60 stranica, 22 slike, 4 tablice, 2 blok-sheme i 10 dijagrama — rezultata proračuna.

Koordinacija izolacije pri izgradnji distributivnih srednjonaponskih mreža

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.
mr. Luciano Delbianco, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1990.

U studiji je dan kratak osvrt na sadašnji pristup koordinaciji izolacije u sred-njonaponskim mrežama. Izložena je metodologija za proračun atmosferskih prenapona na distributivnim vodovima, te za proračun očekivanog broja preskoka i ispada vodova. Posebno je obrađen proračun impulsnih impedancija uzemljivača. Na kraju ovog dijela studije dani su prijedlozi mjera za povećanje sigurnosti nadzemnih vodova od atmosferskih prenapona.

U drugom dijelu studije obrađena je prenaponska zaštita distributivnih postrojenja. Razmotrena je opravdanost upotrebe odvodnika prenapona kod TS 10(20)/0.4 kV.

U posebnom poglavlju dan je prijedlog tipizacije prenaponske zaštite na distributivnim vodovima i postrojenjima.

Opseg: 109 stranica.

Organizacija sistema banke podataka upotrebom personalnih računala u distribuciji

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autor: Krešimir Mehičić, el. inž.

Završeno u lipnju 1990.

U studiji je provedena analiza mogućnosti decentralizacije postojećeg fonda podataka baze tehničkih podataka distributivne djelatnosti Hrvatske. S obzirom na nekompatibilnost postojeće informatičke opreme, te nepostojanje odnosno nekompatibilnost softwera koji podržava rad s bazama podataka, u studiji je dan prijedlog za organizaciju sistema decentralizirane BTP putem personalnih računala. Prijedlog sadrži opis optimalne konfiguracije personalnog računala za potrebe decentralizirane BP, izbor softwera za rad s bazom podataka, te način označavanja entiteta u decentraliziranoj bazi tehničkih podataka.

Opseg: 20 stranica sa slikama.

Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži OOUR-a »Stipe Ivandić« Sinj

Naručitelj: RO Elektrodalmacija, Split
OOUR Stipe Ivandić, Sinj

Autor: mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Suradnik: mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1990. godine.

Protjecanje jalove snage kroz električnu mrežu uzrokuje 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 uzrokuje i dodatne negativne financijske efekte.

Da bi se kompenzacija jalove snage u mreži OOUR-a »Stipe Ivandić« Sinj 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 kondenzatorskih baterija koji se temelji na zahtjevu da uštede budu maksimalne.

Predloženo je da se u TS 10/0,4 kV na niskom naponu ugradi 11 kondenzatorskih baterija po 50 kVAR, a u TS 35/10 kV na 10 kV naponu 2 baterije po 600 kVAR i 1 baterija od 300 kVAR. Prema cijenama aktualnim 15. 5. 1990. ukupna investicija iznosi oko 2 038 000 dinara, a postignute uštede oko 1 905 000 dinara godišnje. Prema tome, opravdanost ulaganja u uređaje čiji je vijek trajanja 15 godina je evidentna.

Opseg: 59 stranica sa 27 slika, 22 tablice i dodatni listinzi.

Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži OOUR-a »Elektrozagora« Drniš

Naručitelj: RO Elektrodalmacija Split
OOUR Elektrozagora Drniš

Autor: mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Suradnik: mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1990. godine

Elaboratom je utvrđeno da na području električne mreže OOUR-a treba instalirati 1 kondenzatorsku bateriju od 1 200 kVAR u TS 35/10 kV »Klaun« na naponu 10 kV i 8 baterija po 50 kVAR u niskonaponskoj mreži. Prema cijenama od 15. 5. 1990. investicijski troškovi iznose blizu 914 000 dinara, a godišnje uštede približno 1 505 dinara. Vijek trajanja uređaja je 15 godina.

Opseg: 60 stranica sa 29 slika, 18 tablica i dodatni listinzi.

Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži pogona Trogir

Naručitelj: RO Elektrodalmacija Split
OOUR Elektra – Trogir, Trogir

Autor: mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Suradnici: mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.
Krešimir Mehičić, inž.

Završeno u prosincu 1990. godine.

Studijom je definirano da u električnoj mreži Pogona Trogir treba ugraditi 1 bateriju od 600 kVAR na naponu 10 kV i 17 kondenzatorskih baterija po 50 kVAR u mreži niskog napona. Ulaganja se isplate za nešto više od godinu dana uz vijek eksploatacije uređaja od 15 godina.

Opseg: 51 stranica sa 13 slika, 19 tablica i dodatni listinzi.

Proračun struja kratkog spoja u 10 kV mreži napajanoj iz TS 30/10 kV »Šibenik 1«

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda – Elektra Šibenik

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.
Duda Meštović, el. teh.

U elaboratu su obavljene proračuni struja maksimalnog i minimalnog tropskog kratkog spoja, te kapacitivne struje zemljospoja u 10 kV mreži napajanoj iz TS 30/10 kV »Šibenik 3«. Također su izvršeni proračuni struja jednog polnog kvara za slučaj uzemljenja zvjezdišta preko otpornika nazivne struje 150 A i 300 A. Za te slučajeve izračunati su i faktori unutrašnjih prenapona, te granični (maksimalni dopušteni) otpori uzemljivača TS 10/0.4 kV.

Svi podaci o mreži uneseni su u tehničku bazu podataka Instituta za elektroprivredu.

Opseg: 20 stranica s tablicama.

STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA

Garancijska ispitivanja vrelovodnog kotla VK6 tip VKLM100 u pogonu proizvodnje Zagreb 2

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: Čedomir Selanec, dipl. inž.
Ernest Prištof, dipl. inž.
Edo Picek, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1991.

U elaboratu je prezentiran način mjernog utvrđivanja garantnih parametara i energetskih pokazatelja kvalitete rada kotla. Dan je opis i način mjerenja, opis i primijenjeni postupci obrade rezultata mjerenja, te metodologija utvrđivanja energetskih pokazatelja. Utvrđeni energetski pokazatelji odnose se na rad uz loženje kotla plinom odnosno mazutom. Ukupno je provedeno i obrađeno 6 ispitivanja pri različitim režimima rada u rasponu od minimalnog do maksimalnog toplinskog opterećenja. Stupnjevi djelovanja kotla utvrđeni su indirektnom metodom.

Opseg: 39 stranica teksta i priloga sa slikama i tablicama.

Prijedlog normativnih neto specifičnih potrošaka topline goriva za TE-TO Novi Sad

Naručitelj: 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 siječnju 1990.

U okviru ovog elaborata izradene su karakteristike vlastitog potroška električne i toplinske energije dvaju toplifikacijsko-kondenzacijskih blokova, a prezentirani je i postupak utvrđivanja potroška topline goriva na bazi poznatih pokazatelja za turboagregate i kotlovske jedinice. Utvrđivanje neto specifičnih potrošaka obavljeno je uz raspodjelu gubitaka i vlastitih potrošaka u odnosu sadržaja energija i eksergija »finalnih proizvoda«. Primijenjena metodologija raspodjele 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 zimski period rada, ljetni period rada, te srednji godišnji.

Opseg: 66 stranica teksta i priloga sa slikama i tablicama.

Utvrđivanje energetskih pokazatelja turboagregata 2 u TE-TO Novi Sad

Naručitelj: 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 studenom 1989.

U elaboratu je prezentiran način mjerno utvrđenih energetskih pokazatelja kvalitete rada turboagregata 2. Dan je opis i način mjerenja, opis i primijenjeni postupci obrade rezultata mjerenja, te metodologija utvrđivanja energetskih pokazatelja. Utvrđeni energetski pokazatelji 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. Ta toplina proizvodi se na račun oduzimanja pare iz 6 i 7 oduzimanja kod dvostepenog zagrijavanja i oduzimanja kod jednote-

penog 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 energetski pokazatelji 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.

Utvrđivanje energetskih pokazatelja turboagregata 1 u TE-TO Novi Sad

Naručitelj: 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 prosincu 1989.

U elaboratu je prezentiran način mjerno utvrđenih energetskih pokazatelja kvalitete rada turboagregata 1. Dan je opis i način mjerenja, opis i primijenjeni postupci obrade rezultata mjerenja, te metodologija utvrđivanja energetskih pokazatelja. Utvrđeni energetski pokazatelji odnose se na ljetni i zimski režim rada turboagregata. Ljetni režim rada karakterizira kondenzacijski rad uz proizvodnju industrijske pare s 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. i 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 energetski pokazatelji 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.

Kompleksna energetska bilanca i karakteristike potroška topline protutlačno-oduzimnog bloka u TE-TO Zagreb

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda — TE-TO Zagreb

Autori: Stjepan Ivančić, dipl. inž.
Ernest Prištof, dipl. inž.
Miroslav Juretić, dipl. inž.
Edo Picek, dipl. inž.
Vladimir Martinec, dipl. teh.
Boris Popinjač, dipl. teh.

Završeno u lipnju 1990.

Kompleksna normativna ispitivanja protutlačno-oduzimnog bloka, provedena su utvrđivanjem njegovih energetsko-ekonomskih, kao i pogonsko funkcionalnih karakteristika za područje sadašnjih normalnih i predvidivih budućih režima pogona bloka u pogledu opskrbe vanjskih toplinskih potrošača. Budući da sve karakteristike trebaju poslužiti i za postavljanje odgovarajućih normativnih karakteristika, ispitivanja su provedena pri normalnim pogonskim stanjima. U elaboratu je prezentiran način mjernog utvrđivanja tehno-ekonomskih pokazatelja rada, kao i pogonsko funkcionalnih karakteristika. Dan je opis i način mjerenja, opis i primijenjeni postupci obrade rezultata mjerenja, te metodologija utvrđivanja energetskih i eksergetskih karakteristika. Postavljene su karakteristike kotla, turbinskog ciklusa, vlastitih potrošaka pare i električne energije, te neto specifičnih potrošaka topline goriva bloka za pojedine finalne proizvode. Na kraju dan je i prijedlog energetskih i eksergetskih normativnih potrošaka topline goriva za pojedine finalne proizvode, te su u zaključku komentirani rezultati, a dani su i prijedlozi u smislu poboljšanja ekonomičnosti rada bloka.

Opseg: 345 stranica teksta i priloga sa slikama i tablicama.

Kriteriji izbora cijevi za vađenje iz generatora pare NE Krško

Naručitelj: NE Krško

Autor: Nevenko Hladki, dipl. inž.

Ispitivanje cijevi generatora pare obavlja se bezrazornom metodom višefrekventnih vrtložnih struja. Da bi se ispitivanje metodom višefrekventnih vrtložnih struja moglo što točnije i kvalitetnije koristiti, nužno je eksperimentalno utvrditi mogućnost potvrđivanja indikacija, kao i mogućnost definiranja njihovih karakteristika i volumena, dubina, dužine i tipa indikacije. Upravo zbog toga razloga potrebno je pristupiti akciji vađenja cijevi iz generatora pare. Izradene cijevi moraju imati što veći broj indikacija na točno određenim mjestima i uz potporne ploče, u prijelaznoj zoni na vrhu cijevne stijene, u zoni taloga iznad vrha cijevne stijene i u području cijevne stijene. Indikacije moraju uz lokaciju na kojoj se nalaze zadovoljiti kriterije amplitude (volumena), postotka i potvrđivanja odnosno nepotvrđivanja indikacija ispitivanjem rotirajućom sondom.

Izveštaj o ispitivanju i određivanju preostale životne dobi turbine bloka 3 120 MW u HEL pogon proizvodnje Zagreb 2

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: Hrvoje Štingl, dipl. inž.
Vladimir Bradač, dipl. inž.
Hrvoje Kunaj, dipl. inž.
Zdravko Pleša, dipl. teh.
Vladimir Martinec, dipl. tehn.
M. Knežević, B. Regelja, M. Butković i ostali

Izveštaj predstavlja prikaz rezultata ispitivanja stanja, te proračun preostale životne dobi turbine 120 MW bloka 3 u HEL Pogon proizvodnje Zagreb 2. Cilj ispitivanja bio je utvrđivanje tzv. nultog stanja kao polazišta za daljnje praćenje stanja i proračun preostale životne dobi turboagregata.

Opseg: 7 priloga.

Završni izvještaj o ispitivanju strojarske opreme HE Senj i Sklope – remont '90

Naručitelj: HE Senj i Sklope

Autori: Hrvoje Štingl, dipl. inž.
Antun Eisenreich, dipl. inž.
Čedomir Selanec, dipl. inž.
Vladimir Zado, dipl. inž.
Hrvoje Kunaj, dipl. inž.
Mato Cvitanović, dipl. inž.
Ernest Prištof, dipl. inž.
Stjepan Jurić-Marjanović, dipl. tehn.
Zdravko Pleša, dipl. tehn.

Završni izvještaj predstavlja prikaz ispitivanja stanja strojarske opreme agregata I, II i III – Proizvodnje Senj i agregata – Proizvodnje Sklope, ocjenu stanja opreme te preporuke i mišljenje za daljnji rad.

Opseg: 19 stranica izvještaja.

Prilog: Izvještaji o ispitivanju i fotodokumentacije.

Završni izvještaj o ispitivanju strojarske opreme NE Krško tijekom osme izmjene goriva (1990. godina)

Naručitelj: NE Krško

Autori: Vladimir Bradač, dipl. inž.
Borislav Režek, dipl. inž.
Ratko Vojvodić, dipl. inž.
Zdravko Pleša, dipl. teh.

Završeno u prosincu 1990.

Ispitivanja vitalne opreme NE Krško u smislu utvrđivanja njihova stanja i sposobnosti za nastavak sigurnog pogona provode se prema posebnom, u tu svrhu pripremljenom programu u toku svake godišnje obustave radi izmjene goriva i remontnih radova. Elaborat predstavlja završni izvještaj s komentarom i rezultatima ispitivanja provedenih u studenom i prosincu 1990. godine.

Opseg: 730 stranica teksta, kompjutorskih izlivanja, crteža i ispitnih lista.

Idejno rješenje ekološkog monitoring-sustava TE Plomin

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.
Željko Postružin, dipl. inž.
Srećko Bojić, dipl. inž.
Dimitrije Avdejev, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1991.

Izradeno je idejno rješenje Ekološkog monitoring-sustava TE Plomin (EMOSTEP). Osnovni zadatak EMOSTEP-sustava jest stalni nadzor utjecaja termoelektrane Plomin 1 i 2 na onečišćenje zraka. To se ostvaruje kontinuiranim mjerenjima emisije, imisijskih koncentracija u okolini i meteorološkim mjerenjima. U radu su opisane moguće metode mjerenja i tehničke alternative rješenja. Analizom niza mogućih rješenja i podataka dobivenih iz preliminarnih ponuda najpoznatijih proizvođača odabrana su najpovoljnija tehničko-tehnološka rješenja. Za odabrana najpovoljnija rješenja specificirana je potrebna oprema i softver te zahtjevi koji se moraju postaviti pri nabavi opreme.

Opseg: 145 stranica, 45 slika, 24 tablice i 5 priloga.

Prostorno-planerske podloge, istraživanja i ocjena podobnosti lokacija za termoelektrane i nuklearne objekte na prostoru Hrvatske – II. faza (dio studije)

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: dr. Niko Malbaša, dipl. inž.
Zoran Kisić, dipl. inž.
Željko Postružin, dipl. inž.
mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.

Završeno u veljači 1991.

U navedenom dijelu kompleksne studije istog naslova dan je detaljan pregled domaće i međunarodne zakonske regulative iz domene sigurnosti nuklearnih objekata (nuklearnih elektrana i odlagališta radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti), odnosno iz domene utjecaja termoelektrana na okolinu. Pritom je težište prikaza na onim dijelovima navedene regulative koji su značajni s gledišta formiranja kriterija za izbor potencijalnih lokacija navedenih objekata. Također su revidirane tehničke karakteristike promatranih referentnih objekata, a koje su detaljnije prikazane u prethodnoj fazi studije.

Opseg: 109 stranica teksta, 38 tablica.

»Sigurnosni aspekti lokacije za nuklearnu elektranu Slavonija« (knjiga II)

Autori:

Grupa autora iz Instituta za elektroprivredu Zagreb, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Građevinskog instituta i Republičkog hidrometeorološkog zavoda; koordinator dr. N. Malbaša:

U ovoj knjizi analizirani su hidrološki, hidrogeološki i meteorološki aspekti lokacije za NE Slavonija. U poglavlju o hidrološkim i hidrogeološkim istraživanjima obuhvaćeni su određivanje projektnog poplavnog vala, rezultati hidrogeoloških istraživanja, podaci o kvaliteti vode, te procjena značajki disperzije kroz površinske vode. U poglavlju o meteorološkim značajkama lokacije obuhvaćene su opće klimatske značajke šireg područja lokacije s lokalnim programom meteoroloških mjerenja, normalne i ekstremne vrijednosti meteo-parametara, meteorološke pojave značajne za sigurnost NE, podaci o stabilnosti atmosfere, te su izvršene procjene disperzije za kratkotrajna i dugotrajna ispuštanja radioaktivnih produkata u atmosferu.

Opseg: 100 stranica teksta, te 254 tablice, 34 slike i 16 dijagramskih i kartografskih priloga.

»Sigurnosni aspekti lokacije za nuklearnu elektranu Slavonija« (knjiga III)

Autori:

Grupa autora iz Instituta za elektroprivredu Zagreb, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Građevinskog instituta i Republičkog hidrometeorološkog zavoda; koordinator dr. N. Malbaša:

Ova knjiga obuhvaća značajke naseljenosti u okolini NE Slavonija s određivanjem sigurnosnih zona, te upotrebu terena i voda u okolini. Među značajkama naseljenosti prikazane su i projekcije rasta broja stanovnika, značajke prehrane stanovništva, rezultati detaljne demografske analize naselja, te migracije stanovništva. Prikazani su polazni podaci i rezultati proračuna ekskluzivne zone i zone niske naseljenosti oko NE Slavonija. Prikaz upotrebe terena i voda u okolini NE obuhvaća ceste, željeznice i vodene putove u krugu 20 km, zračni promet i ostale vrste transporta, značajke poljoprivrede, korištenje površinskih i podzemnih voda, te podatke o industrijskim objektima, objektima sa zapaljivim, eksplozivnim i otrovnim tvarima, objektima za rekreaciju i zaštićenim objektima u okolici NE Slavonija.

Opseg: 38 stranica teksta, 37 tablica, 27 slika i 1 kartografski prilog.

»Sigurnosni aspekti lokacije za nuklearnu elektranu Slavonija« (knjiga IV)

Autori:

Grupa autora iz Instituta za elektroprivredu Zagreb, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Građevinskog instituta i Republičkog hidrometeorološkog zavoda; koordinator dr. N. Malbaša:

Ova knjiga obuhvaća analizu mogućnosti evakuacije stanovništva u slučaju najteže nezgode u NE, te utjecaj vanjskih ekstremnih pojava uvjetovanih ljudskom aktivnošću. U poglavlju o evakuaciji uvodno su prikazane analize akcidenta s ocjenom ugroženosti stanovništva, mjerama zaštite i zonama planiranih akcija, a detaljno se analizira problematika evakuacije te daju rezultati primjene modela za procjenu vremena i mogućnosti evakuacije iz ugrožene zone. Poglavlje o utjecaju vanjskih ekstremnih pojava uvjetovanih ljudskom aktivnošću obuhvaća analize svih vanjskih izvora opasnosti po sigurnost NE s posebnim naglaskom na avionski, cestovni, željeznički i riječni promet, te stacionarne izvore opasnosti u okolici NE Slavonija.

Opseg: 92 stranice, 25 tablica, 17 slika i 3 priloga s ukupno 104 stranice rezultata proračuna evakuacije.

STUDIJ HIDROTEHNIČKIH SISTEMA

Mogućnosti i način odlaganja gipsa iz postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin 2

Investitor: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Ljiljana Aleksić, dipl. inž.
dr. Alica Bauman, dipl. inž.

Svrha izrade ove studije bila je da obuhvati sve analize koje bi predstavljale dopunu »SUO PODP TE Plomin 2« glede odlaganja gipsa. Studija predstavlja I. fazu rješavanja odlaganja gipsa iz TE Plomin 2.

U studiji je provedena analiza polaznih podataka vezanih za količine i kemijski sastav gipsa u odnosu na različite varijante energetske osnove. Na temelju definiranih količina gipsa u planiranom eksploatacijskom vijeku TE Plomin 1 i 2 i topografskih karakteristika lokacije provedena je analiza graničnih prostornih mogućnosti i lokacije za odlaganje ukupnih količina gipsa te šljake i pepela iz TE Plomin 1 i 2. Uz te analize u studiji je dana procjena mogućih utjecaja otpadnih voda s deponije gipsa, na kvalitetu površinskih i podzemnih voda na lokaciji. Na osnovi tih analiza dan je prijedlog koncepcije dispozicije gipsa, šljake i pepela za sve analizirane varijante, uvažavajući zahtjeve glede mogućeg plasmana gipsa u građevinsku i cementnu industriju.

Opseg: 62 stranice teksta, 6 priloga, 5 slika u tekstu i 8 tablica.

Proračun vodnih lica rijeke Drave

Investitor: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Irena Pavić, dipl. inž.

Suradnici: Ljiljana Aleksić, dipl. inž.
Mladen Đokić, dipl. inž.
Đurđica Cahun, tehn.
Marina Brajković

Stručne konzultacije: mr. Mladen Petrićec, dipl. inž.

U sklopu izrade idejnog projekta VS Osijek, za određivanje osnovnih veličina potrebnih za dimenzioniranje objekata vodne stepenice i proračun moguće prosječne proizvodnje električne energije proveden je proračun vodnih lica rijeke Drave za postojeće (prirodno) i buduće (izgrađeno) stanje korištenjem programskog paketa HEC-2.

Proračun za karakteristične protoke proveden je za:

— prirodno stanje na dionici od ušća Drave u Dunav do r. km 88 + 354 (Donji Miholjac) za početne kote na ušću Drave $H = 82,0$ m n. m. i $H = 86,0$ m n. m.

- buduće usporeno stanje s prokopima i uskom trasom nasipa akumulacije na dionici od pregradnog profila (r. km 31 + 200) do r. km 88 + 354 i kote uspora na brani 91,0 m n. m., 90,0 m n. m. i 89,0 m n. m.
- buduće neusporeno stanje (otvorena brana) na dionici od ušća do r. km 88 + 354 za početnu kotu na ušću Drave $H = 82,0$ m n. m.

Opseg: 28 stranica teksta, 627 stranica proračuna i priloga.

Proračun vodnih lica rijeke Drave — buduće stanje

Investitor: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Irena Pavić, dipl. inž.

Suradnici: Ljiljana Aleksić, dipl. inž.
Mladen Đokić, dipl. inž.
Đurđica Cahun, tehn.

Stručne konzultacije: mr. Mladen Petrićec, dipl. inž.

Obavljen je proračun vodnih lica rijeke Drave za buduće usporeno stanje (pregradni profil VS Osijek u r. km 31 + 200) za kote uspora na brani $H = 88,0$ m n. m. i $H = 87,0$ m n. m. i sve karakteristične protoke

Opseg: 100 stranica teksta i proračuna.

Osnovni projekt poboljšanja sistema zahvata rashladne vode TE-TO Zagreb

Investitor: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Aleksander Russo, dipl. inž.

Suradnici: Građevinski institut Zagreb

S obzirom na izgradnju podvodnog praga u koritu Save u 1989. godini, očekuje se povećano taloženje nanosa u koritu Save uzvodno od praga gdje se nalazi zahvat rashladne vode TE-TO. Zbog toga, kao i zbog planirane izgradnje novog bloka IV TE-TO Zagreb, pristupilo se izradi ovog projekta radi rješenja pouzdane vodoopskrbe rashladne vode TE-TO Zagreb.

Opseg: 75 stranica teksta i 60 stranica crteža.

Analiza hidrauličkih mjerenja akumulacije HE Varaždin

Investitor: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Aleksander Russo, dipl. inž.

Tijekom eksploatacije objekta od 1974. g. do 1989. g. povećale su se količine istaloženog nanosa, što se iskazuje promjenom vodnih razina u akumulaciji HE Varaždin.

Opseg: 27 stranica teksta i 56 crteža.

Izveštaj o pregledu dovodnog tunela HE Gojak

Investitor: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Aleksander Russo, dipl. inž.
Stjepan Hršak, inž.

Ovo je redoviti vizualni pregled dovodnog tunela koji se obavlja jedanput godišnje pri remontu postrojenja.

Opseg: 10 strana teksta, 1 crtani profil, fototeka.

Izveštaj o kontrolnom mjerenju profila korita r. Save kod TE-TO Zagreb

Investitor: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Aleksander Russo, dipl. inž.

Redovito godišnje snimanje poprečnih profila korita Save, te primarnog i sekundarnog praga, omogućava da se pravovremeno uoči eventualno negativni utjecaj za crpljenje rashladne vode TE-TO Zagreb.

Opseg: 15 stranica teksta, 6 crteža.

Osnove upravljanja hidroenergetskim sistemom sliva Cetine

Sastoji se od 5 knjiga:

- I. Skraćeni prikaz istraživanja
- II. Osnovne karakteristike slivnog područja Cetine i razvoja sliva
- III. Organizacija upravljanja, hidrološko prognoziranje i planiranje rada sistema
- IV. Informacijski sistem i baza podataka
- V. Metode i procedure planiranja i operativnog upravljanja sistemom u hidroproizvodnji i obrani od poplava

Investitor: Elektroprivreda Dalmacije, Split
Hrvatska elektroprivreda

Vodeći autor: mr. Mladen Petrićec, dipl. inž.

Autori: Ljiljana Aleksić, dipl. inž.
Srećko Bojić, dipl. inž.
Irena Pavić, dipl. inž.
Mladen Zeljko, dipl. inž.Podizvođači: Hidroprojekt — Zagreb
Mihajlo Pupin — Beograd

Rezultati obrada u okviru studije podijeljeni su u pet knjiga:

Knjiga 1. sadrži projektni zadatak i sažeto daje informacije o slivu i rezultatima provedenih istraživanja.

Knjiga 2. sadrži prikaz fizičkih karakteristika sliva, te geoloških, hidrogeoloških, klimatoloških i hidroloških pokazatelja. U sklopu hidroloških obrada kronološki je analiziran i dan prikaz utjecaja razvoja sliva na hidrološke pokazatelje. U knjizi je opisan razvoj sliva kroz prikaz osnovnih podataka o postojećim i planiranim višenamjenskim energetskim i vodoprivrednim objektima u slivu.

Knjiga 3. sadrži definiciju osnovnih načela upravljanja, organizacije, nadležnosti i odgovornosti u procesu korištenja voda sliva Cetine. Sadrži metodološki prikaz i rezultate kalibracije i verifikacije modela za kratkoročno hidrološko prognoziranje (SSARR) i operativno planiranje rada sistema (HEC-5).

Knjiga 4. sadrži definiciju informacijskog sistema i baze podataka za slivno područje Cetine.

Knjiga 5. sadrži osnove za izradu godišnjih planova upravljanja hidrosistemom, postupke periodičnog replaniranja i procedure izrade operativnih hidroloških prognoza, te način operativnog upravljanja slivom u hidroproizvodnji i obrani od poplava.

Opseg: 300 stranica teksta, 600 slika i tablica.

STUDIJ VISOKONAPONSKE OPREME I PRIJENOSNIH MREŽA**Ispitivanje uzemljivača HE Senj**

Naručitelj: Elektroprivreda, Rijeka — OOUR HE Senj i Sklope

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Suradnici: Stjepan Zubić, el. tehn.
Tomislav Veselić, el. tehn.
Srećko Juretić, el. tehn.

Završeno u siječnju 1990.

Redovitim periodičkim mjerenjima (prethodno je provedeno 1982. godine) utvrđeni su sljedeći parametri uzemljivača:

— impedancija uzemljivača	0,146 Ω
— potencijal uzemljivača prema referentnoj zemlji za struju u zemlji od 10 912 A	1 581 V
— najveći izmjereni napon dodira izvan ograde postrojenja	80,1 V < 150 V
— najveći izmjereni napon dodira unutar ograde postrojenja	297,4 V < 310 V
— najveći izmjereni napon koraka je	9,1 V

Također je izvršen pregled i ispitivanje gromobranske instalacije na objektu HE Senj, s konstatacijom da pregledana gromobranska instalacija zadovoljava Tehničke propise o gromobranama uz uvažavanje navedenih primjedbi u točki 5. Izvještaja.

Opseg: 25 stranica teksta, 18 slika (protokol o ispitivanju gromobranske instalacije: 10 stranica teksta i 5 slika)

Ispitivanje uzemljivača RHE Obrovac

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije, Split — OOUR RHE Obrovac

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Suradnici: Josip Mužny, dipl. inž.
Stjepan Zubić, el. tehn.
Ivan Konfic, el. tehn.
Srećko Juretić, el. tehn.
Tomislav Veselić, el. tehn.

Završeno u siječnju 1990.

Redovitim periodičkim mjerenjima (prethodno je provedeno 1985. godine) utvrđeni su sljedeći parametri uzemljivača:

- impedancija uzemljivača 0,191 Ω
- potencijal uzemljivača prema referentnoj zemlji za struju u zemlji od 7206 A 1 376 V
- najveći izmjereni napon dodira 36,5 V < 150 V

Također je pregledana i ispitana gromobrankska instalacija na objektu RHE Obrovac, s konstatacijom da pregledana gromobrankska instalacija zadovoljava Tehničke propise o gromobranama uz uvažavanje navedenih primjedbi u točki 4. Izvještaja.

Opseg: 26 stranica teksta, 33 slike (protokol o ispitivanju gromobrankske instalacije: 9 stranica teksta i 4 slike)

Proračun najvećih očekivanih struja kratkog spoja na sabirnicama 110 kV EL-TO Zagreb, za mrežu 2010. godine

Naručitelj: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u veljači 1990.

Izvršena je dimenzijska analiza planiranog postrojenja 110 kV EL-TO Zagreb s agregatom 70 MW predviđenim kao supstitucija za stari blok 12 MW. Rezultati rezultiraju sljedećim parametrima elektroenergetske opreme:

- prekidači nazivne prekidne moći 31,5 kA i nazivne struje 1250 A
- rastavljači 1250 A, 123 kV
- sabirnice za 1250 A trajne struje.

Opseg: 32 stranice teksta, 3 slike, 8 tablica.

Proračun kratkog spoja u HE Valići za mrežu 2010. godine

Naručitelj: Elektroprivreda, Rijeka

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1990.

Za potrebe dimenzioniranja uzemljivača HE Valići (blok 25 MVA) obavljen je proračun kratkog spoja na sabirnicama 110 kV HE Valići, za 2010. godinu, sa rezultatom $I_{k1} = 11\ 009\ \text{A}$.

Opseg: 16 stranica teksta, 1 slika, 1 tablica.

Ponašanje sinhronog generatora TE Plomin 2 u pogonu

Naručitelj: Radna zajednica za izgradnju TE Plomin 2

Autori (abecedno): doc. dr. Srđan Babić, dipl. inž.
mr. Ante Marušić, dipl. inž.
Josip Mužny, dipl. inž.
mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.
doc. dr. Sejid Tešnjak, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1990. godine.

U studiji je provedena kompleksna analiza prijelazne stabilnosti generatora TE Plomin 2, $S_N = 247\ \text{MVA}$, $\cos\ \phi = 0,85$ u više koraka. U početnim ispitivanjima razmatrana je mreža na području »Elektroprivrede« Rijeka za 1995. i 2000. godinu. Generatori u svim elektranama modelirani su na tzv. klasičan način, s konstantnim naponom iza prijelazne reaktancije, uz zanemarenje utjecaja regulacije uzbude generatora i snage turbine. Nakon niza ispitivanja dobiveno je apsolutno najniže kritično vrijeme $t_{krit} = 0,145\ \text{s}$ kod trolnog kvara navodu $DV\ 2 \times 220\ \text{kV}$ TE Plomin — TS Pehlin, sabirnice 220 kV TE Plomin.

Daljnja ispitivanja obavljena su u manjoj mreži, ali uz točniji matematički model s obuhvaćenim sistemom uzbude i regulacije uzbude u TE Plomin 1 i TE Plomin 2. Rezultati za t_{krit} kreću se sada oko 0,22 s. Ova ispitivanja proširila su se na određivanje osjetljivosti parametara generatora i uzbude s obzirom na prijelaznu stabilnost EES i ukazala su da najizrazitiji utjecaj na određivanje t_{krit} ima odstupanje konstante tromosti H.

Posebno je analiziran rad generatora TE Plomin 2 priključen preko blok-transformatora na sabirnice krute mreže. Dobiveni rezultati pokazuju da pri nazivnom opterećenju ima generator TE Plomin 2 veoma dobra prigušna svojstva, što se vidi po brzo prigušenim oscilacijama nakon promjene mehaničke snage ako prethodno taj kut nije prešao graničnu vrijednost (u našem slučaju 108

stupnjeva). Za kapacitivno opterećenje generatora pokazuje se znatno manje $t_{krit} = 0,12\ \text{s}$, rezultat koji treba respektirati.

Konačno je provedena i analiza asinhronih stanja sinhronog generatora TE Plomin 2. Ponašanje sinhronog generatora je u ovom slučaju opisano sa sistemom sedam diferencijalnih jednačbi koje se rješavaju pomoću Runge-Kutta metode četvrtog reda. Odzivi za dinamiku sinhronog generatora važnih varijabli stanja pokazuju da se za izabrane parametre turbogeneratora u TE Plomin 2 dobivaju veoma povoljna dinamička svojstva, izražena prije svega dobro prigušnim djelovanjem.

Opseg: 147 stranica teksta, 57 slika, 12 tablica.

Kontrola kvalitete u proizvodnji elektroopreme za elektro-distribucije i preuzimanje opreme kod proizvođača

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: Miroslav Blažičko, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1990.

Elaboratom se inicira utvrđivanje jedinstvenih kriterija osiguranja kvalitete koji se odnose na zahtjeve za ponude, nabavu, praćenje u proizvodnji i preuzimanje opreme. Dana je osnovna podjela opreme na grupe, te model prikupljanja i analize podataka o opremi.

Smjernice za rekonstrukciju rasklopnog postrojenja 110 kV TE Plomin

Naručitelj: Elektroprivreda, Rijeka — RZ za izgradnju TE Plomin 2

Autori: Miroslav Blažičko, dipl. inž.
mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž.

Suradnici: Srećko Bojić, dipl. inž.
Goran Jerbić, dipl. inž.
mr. Velimir Ilijanić, dipl. inž.
mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.
Aleksander Russo, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1990.

Na osnovi raspoloživih tehničkih podataka o opremi i zapisa o intervencijama i kvarovima analizirano je stanje opreme i dane su sugestije za rekonstrukciju postrojenja, te dinamiku izvođenja radova, uključivši i zahvate na građevinskim konstrukcijama.

Izvještaj o obavljenoj aktivnosti osiguranja kvalitete tijekom izrade u tvornici rezervnog dalekovodnog polja rasklopnog postrojenja 110 kV u oklopljenoj SF₆ izvedbi za hidroelektranu Đale

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije — HE Đale

Autor: Miroslav Blažičko, dipl. inž.

Suradnici: Hrvoje Bezljaj, dipl. inž.
Antun Eisenreich, dipl. inž.
Svetolik Subotić, inž.
Damir Sever, tehn.

Završeno u rujnu 1990.

Prema utvrđenom planu kontrole kvalitete obavljene su nadzorne aktivnosti. Dani su rezultati kontrola i odgovarajući dokumenti, te ocjena kvalitete elementa polja.

Ispitivanje uzemljivača TE Sisak i njegov utjecaj na okolinu kod najnepovoljnijeg zemljospoja

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb — pogon proizvodnje Sisak, Sisak

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.
Tomislav Veselić, inž.
Srećko Juretić, tehn.
Ivan Konfic, tehn.

Završeno u lipnju 1990.

Ispitivanje uzemljivača Institut za elektroprivredu, Zagreb obavio je od početka izgradnje I etape 1970. godine te nakon izgradnje II. etape 1976. godine. Kontrolna mjerenja nakon izgradnje I. i II. etape TE Sisak obavljena su 1983. i 1990. godine.

- Mjerena je ukupna impedancija uzemljivača U–I metodom.
- Mjerena je raspodjela potencijala.
- Mjeren je napon dodira i koraka unutar i izvan ograde postrojenja TE Sisak.
- Zbog povezanosti uzemljivača TE Sisak s uzemljivačem Rafinerije Sisak, te povezanosti s cjevovodom za vodu koji vodi s desne obale Save preko postrojenja elektrane u željezaru Sisak, obavljena su radi iznošenja potencijala dodatna mjerenja napona dodira i koraka, i to:
 - na postrojenjima Rafinerije Sisak
 - na kraju cjevovoda u krugu Željezare Sisak.

Izmjerena ukupna impedancija od izgradnje I. etape 1970. godine do zadnjeg mjerenja 1990. godine iznosila je od 0,0114 do 0,0974 Ω . Razlika izmjerene impedancije od 8,5 puta od najmanje do najveće vrijednosti kod TE Sisak moguće je zbog njezine lokacije uz desnu obalu rijeke Save i moguće varijacije specifičnog otpora, močvarnog i šljunčanog tla. Ovisno o godišnjem dobu i o tome da li je godina sušna ili vlažna, specifični otpor npr. močvarnog tla iznosi 30 Ω m, a vlažnog šljunka i do 500 Ω m, iz čega proizlazi i varijacija impedancije do čak 16 puta. S varijacijom impedancije uzemljivača u određenom razdoblju upravo proporcionalno varira i potencijal uzemljivača od min 167,5 V do max 1325 V. Zbog povezanosti uzemljivača sa svim metalnim masama naponi dodira bili su u granicama dozvoljenih vrijednosti. Naponi dodira blizu dozvoljenih vrijednosti sanirani su dodatnim povezivanjem i stavljanjem sloja tucanika, npr. za ogradu postrojenja.

Opseg: 17 stranica teksta i 7 crteža.

Ispitivanje uzemljivača RTP 110/35/10 kV Hrastnik

Naručitelj: RO Elektroljubljana, Služba obratovanja, Tito-va 38, Ljubljana

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.
Tomislav Veselić, inž.
Srećko Juretić, el. tehn.

Završeno u srpnju 1990.

Ispitivanje uzemljivača RTP 110/35/10 kV Hrastnik izvršeno je u svibnju 1990. godine.

- mjerena je ukupna impedancija uzemljivača U-I metodom.
- mjeren je napon dodira i koraka unutar i izvan ograde trafostanice.
- mjereno je iznošenje potencijala na trafostanicama 10/0,4 kV koje se napajaju pomoću kabela 20 kV iz RTP Hrastnik.

Trafostanica RTP 110/35/10 kV Hrastnik smještena je na uskom prostoru između ceste 1. maja za mjesto Hrastnik uz potok Boben i nekadašnjeg industrijskog željezničkog kolosjeka.

Postrojenje 110 kV normalne izvedbe, zbog skučenosti prostora, nalazi se u natkrivenom betonskom prostoru. Pomoću DV 110 kV za Trbovlje, Laško i Grabensko RTP Hrastnik vezana je aktivno na mrežu Slovenije. Pored 6 dalekovo- da 35 kV iz stanice Hrastnik izlazi 6 kabelskih izvoda nazivnog napona 20 kV za napajanje trafostanica 10/0,4 kV u mjestu Hrastniku.

Između rezultata mjerenja Elektroinstituta »Milan Vidmar« iz Ljubljane 1986. godine i naših mjerenja 1990. godine nema praktičnih razlika. Svi izmjereni rezultati su manji od maksimalno dozvoljenih vrijednosti.

– Ukupna impedancija uzemljivača	0,152 Ω
– Potencijal uzemljivača 100%	667,5 V
– Maksimalni naponi dodira: unutar ograde	48,7 V
izvan ograde	81,6 V
– Maksimalno iznešeni potencijal na TS 10/0,4 kV	183,0 V
– Napon dodira izvan postrojenja na ostalim objektima:	
– na TS 10/0,4 kV	max 81,2 V
– na privrednim objektima	max 32,5 V
– na stambenim objektima	max 24,4 V.

Opseg: 30 stranica teksta i 11 crteža.

Ispitivanje uzemljivača RTP 110/20 kV Žiri

Naručitelj: RO Elektroljubljana, Služba obratovanja, Tito-va 38, Ljubljana

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.
Ivan Konfic, el. tehn.
Dino Kučak, el. tehn.

Završeno u srpnju 1990.

Mjerenja na uzemljivaču RTP 110/20 kV Žiri provedeno je u lipnju 1990. godine. Transformatorska stanica smještena je nedaleko od zadnjih stambenih kuća u mjestu Žiri.

Energetski transformatori 110/20 kV smješteni su na otvorenom prostoru, a pomoću dalekovoda 110 kV Ajdovščina i Cerčno trafostanica je vezana na mrežu 110 kV Slovenije. Iz RTP žiri izlaze 3 kabela nazivnog napona 20 kV za napajanje TS 20/0,4 kV u samom mjestu. Preostalih 8 DV 20 kV koji izlaze iz stanice imaju do prvog stupa položen kabel 20 kV, nakon čega prelaze u nadzemni vod.

- mjerena je ukupna impedancija uzemljivača U-I metodom.
- mjeren je napon dodira unutar i izvan ograde stanice.
- mjereno je iznošenje potencijala putem plašteva kabela 20 kV.

Rezultati mjerenja na uzemljivaču Elektroinstituta »Milan Vidmar« iz Ljubljane 1984. godine i naša mjerenja 1990. godine praktično se ne razlikuju. Rezultati mjerenja zadovoljavaju tehničke propise za elektroenergetska postrojenja iznad 1 000 V.

Izmjerene su sljedeće važne vrijednosti:

– ukupna impedancija uzemljivača	0,258 Ω
– potencijal uzemljivača 100%	441 V
– napon dodira unutar ograde	max 1,7 V
– napon dodira izvan ograde	max 15,1 V
– izneseni potencijal u TS 20/0,4 kV	max 18,5 V.

Opseg: 29 stranica teksta i 11 crteža.

Laboratorijska ispitivanja prijenosnih ručnih alata s elektromotorima

Suradnici: Josip Kučak, dipl. inž.
Đuro Juretić, el. tehn.
Svetolik Subotić, inž.
Damir Sever, el. tehn.

Obavljena su tipska ispitivanja i kontrola usklađenosti s atestiranim tipom prema Naredbi objavljenoj u Sl. listu SFRJ br. 43/88 Saveznog zavoda za standardizaciju o obaveznom atestiranju prijenosnih alata s elektromotorima.

Konzalting-aktivnosti u izgradnji TE Plomin 2

Suradnici: Miroslav Blažičko, dipl. inž.
Srećko Bojić, dipl. inž.
mr. Boris Kalan, dipl. inž.
Dimitrije Avdejev, dipl. inž.
Josip Kučak, dipl. inž.
Hrvoje Bezlaj, dipl. inž.
Svetolik Subotić, inž.
Damir Sever, el. tehn.
Stjepan Zubić, el. tehn.

Preuzimanje opreme Prema QC planu u tvornicama proizvođača »Rade Končar« – Zagreb; »Rade Končar« – Sombor »Vemos« Zagreb, RK-INEM – Zagreb, RK-Sesvetski Kraljevec, »Rudis« – Trbovlje, »STT« – Trbovlje, »Energoinvest – Varnost« – Zagorje, »ESO« – Velenje, »Iskra« – Kranj i »Asea Brown Boveri« – Švicarska.

Nadzor nad kontrolom kvalitete izrade energetskog transformatora vlastite potrošnje NE Krško

Suradnici: Miroslav Blažičko, dipl. inž.
Josip Kučak, dipl. inž.
Hrvoje Bezlaj, dipl. inž.

Prema QC planu proveden je nadzor izrade energetskog transformatora u tvornici »RK — Transformatori«, vlastite potrošnje snage 30 MVA, napona 24/6,3 kV, uključivši puštanje u pogon u postrojenju NE Krško.

Oscilatorni sklopni naponi i rezonantni odziv transformatora u industrijskim razdjelnim mrežama

Naručitelj: TLM »B. Kidrič«, Šibenik, Centar za aluminijski

Autor: Ante Sekso, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1990.

U studiji su teorijski prikazane prijelazne pojave koje su u nas prvi put mjerno identificirane u mreži. Radi se o posebnoj vrsti sklopnih napona oscilatornog oblika, visokih frekvencija (u kilohercima) i relativno niskog prigušenja. Opisane su tipične mrežne konfiguracije koje u slučaju kvara ili sklapanja vode do takvih napona. Kada se frekvencija oscilatornih napona približi jednoj od vlastitih frekvencija transformatora, nastupaju uvjeti rezonancije koji dovode do znatnog pojačanja ulaznog napona na stezaljkama i prenaponske ugroženosti dijelova namotaja. Stoga je bitno poznavati vlastite i rezonantne frekvencije energetskih transformatora, kao i karakteristike mogućih oscilatornih napona iz mreže. Na osnovi toga moguće je organizirati efikasnu zaštitu namotaja transformatora od ovakve vrste prenaponskih napreznja, čemu je posvećeno posebno poglavlje studije.

Opseg: 36 stranica, 20 slika i 20 referenci.

Izveštaj o provedenoj kontroli kvalitete pri popravku i rekonstrukciji autotransformatora tip TRZx-30000-38 tv. br. 412754

Naručitelj: Tvornica aluminijska Ražine, Šibenik

Autori: Miroslav Blažičko, dipl. inž.
Ante Sekso, dipl. inž.

Završeno u veljači 1990.

U elaboratu je dan opsežan izvještaj o kontroli kvalitete prilikom popravka i rekonstrukcije autotransformatora grupe IV za napajanje elektrolize u Šibeniku. Dan je detaljan plan svih faza kontrole kvalitete s opsežnom dokumentacijom provedenih postupaka.

Posebno su detaljno dani rezultati ispitivanja transformatora repeticionim udarnim generatorom te izbor zaštite najugroženijeg dijela namotaja unutar njim ZnO odvodnicima, koji su prvi put primijenjeni na transformatorima nazivnog napona 30 kV. Također su detaljno prikazane ostale mjere rekonstrukcije, među kojima se ističe izvedba zvjezdišta na poklopac kotla i njegova zaštita vanjskim ZnO odvodnikom. Priloženi su svi važniji zapisnici u toku rada, fotodokumentacija i predložene mjere dodatnih ispitivanja za ostale jedinice ovog tipa.

Opseg: 75 stranica sa 7 tablica, 6 slika, 11 oscilograma, 11 fotografija i 11 referenci.

Istraživanja oscilatornih sklopnih napona u industrijskoj mreži 30 kV TLM — Šibenik — I. dio

Naručitelj: TLM »B. Kidrič«, Šibenik, Centar za aluminijski

Autori: Ante Sekso, dipl. inž.
mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž. i
mjerna ekipa

Završeno u listopadu 1990.

Mjerenjima u mreži 30 kV TLM — Šibenik potvrđene su teorijske pretpostavke iz prethodne studije, pa je prvi put u našim mrežama pronađen fenomen oscilatornih prenapona kod sklopnih operacija. Na izvedenom zvjezdištu autotransformatora TRZX za napajanje elektrolize utvrđena su rezonantna pojačanja zbog toga što se frekvencija ulaznih oscilatornih napona poklapa s jednom od utvrđenih vlastitih frekvencija namotaja autotransformatora, a koje su inače prethodno izmjerene niskonaponskom metodom (RUG i VF mjerenja).

Istraživanja u stvarnoj mreži imaju veliko značenje i zato što su dala niz podataka za provođenje efikasne zaštite od ovakvih prenapona. Dobiveni su podaci o frekvencijama, amplitudi i prugušenjima oscilatornih napona, o rezonantnim pojačanjima i utjecaju različitih zaštitnih sredstava na stezaljkama autotransformatora.

U ovom dijelu studije dani su najvažniji rezultati i komplet mjernih oscilograma, a detaljna analiza predmet je završnog dijela studije.

Opseg: 25 stranica sa 8 slika i komplet od 185 oscilograma.

Rješenje kompenzacije jalove energije u 10 kv postrojenju INA-DINA Petrokemija, Omišalj

Naručitelj: INA-DINA, Petrokemija, Omišalj

Autori: mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž.
mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.
Ante Sekso, dipl. inž.
mr. Velimir Ilijanić, dipl. inž.
Goran Jerbić, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1990.

U studiji je dana analiza kompenzacije jalove energije u mreži 10 kV Dine, Omišalj. Nakon analize elektroenergetskih podataka i postojeće mreže, kao i ekonomskih efekata kompenzacije dano je rješenje kompenzacije s uklopnim shemama. Na kraju je opisan utjecaj kompenzacije na siguran pogon postrojenja, kao i procjena ugroženosti opreme od prenapona kod provedbe kompenzacije. Predloženo je da se nakon provedbe kompenzacije ispituju sklopni naponi u tipičnim konfiguracijama i na svim važnim točkama u mreži.

Opseg: 45 stranica sa 4 tablice, 16 slika i 6 referenci.

Program i postupci utvrđivanja karakteristika izolatora za uvjete zagađenja

Naručitelj: Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd

Autori: Ante Sekso, dipl. inž.
Davorin Kremer, dipl. inž., Dalekovod

Završeno u veljači 1990.

Studija je radena kao podloga za program ispitivanja različitih izolacijskih konstrukcija što ga JUGEL planira provesti na tipičnim lokacijama u Jugoslaviji. U prvom poglavlju opisani su parametri zagađenja posebno primorskog tipa zagađenja i nekih industrijskih zagađenja u Hrvatskoj. U drugom poglavlju dan je izbor najinteresantnijih izolatorskih konstrukcija za planirana ispitivanja, a u posljednjem poglavlju opisane su metode, lokacije i program ispitivanja ponašanja odabranih tipova izolatora u prirodnim uvjetima.

Opseg: 25 stranica sa 4 tablice i 9 slika.

Program ispitivanja VN izolatora u uvjetima zagađenja u svrhu izbora najpovoljnijeg dizajna

Naručitelj: Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd

Autori: dr. Kemo Sokolija, dipl. inž., ETF — Sarajevo
mr. Petar Vukelja, dipl. inž., ETI »N. Tesla« — Beograd
Zoran Rimac, dipl. inž., IRCE — Energoinvest, Sarajevo
Ante Sekso, dipl. inž.

Izdavač: Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd

Završeno u srpnju 1990.

U radu je dan koncizan i precizan opis metoda usvojenih na nivou JUGEL-a za provedbu mjerenja na zagađenim izolatorima na osam odabranih lokacija u čitavoj zemlji. Opisane su metode površinske vodljivosti, ekvivalentne gustoće starog sloja ESDD i maksimalne klizne struje I_{max} . Specificirane su ispitne stanice i točan broj i vrste izolatora za svaku ispitnu stanicu. Na kraju su dane upute za organizaciju i provedbu mjerenja usvojenom metodologijom.

Opseg: 10 stranica sa 3 slike i 2 tablice.

Metodologija istraživanja zagađenja i zaštite vanjske izolacije elektroenergetskih objekata

Izdavač: Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd

Autori: Ante Sekso, dipl. inž.
Zoran Rimac, dipl. inž., IRCE — Energoinvest, Sarajevo

Izdano u rujnu 1990.

Zajednica jugoslovenske elektroprivrede izdala je za veći broj korisnika publikaciju o problematici zagađenja v.n. izolacije pod sličnim naslovom kao što je imala studija istih autora iz 1985. godine. Tekst iz studije je u nekim dijelovima proširen, korigiran i grafički bolje opremljen. Uz dodatak nekih priloga nastala je ova publikacija, odnosno knjiga.

Opsežna tema zagađenja izolacije obrađena je u 10 poglavlja, od kojih posebno ističemo poglavlja o ispitivanju izolacije u prirodi i laboratoriju, te detaljan opis brojnih mjera za zaštitu ugrožene izolacije. Zbog nemogućnosti izdavača ni u ovoj knjizi (kao ni u prethodnoj studiji) nažalost nisu detaljnije obrađeni postupci za adekvatan izbor izolacije za ugoržene zone. Međutim, ovdje je prvi put dana karta zona ugroženih različitim tipovima zagađenja za čitavu Jugoslaviju. Niz praktičnih uputa korisno će poslužiti svima koji se susreću s ovom problematikom u radu vodova i postrojenja visokih napona.

Opseg: 250 stranica sa 15 tablica, 55 slika i 88 referenci.

Stanje zagađenosti izolacije elektroenergetskih objekata u Jugoslaviji

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Jugoslavije

Autori: Srećko Stojanović, dipl. inž.
Ante Sekso, dipl. inž.
Zoran Rimac, dipl. inž.
i dr. članovi Radne grupe JUGEL-a

Izdano u veljači 1990.

Radna grupa JUGEL-a za rad izolacije u zagađenim uvjetima izdala je ovaj rad da posluži inozemnim proizvođačima izolatora za prezentiranje osnovnih parametara različitih tipova zagađenja u Jugoslaviji. Naglasak je na primorskom tipu zagađenja i na nekim najizrazitijim industrijskim vrstama zagađenja, uz podatke o kemijskom sastavu stranih slojeva. Također je dana karta različitih tipova zagađenja nacrtana na podlozi od mreže 400 kV. Rad je preveden na strane jezike radi dostave inozemnim proizvođačima izolatora.

Opseg: 25 stranica sa 6 slika i 11 tablica.

Komentari pitanja vezanih za koordinaciju izolacije postrojenja 400 kV TE Tuzla VI

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autor: Ante Sekso, dipl. inž.

Završeno u travnju 1990.

U radu se daje osvrt na analizu izbora i koordinacije izolacije firme SGI (Švicarska) provedene za postrojenje 400 kV Tuzla VI. Obradeno je pitanje izbora izolacijskih nivoa (puni ili sniženi) u svjetlu naših novih istraživanja, zatim pitanja izbora zaštitnih prenaponskih uređaja, pitanja izbora izolacije s obzirom na lokalne uvjete zagađenja atmosfere, te naknadno pregled prenaponske ugroženosti generatorskog namotaja.

Opseg: 10 stranica sa 4 slike.

Konzalting-aktivnosti u izgradnji TE Plomin 2 — MRU oprema

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda — Izgradnja 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 projekta za dobivanje građevinske dozvole za sisteme MRU-a.

Također, na području QA/QC komentirani su i odobravani pojedini planovi kontrole kvalitete i u skladu s njima preuzimana je oprema od pojedinih isporučilaca.

Inspeksijski nadzor u toku remonta '90 NE Krško na I&C opremi

Naručitelj: NE Krško

Suradnici: Dimitrije Avdejev, dipl. inž.
mr. Boris Kalan, dipl. inž.

U toku remonta NE Krško 1990. godine obavljen je inspeksijski nadzor nad aktivnostima remonta opreme i sistema mjerenja, regulacije i upravljanja u skladu s programom remontnih aktivnosti.

Pracena 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.

IN MEMORIAM



U nedjelju 30. lipnja poslijepodne prestalo je kucati srce svima nama poznatog, cijjenjenog i dragog čovjeka, profesora Požara. Iako smo znali za opaku bolest, do kraja smo vjerovali da će snažan duh i jaka volja profesora Požara nadvladati njegovu bolest i da će se vratiti među nas. Napustio nas je naš »profesor«, kako smo ga zvali, ali

ostalo je njegovo djelo, koje će nas trajno podsjećati na njega.

Profesor Požar rođen je u Kninu 1916. godine. Srednju školu polazio je u Kninu, Šibeniku i Zagrebu, a Tehnički fakultet (strojarski odjel, elektrotehnički smjer) završio je u Zagrebu 1939 godine. Od 1941. godine radio je u Kombinat u Borovo kao rukovodilac električne i parne mreže, a zatim kao rukovodilac elektrane.

Od 1946. godine prešao je u elektroprivredu, gdje je do 1949. godine radio u elektroprivrednim poduzećima u Splitu kao v. d. tehničkog direktora pogona hidroelektrana u Dalmaciji te kao savezni dispečer za električnu energiju u Dalmaciji. U travnju 1949. godine premješten je u Zagreb, u Generalnu direkciju za elektroprivredu Hrvatske na dužnost glavnoga elektroenergetskog dispečera za Hrvatsku.

Prvih desetak radnih godina profesora Požara, kao da su bili priprema za njegovo glavno životno opredjeljenje za njegov nastavnički i znanstveni rad. Godine 1950. izabran je za honorarnog nastavnika na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, koji postaje matična kuća u njegovu dugogodišnjem nastavničkom radu. Dvije godine kasnije podvrgava se habilitacijskom postupku iz znanstvenog područja proizvodnje električne energije, na osnovi kojega je izabran za privatnog docenta. Za sveučilišnog je docenta izabran 1953. godine, a 1955. godine obranio je doktorsku disertaciju s naslovom »Izbor veličine izgradnje hidroelektrana«. Dvije godine kasnije, 1957. godine, izabran je za izvanrednog profesora, a 1961. godine za redovnog profesora na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Na tom je fakultetu djelovao kao profesor, gotovo do posljednjeg dana svog života, i nemoguće je nabrojiti sve što je ostvario kao profesor na redovnom studiju, predavač na postdiplomskom, te kao voditelj magistrskih radova i doktorskih disertacija.

Za profesora Požara može se reći da je našao idealnu ravnotežu između svog nastavničkog i znanstvenog rada. Njegov je nastavnički rad bio vezan za Elektrotehnički fakultet, a od 1951. godine znanstveno je djelovao u Institutu za elektroprivredu. Iako je bio jedan od utemeljitelja Instituta za elektroprivredu te dugogodišnji rukovoditelj Studijske jedinice za elektroenergetske sisteme, nikada nije bio u radnom odnosu u Institutu. Međutim, Institut je s pravom smatran njegovom kućom, pa se u stručnoj i znanstvenoj javnosti njegovo ime najčešće povezivalo upravo s Institutom za elektroprivredu.

Znanstveni i nastavnički rad profesora Požara potvrđen je 1965. godine izborom za dopisnoga, a 1975. godine za redovnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti.

Radni potencijal profesora Požara bio je velik, vjerojatno i neponovljiv. Rad na fakultetu i u Institutu bio je samo dio njegovih radnih aktivnosti. Naime kao glavni tajnik Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti te kao glavni urednik Tehničke enciklopedije ostvario je vrijedan doprinos znanosti i kulturi hrvatskog naroda.

Teško je nabrojiti sve što je profesor Požar ostvario u svojoj opsežnoj i dugogodišnjoj karijeri. Njegovi radovi i knjige bile su i ostat će osnovni udžbenici iz kojih generacije studenata, postdiplomata i inženjera crpe znanja za svoj rad. Profesor Požar utemeljitelj je »zagrebačke škole energetike«, koja je bila i koja će, nadamo se, ostati vodeći stručni autoritet u području energetike na svim prostorima.

Profesora Požara upoznao sam prije dvadesetak godina i otada sam imao priliku i sreću da se, radeći kao suradnik u Institutu za elektroprivredu te kao asistent na Elektrotehničkom fakultetu, družim s tim velikim čovjekom. Nije bilo lako slijediti tempo rada koji je sebi i drugima nametao. Sa sigurnošću mogu reći da je profesor bio jedan od malobrojnih ljudi koji je u radu i stvaranju nalazio potpuno zadovoljstvo. Njegov radni stol u dnevnoj sobi, hrpa knjiga i papira vječno upaljena cigareta ostat će trajna slika čovjeka koji je bio zaljubljen u svoj poziv, a istodobno i krajnje odgovoran prema svima koji su od njega očekivali pomoć stručne konzultacije, vođenje magistarskog rada ili doktorske disertacije, ili pak ocjenu svog rada. Za one koji su s njim surađivali nije bilo ni malo iznenađujuće kad bi ih u nedjelju, na blagdan ili Staru godinu nazvao i zamolio da mu nešto dodatno obrade, izračunaju ili donesu neku knjigu ili časopis. Njegov istraživački duh nikad nije bio zadovoljan urađenim i uvijek je želio više i više.

Opraštamo se od velikog čovjeka, za kojega se može reći da je radio da bi živio i da je živio da bi radio. Cijeli njegov život veliko je djelo koje je trajalo dulje od 50 godina. U tom razdoblju nikada nije gubio zanimanje za novo, za novu ideju i novo istraživanje. Prije petnaestak dana sjedio sam u njegovoj bolničkoj sobi. Nakon političkih tema razgovor je ubrzo skrenuo na studiju koju sada radim. Još prije dva mjeseca ponudio mi je svoju pomoć ako mi ustreba, pa ga je zanimalo kako napredujem i kakvi su rezultati. Bolest ga nije mogla odvojiti od njegove energetike, kojoj je posvetio život.

Na kraju mi dopustite da uputim jedno veliko »hvala« profesoru Požaru za sve ono što je napravio i što je tijekom svoje dugogodišnje znanstvene i nastavničke karijere ostavio iza sebe. Pamtit ćemo našeg profesora kao izuzetnog čovjeka, blagog i postojanog, koji svoja životna opredjeljenja nikada nije žrtvovao za brze probitke. Izabrao je put rada, i zbog toga mu hvala.

Zadržimo uspomenu na tog dragog čovjeka. I neka svatko od nas na svoj način molitvom, člankom, knjigom ili na bilo koji način pridoneše očuvanju uspomene na njegovo djelo. Neka mu je vječna slava.

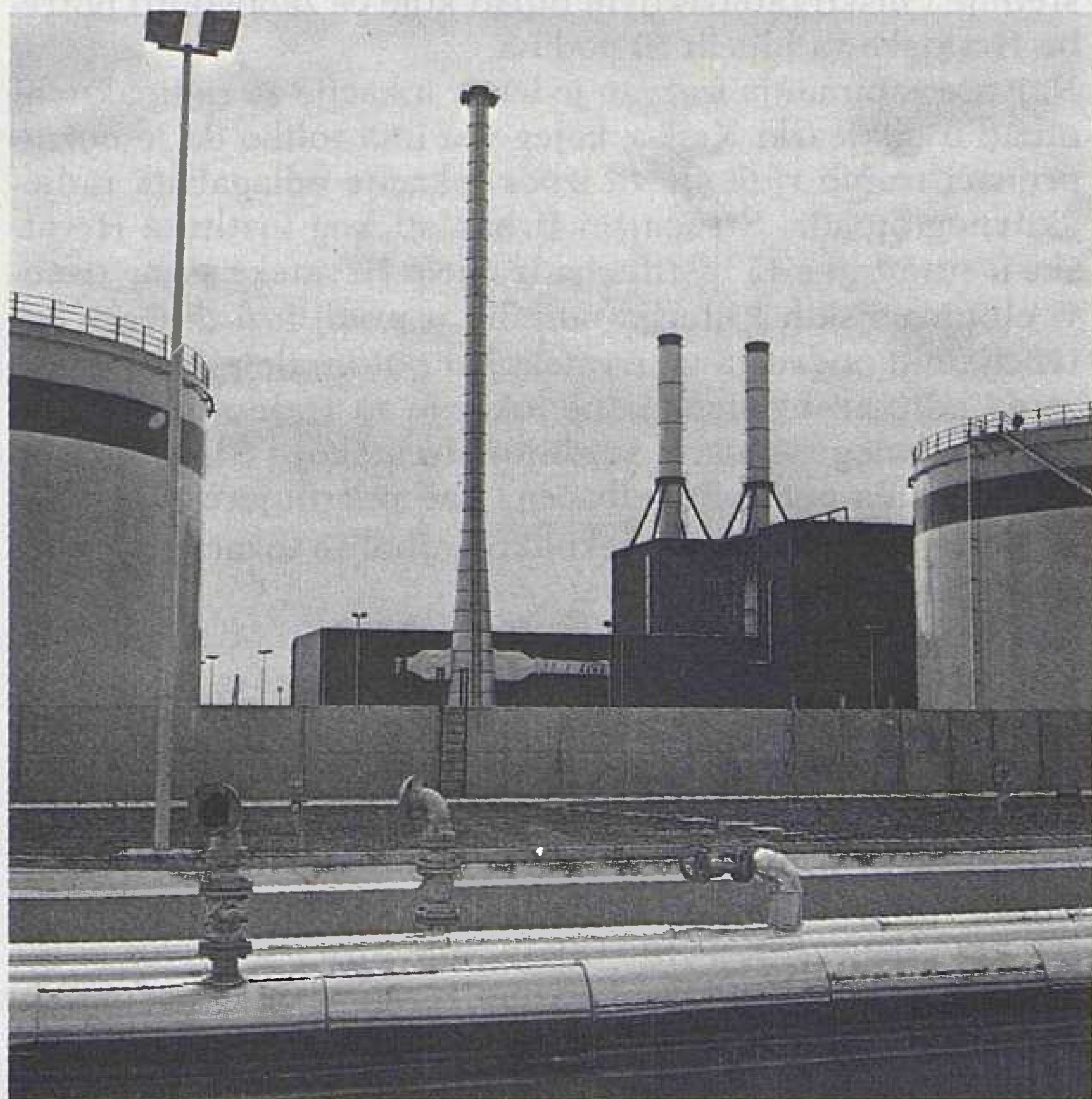
Dr. Goran Granić

PLAN REMONTA ELEKTRANA 1991.

Utvrđen je plan remonta u 1991. godini u Hrvatskoj i planirani remont elektrana treba smatrati samo kao orijentacijski. To znači da se predviđeni termini tijekom godine mogu mijenjati ovisno o elektroenergetskim prilikama.

Orijentacijski plan remonta hidroelektrana:

- HE Senj prekid rada od 2. rujna do 30. listopada zbog sanacije Gusić Polja i remonta triju agregata.
- HE Vinodol prekid u mjesecu kolovozu zbog radova na novom priključku cjevovoda crpne stanice Lič na cjevovod Bajer — Razomir. Uz radove na priključku cjevovoda obaviti će se i redovni sanacijski i remontni radovi na dovodu.
- CHE Fužine od 1. do 30. kolovoza redovni godišnji remont na hidromehaničkoj i elektro opremi.
- HE Rijeka u srpnju godišnji remont agregat po agregat.
- HE Peruća revizija agregata i redovna revizija opreme, zamjena vodećih ležišta statorskih lopatica turbina i uklanjanje eventualnih oštećenja od kavitacije. U razdoblju od rujna do 31. listopada generalni remont servo-motora na AG 2. U HE Zakučac plan remonta 4 AG u lipnju i srpnju. Pregled »desnog« tunela kad su izvan pogona AG1 i AG2, te lijevog tunela kada su izvan pogona AG3 i AG4.



Pogled na PTE Osijek

- RHE Obrovac potpuni prekid od 1. do 31. srpnja, revizija turbinske opreme, generatora uključujući zaštitu i automatiku.
- HE Manojlovac redovna godišnja revizija četiri AG od 20. lipnja do 15 listopada. Na svim agregatima obavila bi se redovna godišnja revizija s tim da bi na AG1 obavio i remont turbinskog generatora.
- HE Đale planirana je revizija agregata AG1 i AG2 od 15. lipnja do 30. srpnja.

- U dravskim hidroelektranama Varaždin i Čakovec izvršen je planirani remont oba agregata u veljači i ožujku ove godine.
- HE Gojak potpuna obustava elektrane u mjesecu kolovozu zbog redovnog godišnjeg pregleda i radova na antikorozivnoj zaštiti hidromehaničke opreme. U HE Dubrovnik u srpnju će početi radovi u dovodnom tunelu koji će trajati 45 dana.

Plan remonta termoelektrana:

- U TE Sisak na bloku 1 izvršit će se revitalizacija ogrijevnih površina kotla. Blok 2 od 1. rujna do 15. listopada, dakle (45 dana) trajat će redovni godišnji remont i radovi na smanjenju tehničkog minimuma.
- TE-TO Zagreb godišnji remont na TA1, TA2 i TA3. Predviđen je završetak godišnjeg remonta do početka listopada. U EL-TO Zagreb krajem rujna planiran je remont TA4 i TA5 i sanacija bloka.
- U TE-TO Osijek, remont će se obaviti u rujnu.
- U NE Krško, u 1991. godini nije planiran remont. Moguć je prekid rada oko 15 dana u slučaju da se ukaže potreba za radovima na održavanju nekih dijelova.
- Remont objekata izgrađenih u drugim republikama za potrebe Hrvatske obaviti će se u ljetnim mjesecima. To se odnosi na TE Tuzla, TE Kakanj, TE Gacko i TE Obrenovac.

I. R.

PROIZVODNJA NAFTE U ČETIRI OVOGODIŠNJA MJESECA

U razdoblju siječanj — travanj 1991. godine INA je ostvarila proizvodnju od 834,6 tisuća tona nafte i kondenzata s domaćih izvora i jedan dio iz Angole.

Plan za ovo razdoblje time je ispunjen 99 posto.

Proizvodnja plina u ovom razdoblju bila je vrlo dobra zahvaljujući prebačaju plinskih polja Molve, Kalinovac i Stari Gradac i ukupno iznosi od 686,4 milijuna m³, što je tri posto iznad plana. Proizvodnja nafte u Angoli u kojoj sudjeluju i stručne ekipe INE s inozemnim partnerima u početku ove godine vrlo je uspješna.

U prvom tromjesječju ove godine INA je već preuzela tanker od 85 tisuća tona nafte kao svoj dio od zajedničke nafte u Angoli. Sljedeći tanker od 80 tisuća tona dolazi u kolovozu a ostalih 60 tisuća tona INA će preuzeti u prosincu ove godine.

Treba istaknuti da se na bloku 3 u Angoli nastavljaju planirana istraživanja s talijanskim partnerom AGIP kojim su obuhvaćene četiri bušotine. Na bloku 1 priprema se povećanje proizvodnje tako da se već u rujnu ove godine može očekivati proizvodnja na tom bloku.

I. R.

MOGUĆNOSTI DALJNJEG ENERGETSKOG KORIŠTENJA VODA RIJEKA LIKE I GACKE

Prema ocjenama stručnjaka Hrvatske elektroprivrede utvrđeno je da energetska-ekonomsko korištenje voda rijeka Like i Gacke nije u potpunosti iskorišteno. Završena je studija kompleksnog korištenja tih voda, te dokazane vodod-

rživosti velike akumulacije Kosinj. Potvrđene su visoke energetske-ekonomske vrijednosti ukupnog pothvata i pristupilo se izradi idejnog projekta prihvaćenog rješenja. Idejnim rješenjem kojeg su izradili stručnjaci »Elektroprojekta« Zagreb predviđena je izgradnja akumulacijskog jezera Kosinj s hidroelektranama Kosinj i Otočac.

Prikaz energetskeg sustava Lika — Gacka

Od 1965. godine hidroenergetski potencijal voda rijeka Like i Gacke koristi se u HE Senj s 2 agregata — 2×72 MW — da bi sljedeće 1966. godine bio pušten u pogon i treći. Ukupna, dakle, instalirana snaga HE Senj iznosila bi $3 \times 72 = 216$ MW.

Današnje stanje izgradnje hidroenergetskog sustava Lika — Gacka sastoji se od sljedećih objekata: akumulacijskog bazena Kruščica, HE Sklope (22,5 MW), tunela Lika — Gacka dužine 10.477 metara, tunela Gornja Švica — Gusić Polje dužine 9.195 metara, kompenzacijskog bazena Gusić Polje, tunela Gusić Polje — Hrmatine dužine 13.577 metara, vodne komore Hrmatine, zasunske komore Hrmatine, tlačnog cjevovoda dužine 614 metara i strojarnice s tri agregata i odvodnog tunela.

Buduća izgradnja

Pod budućim stanjem izgradnje hidroenergetskog sustava Lika — Gacka razumijeva se izgradnja akumulacijskog bazena Kosinj, odnosno izgradnja brane Kosinj, hidroelektrane Kosinj i hidroelektrane Otočac. Inače, hidroenergetski sustav Lika — Gacka s ovim nije u cijelosti izgrađen, jer prema nekim studijama i analizama postoji mogućnost izgradnje HE Senj 2, što zahtijeva prokopavanje paralelnog tunela Gusić Polje — Hrmatine, te izrada novog cjevovoda kao i strojarnice.

Tehnički podaci za izradu glavnih objekata prema koncepcijskom rješenju HE Kosinj će imati tri agregata, ukupna snaga 45 MW, moguće godišnje proizvodnje od 76,0 GWh električne energije. HE Otočac locirana nizvodno od HE Kosinj s 2 agregata $2 \times 12,8 = 25,6$ MW, imat će godišnju proizvodnju od 63,7 GWh.

I. R.

SURADNJA »RADE KONČARA« S RUDOKOPOM KREKA

Poduzeće »Rade Končar« iz Zagreba ponudilo je rudokopu Kreka gradnju nove tvornice za proizvodnju strojeva za pranje rublja. Glavno postrojenje bilo bi locirano u krugu rudokopa Lipnica kod Tuzle, gdje će prestati eksploatacija ugljena.

Potrebna investicijska sredstva za kompletnu izgradnju iznose oko 546 milijuna dinara. Postojećim objektima infrastruktura Kreka osigurava 40 posto ukupne vrijednosti investicija, a poduzeće »Rade Končar« ulaže 30 posto. Ostali dio investicija koristit će se kreditima isporučioća opreme i banaka.

Glavni isporučioći opreme su domaći proizvođači, a samo je manji dio iz uvoza.

Proizvodni kapacitet planiran je 150 tisuća strojeva za pranje rublja godišnje, čija je vrijednost 40 do 45 milijuna dinara, a zaposlilo bi se oko 400 radnika iz Kreke.

Buduća tvornica poslovala bi u sastavu »Rade Končar«, koji je glavni organizator proizvodnje i plasmana proizvoda na domaćem i stranom tržištu.

I. R.

POVEĆANJE PRIJEVOZA NAFTE NAŠIM NAFTOVODOM

Ovogodišnji plan prijevoza Jugoslavenskim naftovodom preko terminala Omišalj iznosit će oko 11,8 milijuna tona sirove nafte. Količina od 9,3 milijuna tona koristit će naših pet rafinerija, a ostatak je predviđen za mađarske, češke i slovačke rafinerije.

U 1991. godini procjenjuju se troškovi naftovoda u iznosu od 1,8 milijardi dinara. Najveći dio 805 milijuna otpada na amortizacijske troškove. Za troškove kamata na investicijske kredite trebat će uplatiti 337 milijuna dinara. Od amortizacije planirano je otplaćivati glavnice investicijskih kredita, a financirat će se i nove investicije.

Od većih investicija u ovoj godini treba navesti izgradnju novog rezervoarskog prostora, veličine 80 tisuća četvornih metara, koje će izgraditi zagrebačko poduzeće »Montmontaža«. Investicije za ovaj objekt iznose 83 milijuna dinara, a lociran je na terminalu kod Omišlja.

I. R.

LOKACIJA ZA ODLAGALIŠTE RADIOAKTIVNOG OTPADA U HRVATSKOJ

O kriterijima za izbor lokacije za odlagalište radioaktivnog otpada u Hrvatskoj nedavno je raspravljala radna grupa Vlade Hrvatske sastavljena od predstavnika desetak ministarstava. Predviđeno je da se izaberu lokacije odlagališta za srednje i nisko radioaktivni otpad koje će zadovoljiti potrebe Hrvatske za idućih 50 godina.

Najveće zanimanje izazvao je izbor lokacije za radioaktivni otpad u nuklearki Krško, kojeg već ima toliko da je nužno pronaći trajno rješenje za izbor lokacije odlagališta radioaktivnog otpada. Stručnjaci Urbanističkog instituta Hrvatske u suradnji s 15 institucija iz cijele Hrvatske su na osnovi eliminacijskih kriterija odredili u prvoj fazi desetak potencijalnih područja u Hrvatskoj, a potom detaljnim analizama odredili i potencijalne lokacije za trajno odlagalište radioaktivnog otpada u srednjoj Hrvatskoj i Slavoniji, pošto su ostala područja odbačena kao neprimjerena.

Pošto se uskoro izabere nekoliko najboljih lokacija, organizirat će se stručne rasprave.

Ako Vlada i Sabor Republike Hrvatske daju odobrenje, lokacije će se nakon javne rasprave ucrtati u već usvojeni prostorni plan Hrvatske. Uslijedila bi temeljita terenska istraživanja kako bi se do 1993. godine izabrala i najbolja lokacija i u dogovoru sa Slovenijom odlučilo hoće li svaka republika graditi svoje odlagalište ili će se na osnovi investicijskog programa izabrati samo jedna — najbolja. Javnost će biti potanko upoznata sa svim fazama toga osjetljivog posla kako se ne bi pojavili nesporazumi. Ovaj posao moraju verificirati i stručnjaci Međunarodne agencije za atomsku energiju iz Beča.

I. R.

REZULTATI OSTVARENJA ELEKTROENERGETSKE BILANCE HRVATSKE U 1990. GODINI

U vezi s planom potrošnje, proizvodnje i nabave električne energije za 1990. godinu na mreži prijenosa ostvareni su sljedeći rezultati:

			GWh
Potrebe električne energije	Plan	Ostvar.	Postotak
Potrošači distribucije	11 770	11 593,6	98,5
Direktni potrošači	1 156	978,2	84,6
Specijalni potrošači	1 940	1 724,3	88,9
Gubici prijenosa	528	453,3	85,9
Ukupna potrošnja	15 394	14 749,4	95,8
Vraćanje duga iz 1989.	180	259,6	144,2
Ukupne potrebe	15 574	15 009,0	96,4
Raspoloživa električna energija			
Proizvodnja HE	5 692	3 653,9	64,3
Proizvodnja TE na ugljen	306	502,2	164,1
Proizvodnja toplana	626	478,2	76,4
TE na tekuće gorivo i koksni plin	2 152	2 866,1	133,2
NE Krško, ZEOH	2 051	2 191,4	106,8
TE plinske	0	259,6	—
TE u drugim republikama	3 465	3 312,6	95,6
Vraćanje duga iz 1989.	0	259,6	—
Dodatna nabava u zemlji	0	615,4	—
Dodatna nabava u inozemstvu	0	945,9	—
Ukupno raspoloživo	14 292	15 009,9	105,6
Nepodmirene potrebe	1 282	0,0	0,0

Osvrt na elektroenergetske prilike u 1990. godini

Ukupna potrošnja električne energije ostvarena je sa 95,8 posto planiranih potreba. Potrošači Distribucije ostvarili su plan potreba na mreži prijenosa sa 98,5 posto, direktni potrošači sa 84,6 posto i specijalni sa 88,9 posto. Ostvarenje gubitaka na mreži prijenosa bilo je za 14,1 posto manje od plana. U usporedbi sa 1989. godinom ostvarenje ukupne potrošnje električne energije u 1990. godini bilo je za 1,3 posto manje.

Primijenjena su ograničenja u isporuci električne energije specijalnim potrošačima prema članu 23. i 24. Tarifnog sistema za prodaju električne energije.

Specijalni potrošač »Dalmacija« Dugi Rāt i TEF Šibenik ostvarili su zadana ograničenja smanjenom potrošnjom, a TA Ražine je ograničenje provela kupnjom električne energije u iznosu od 98,8 GWh u zemlji. Ostvarena je ukupna potrošnja električne energije na mreži prijenosa za 644,6 GWh niža od plana, većim dijelom zahvaljujući toplijim zimskim mjesecima u kojima su odstupanja od plana potreba bila izraženija. U prva tri mjeseca 1990. godine bili smo suočeni s izrazito praznim akumulacijama, vrlo lošim hidrološkim

prilikama (energetska vrijednost dotoka za to razdoblje ostvarena je samo sa 30,8 posto očekivane ili apsolutno za 1 245 GWh manje od plana), neprekidnim radom termoelektrana (u veljači kvar TE Rijeka), kao i najavom prekida isporuke električne energije iz drugih sustava zbog neplaćanja.

Ukupna energetska vrijednost dotoka vode na hidroelektrane ostvarena u 1990. godini iznosi 4 075,9 GWh, što je za 1 616,1 GWh manje od očekivane, odnosno samo sa 71,6 posto.

Izuzetno nepovoljne hidrološke prilike u prvih deset mjeseci, u kojima je ostvarenje energetske vrijednosti dotoka samo 57,0 posto od očekivanog, odrazile su se na podbačaj planirane proizvodnje hidroelektrana koje su u 1990. godini proizvele samo 3 653,9 GWh, odnosno 2 038,1 GWh manje od plana.

Zbog financijskih poteškoća smanjene su isporuke električne energije iz TE Tuzla, TE Kakanj i TE Gacko ukupno 152,7 GWh.

Manja proizvodnja hidroelektrana i smanjene isporuke električne energije iz TE Tuzla, TE Kakanj i TE Gacko, kod niže potrošnje električne energije od planirane, zamijenjene su skupljom proizvodnjom vlastitih termoelektrana i dodatnom nabavom električne energije u zemlji i iz inozemstva, kao i posudbom električne energije iz Italije.

Kupnja električne energije u 1990. godini iznosila je 1 746,7 GWh, i to u zemlji 581,3 GWh, a iz inozemstva 1 165,4 GWh.

U prvom polugodištu vraćen je ukupan dug električne energije Italiji iz 1989. godine u iznosu 259,6 GWh.

Potkraj godine, u zadnja dva mjeseca, bogatije hidrološke prilike na slivovima utjecale su na zadovoljavajuće stanje akumulacija na kraju godine u iznosu od 679,5 GWh ili 7,5 posto iznad plana.

Zalihe loživog ulja iznosile su 94,5 posto planiranih, odnosno 108 671 tona. Zalihe kamenog ugljena na deponiju TE Plomin ostvarene su potkraj godine u iznosu 174 943 tone, što je za 62,1 posto iznad plana.

U ovako složenoj elektroenergetskoj i financijskoj situaciji uloženi su posebni napor u Hrvatskoj elektroprivredi da bi se osigurala pogonska raspoloživost objekata proizvodnje i prijenosa, osobito termoelektrana, kako se ne bi bitnije ugrozila sigurnost opskrbe potrošača električne energije u Republici.

Vođenom elektroenergetskom politikom u otežanim prilikama osigurani su nužni uvjeti za stabilan rad elektroenergetskog sustava i urednu opskrbu potrošača električnom energijom.

Ukupne isporuke električne energije potrošačima na mreži prijenosa u 1990. godini ostvarene su bez ograničenja.

I. R.

ISPRAVAK

U prošlom broju Energije (3/1991) u rubrici Obavijesti proizvođača, na str. 192. pod naslovom Rekonstrukcija TS 110/20 kV Matulji, naveden je pogrešan datum rekonstrukcije i proširenja TS Matulji.

Budući da je Brodomaterijalu kao investitoru i Rade Končaru kao najznačajnijem isporučitelju opreme točan datum rekonstrukcije važan podatak, navodimo da su **radovi na rekonstrukciji i proširenju TS Matulji počeli u listopadu 1990, a završili u lipnju 1991. god. Tehnički prijem obavljen je 11. i 12. lipnja 1991.**

U ime autora ispričavamo se Brodomaterijalu i Rade Končaru zbog pogrešne informacije.

Uredništvo

OPSKRBA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM PODRUČJA BIVŠE DR NJEMAČKE

Opskrba električnom energijom područja bivše DR Njemačke vrlo je nepovoljna s ekonomskog i ekološkog gledišta. Glavni su problemi:

- visoka ovisnost proizvodnje električne energije o smeđem ugljenu
- loše tehničko stanje elektrana i opreme
- visoko subvencioniran potrošak za domaćinstva i obrt.

Iz smeđeg se ugljena proizvodi 86% električne energije, pa tako velika ovisnost o jednom energentu doprinosi nesigurnosti. U prošlosti se događalo, u jakoj zimi, da se moralo prići redukcijama, jer se smeđi ugljen, bogat vodom, smrznuo. Osim toga, sredstva za vađenje ugljena i transport u lošem su tehničkom stanju. Bruto-proizvodnja električne energije u 1989. bila je kako slijedi:

Energent	TWh	%
voda	1,5	1,3
nuklearna	12,3	10,3
smeđi ugljen	102,4	86,1
kameni ugljen	0,1	0,1
nafta	0,5	0,4
plin i ostalo	2,0	1,7
Ukupno	118,8	100,0

Od ukupno iskopanog ugljena 62% troše termoelektre. One nemaju uređaje za odsumporavanje, i filtri za prašinu prilično su neefikasni. Posljedica toga je vrlo veliko onečišćenje zraka.

Srednji faktor iskorištenja termoelektrana u bivšoj DR Njemačkoj samo je 23%. Vlastiti potrošci su veliki i kreću se od 8 do 10% prema 6,7% u bivšoj SR Njemačkoj. Saniranje termoelektrana predstavlja golemi trošak. Ocjenjuje se da bi samo za uređaje za zaštitu okoliša trebalo utrošiti 10 do 12 milijardi DEM.

Nuklearne elektrane, ukupne snage oko 1,8 GW, ne zadovoljavaju sigurnosne standarde Zapadne Evrope. Tri od četiri reaktora snage 440 MW u Lubminu kod Greifswalda ugašena su zbog sigurnosti polovicom, a četvrti krajem 1990.

Peti je blok pušten u probni pogon 1989, a tri daljnja bloka na istoj lokaciji još se grade. Kod mjesta Stendala u gradnji su još od sedamdesetih godina dva bloka po 1 000 MW. Za sve se blokove ispituje da li je ekonomski i tehnički opravdano da se opreme dodatnom opremom prema zapadnim tehničkim normativima. Nastoji se, međutim, da se ti nuklearni blokovi što prije likvidiraju. Nadoknada bi mogla doći samo sa zapadnog dijela Njemačke, za sada samo jednim dalekovodom, a još dva su u planu od 1992. Poteškoća dobave električne energije sa zapada postoji još i u tome što ta dva sistema, zbog različito reguliranih frekvencija, ne mogu raditi paralelno. Preostaje samo mogućnost otočnog pogona. Ujednačenje frekvencije nije moguće prije 1992. No bez obzira na rečene poteškoće, ide se za tim da se omogući istočnom dijelu da sam pokriva svoje potrebe električne energije. Ne izgleda da će biti moguće potpuno odustati od nuklearnih izvora. Treba obustaviti nerentabilne elektrane na smeđi ugljen i orijentirati se na kameni ugljen i plin. U planu su tri elektrane na kementi ugljen snage po 500 MW. Potrošnja električne energije na istoku znatno je pala zbog

smanjenja pučanstva i pada proizvodnje, no vjeruje se da će uskoro opet porasti. Cijena kWh u domaćinstvu osjetno je subvencionirana. Stvarni troškovi iznose 0,24 DEM, a prodajna je cijena 0,08 DEM. U 1991. ta će se povlastica ukinuti, što će sigurno djelovati na smanjenje potrošnje, premda je već sada srednja godišnja potrošnja električne energije u domaćinstvima istoka bitno manja od one na zapadu zemlje. Slično vrijedi i za industriju, no zatim se očekuje oporavak i ponovno rast potrošnje.

Mnogi su naponi potrebni da na području bivše DR Njemačke bude opskrba električnom energijom sigurna, ekonomična i čista. Osobito se računa na pomoć zapadnonjemačke elektroprivrede, i to ne samo u kapitalu već i u modernoj tehnologiji. Računa se da bi nužna ulaganja u elektroprivredu istoka za vrijeme od sljedećih 5 godina, trebala iznositi 30 do 40 milijardi DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 90 (1991), br. 1/2

Mrk.

STOPIRANA GRADNJA NUKLEARNIH ELEKTRANA U SSSR-u

Sovjetski Savez zaustavio je gradnju triju nuklearnih elektrana. Također je prekinuto traženje lokacija za nove. Prekinuta je gradnja u Nižnjem Novgorodu, Rostovu i Zaporozju, premda je gradnja nuklearki već bila pred završetkom. Glavni je razlog obustave veliki pritisak javnosti poslije katastrofe u Černobilu. Naprotiv, gradovi Murmansk, Voronjež, Čeljabinsk i Kursk odlučili su da grade nove nuklearke ukupne instalirane snage 7 000 MW. Nuklearna elektrana u Čukotki proširit će se još jednim reaktorskim blokom. Danas SSSR ima 15 nuklearki ukupne instalirane snage 37 060 MW.

ETZ, god. 112 (1991), br. 2

Mrk.

TOPLINSKE PUMPE ZA HLADNE KRAJEVE

U kolovozu prošle godine sastalo se u mjestu Monetonu u Kanadi više od 100 znanstvenika i stručnjaka da raspravljaju o primjeni toplinskih pumpi u područjima umjerene i hladne klime. Raspravljano je o mogućnosti upotrebe uobičajenog tipa toplinske pumpe, s vanjskim zrakom kao izvorom topline, u hladnim zonama, njihovoj optimizaciji i dodatnom grijanju pri vrlo niskim temperaturama. Pritom su osnovne pretpostavke bile da se koristi pogonsko sredstvo koje je ekološki i termodinamički najpogodnije u primjeni kompresora s reguliranjem brzine.

Termo pumpe nove generacije koje su već u prodaji u Japanu i SAD imaju malo zajedničkoga s takvim strojevima iz sedamdesetih godina. Odlučan korak naprijed bila je primjena mikroprocesorske tehnike i energetske elektronike. Tim se uređajima može optimalno regulirati brzina kompresora i tako prilagoditi pogonskim potrebama. Omogućena je nadalje upotreba elektromotora s malim gubicima (bez kolektorski istosmjerni motor). Elektronizacija toplinskih pumpi najviše je razvijena u Japanu, gdje se naročito prodaju mali uređaji za grijanje i hlađenje prostorija, a zrak je toplinski i rashladni regulator. Za velike uređaje,

zbog malog broja primjeraka, potrebna je optimizacija još u toku. Zbog bitno različitih prilika u srednjoj Europi direktna primjena japanskih i sjevernoameričkih uređaja ne dolazi u obzir, ali iskušana rješenja mogu i u Evropi ukazati na nove putove. Ako se prvenstveno ne računa s cijenom i ograničenim energetske izvorima, već s ekologijom i mogućnošću smanjenja emisije ugljik-dioksida, upotreba toplinskih pumpi može biti vrlo korisna.

Energie, god. 43 (1991), br. 1/2

Mrk.

SMANJENJE GUBITAKA U PRIJENOSNOJ MREŽI ZAPADNE NJEMAČKE

Savez zapadnonjemačkih dobavljača električne energije objavio je da su gubici u prijenosnoj mreži 1989. godine iznosili 4,7 % od bruto-potrošnje od 364 000 GWh. Prije 40 godina (1950) oni su bili 14,1 %. Smanjenje je teklo kako slijedi:

1950.	14,1 %	1980.	5,4 %
1960.	8,3 %	1989.	4,7 %
1970.	6,4 %		

Gubici su se nakon 1986. ustalili na oko 5 %. Daljnje smanjivanje je tehničko, no ponajprije ekonomsko pitanje.

Izgradnja savezne mreže pedesetih godina osjetno je smanjila gubitke. Daljni pad gubitaka od 1960. do 1989. godine ostvaren je investicijama od približno 100 milijardi DEM.

Energie, god. 43 (1991) br. 1/2

Mrk.

ISKORIŠTENJE VODENIH SNAGA U NORVEŠKOJ

Norveška ima neprocjenjivo blago u svojim vodenim snagama. Obilje padalina i ledenjaka na velikim visinama golem je hidroenergetski potencijal. Godine 1990. Norveška je proizvela oko 100 000 GWh električne energije, a od toga je izvezla u Švedsku i Dansku 17 000 GWh, uz vrlo visoku cijenu. Danas ona ima obilje preljeva zahvaljujući iznatprosječnoj količini padalina i blagim zimama. Računa se da će u 1991. potrošnja u zemlji pasti još za 7 400 GWh. Očekivana povećana potrošnja za hidroenergijom u susjednim zemljama učinit će da Norveška bude u sljedećih 10 godina glavni opskrbljivač energijom cijele Skandinavije. Prema Danskoj se polaže i treći podmorski kabel, čime će se pokriti 20 % potreba zemlje koja glavni dio električne energije dobiva iz termoelektrana. Struja se izvozi u Švedsku i djelomično dalje prodaje u Dansku i Finsku. Na domaćem, norveškom tržištu hidroenergiji oštro konkuriraju domaći plin i nafta. Za domaće potrošače kWh je bitno skuplji nego što je cijena u izvozu. Norveška je 47,4 % svojih energetske potreba namirila iz hidro-izvora, a smatra se da će takav odnos ostati i u sljedećih 10 godina.

Iskorištavanje vodenih snaga traje u Norveškoj već gotovo jedno stoljeće, no najintenzivnija je gradnja hidroelektrana bila šezdesetih i sedamdesetih godina. Treba međutim primijetiti da je to bilo praćeno žestokim protestima i demonstracijama zaštitnika prirode. Umjetna su jezera izgrađena širom zemlje od juga do ruske granice, no raspoloživi hidro-potencijal još je daleko od potpunog iskorištenja. Postoji interes i drugih zemalja Evrope da kupuju jeftinu norvešku struju.

Energie, god. 43 (1991), br. 1/2

Mrk.

SURADNJA NA KONSTRUKCIJI PLINSKIH TURBINA

Talijanska tvrtka Ansaldo S. p. A. sa sjedištem u Genevi i njemačka tvrtka Siemens postigle su dogovor o međusobnoj suradnji u konstruiranju i gradnji plinskih turbina, plinskih elektrana i kombiniranih plinsko-parnih elektrana. Kao prvi korak kooperacije bila bi licencija koju bi uzeo Ansaldo za konstrukciju i gradnju plinskih turbina prema tehnici koju je razvio Siemens. Daljnji je korak suradnja na razvoju plinskih turbina i ekonomičnoj proizvodnji u njihovim tvornicama u Njemačkoj i Italiji.

Energie, god. 43 (1991), br. 1/2

Mrk.

ELEKTROENERGETSKE TEŠKOĆE KINE

Kina je u pogledu energije autarkična. Raspolaze velikim vodnim snagama i rudnim bogatstvom. Ima ugljena, osobito na sjeveru i sjeveroistoku zemlje, nafte, zemnog plina, uljnih škiljaca i radioaktivnih minerala urana i torija. Istraživanja, međutim, zapinju iz tehnoloških razloga, pa se one obavljaju uz znatnu pomoć zapadnih eksperata.

Elektroenergetika je u Kini problem broj 1, pa je 30 % kapaciteta industrije neiskorišteno upravo zbog manjka električne energije. Zemlja raspolaze instaliranom snagom elektrana od 90 000 MW, koje rade uz srednje iskorištenje 5 700 sati godišnje. Procjenjuje se, međutim, da je godišnji manjak približno 10 % potrošnje. Glavna je poteškoća u razvoju elektroenergetike pomanjkanje investicija i teškoće u plaćanju inozemne opreme. Kina gradi dvije nuklearne elektrane snage po 300 MW, ali budući da se temelje na starijoj tehnologiji, u toku su mjere za povećanje sigurnosti. Od pedesetih godina izvode se opsežna naftna bušenja, pa tako Kina 1973. postaje izvoznica nafte.

No unatoč spomenutom bogatstvu nema izgleda da se uskoro riješi teška elektroenergetska situacija. Pregovara se za daljnju gradnju nuklearni, ali kako se bitni dijelovi moraju uvesti iz inozemstva, realizacija će biti bitno usporena.

Energie, god. 43 (1991), br. 1/2

Mrk.

ZATVOREN POSLJEDNJI FRANCUSKI UGLJENOKOP

U sjevernofrancuskom rudarskom području je kao posljednji ugljenokop u Francuskoj zatvorena jama 9 u Oigniesu. Time je nakon 270 godina nestalo jedne djelatnosti i struka koja je oblikovala krajolik cijele te regije, kao i mentalitet ljudi.

ETZ, god. 112 (1991), br. 2

Mrk.

NOVI OPELOV ELEKTROAUTO

Potkraj prošle godine njemačka automobilska tvrtka Opel prikazala je svoj novi model elektroauta »Kadett Impuls I«. Auto se jedva razlikuje od uobičajenog serijskog tipa, a namijenjen je vožnji u gradu. Pogon je na prednje kotače, a snaga istosmjernog elektromotora, napona 100 V, iznosi 16 kW. Energiju daju nikal-kadmijске baterije smještene djelomično uz motor, a djelomično otraga, ispod prtljažnog

prostora. Njihov energetska kapacitet iznosi 14,3 kWh, a vrijeme punjenja 5 sati. Baterije treba puniti nakon 80 km vožnje, a treba primijetiti da se energija kočenja vraća u bateriju. Maksimalna brzina vozila je 100 km/sat. Brzina od 50 km/sat postiže se u 10 s. Auto je težak 1 200 kg, od čega 310 kg otpada na baterije.

ETZ, god. 112 (1991), br. 2

Mrk.

NOVE VJETROELEKTRANE U DANSKOJ

Danska je danas sa svojih 2 000 vjetroelektrana vodeća zemlja u svijetu u iskorištenju energije vjetra. Nije nerealno vjerovati da će ona uskoro blizu 10 % svojih potreba za električnom energijom moći pokriti vjetroelektranama. Međutim, i u Danskoj je sve teže naći lokacije za takve uređaje. Zbog buke novi se park vjetroelektrana gradi na moru u udaljenosti 1,5 do 3 km od obale, blizu otoka Hollanda, 15 km južno od Kopenhaga. Park će imati 11 jedinica po 450 kW, dakle ukupne snage oko 5 MW. Poštanje u pogon predviđen je za sredinu 1991.

Ukupne investicije iznose 14 milijuna USD, što je mnogo više no što bi takav uređaj stajao ako bi se gradio na kopnu. Povećanju troškova ponajviše pridonose skupi temelji. Spomenutih 11 uređaja bit će povezano s 4,5 km dugim kablom, a kablom dužine 7,5 km s kopnom, gdje će biti točka napajanje javne mreže elektroprivrednog poduzeća Elkraft. Osim toga, metalni dijelovi vjetroelektrana moraju biti dobro zaštićeni od korozije, što sve uzrokuje dodatne troškove. Cijeli se uređaj smatra demonstracijskim objektom za skupljanje iskustva u daljnjem razvoju, što će sigurno pridonijeti i sniženju cijene.

ETZ, god. 112 (1991), br. 2

Mrk.

VJETROELEKTRANE UZ ŠVEDSKU MORSKU OBALU

Nedavno je puštena u pogon vjerojatno prva vjetroelektrana u svijetu izgrađena u moru. Elektrana je smještena nedaleko od švedske jugoistočne obale u blizini mjesta Blekinge.

Proizvodit će godišnje oko 500 000 kWh, a pomoću dvaju kabela vezana je na javnu mrežu. Njezin će rad biti promatran tijekom pet godina, posebno njezino djelovanje na ekologiju mora i radarsku navigaciju. Ako se pogon pokaže uspješnim, planira se gradnja 97 takvih elektrana, svrstanih u 14 grupa, na duljini od 10 km duž morske obale.

ETZ, god. 112 (1991), br. 2

Mrk.

ODBAČENE AUTO-GUME EKOLOŠKI PROBLEM

Odbačene auto-gume postale su svjetski problem. Stručnjaci procjenjuju da se u SAD i Evropi godišnje odbacuje 4,8 milijuna tona starih auto-guma, a da ih naokolo leži oko 3 milijarde.

U Njemačkoj se odbacuje oko 400 000 tona, a od toga se u cementarama spaljuje oko 40 %. Smatra se da će se taj postupak u budućnosti smanjivati jer će se spaljivanje smanjiti zbog ekoloških razloga, a količina auto-guma povećavati. Jedan dio starih guma prerađuje se i obnavlja, ali zbog predrasuda trgovaca i korisnika sve manje. Prije nekoliko

godina još je bilo 12 % ljetnih guma obnovljeno, a danas samo 5 %, a zimskih guma od nekad 50 % samo 5 %.

Stare su se gume pokušale upotrijebiti u građevinarstvu, osobito u cestogradnji, ali ne s previše uspjeha, a osim toga radi se o malim količinama. Mali postotak sačme od starih guma može se koristiti pri proizvodnji novih ili miješati s plastikom, no to su zanemarive količine. Prema svemu što je rečeno, jedino se spaljivanjem možemo riješiti toga neugodnog otpada.

Njemačka će industrija i trgovina auto-guma osnovati posebno poduzeće koje će s elektroprivredom graditi male termoelektrane gdje će spaljivati stare auto-gume.

Britanska vlada planira da će u elektranama spaliti barem polovinu od godišnje odbačenih 25 milijuna tona.

Američke tvrtke Elm Energy i Recycling namjeravaju graditi elektranu snage 30 MW, gdje bi se godišnje spaljivalo 90 000 tona starih auto-guma.

Energie, god. 43 (1991), br. 3

Mrk.

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U AUSTRIJI POVEĆANA

U Austriji se potrošnja električne energije u 1990. povećala za 4,5 % prema prethodnoj godini. Potrošnja je porasla za 1,8 milijardi kWh, što je blizu godišnje proizvodnje najveće austrijske dunavske hidroelektrane Greifenstein. Zbog sušnih razdoblja hidroelektrane dale su 10 % manje energije, ali je zato proizvodnja u termoelektranama povećana 37 %. Saldo razmjene električne energije bio je blizu nule. Ako se pak usporedi 1987, tada je godišnji izvoz premašio uvoz za 5,6 milijardi kWh.

ÖZE, god. 44 (1991), br. 2

Mrk.

SMANJUJE SE UDIO NAFTE KAO GORIVA U ELEKTRANAMA EVROPSKE ZAJEDNICE

Proizvođači električne energije u Evropskoj zajednici (EZ) smanjili su udio energije dobivene izgaranjem nafte na samo 11 % (1989). Taj je postotak iznosio 1970. 26 %, a 1980. 23 %.

Udio je bio najmanji u Luksemburgu od 1,9 % (1970: 11,4 %), zatim u bivšoj Zapadnoj Njemačkoj 2,5 % (1970: 15,1 %) i Francuskoj 2,6 % (1970: 21,6 %).

ÖZE, god. 44 (1991), br. 3

Mrk.

SOLARNE ČELIJE U PRAKTIČNOJ UPOTREBI

Proizvodnja električne energije putem fotovoltaičkih ćelija sigurno je danas, elektroprivredno gledajući, beznačajna, ali može korisno poslužiti u posebnim slučajevima. Tako je u Austriji elektroprivredno poduzeće Tauern Kraftwerke A. G. primijenilo fotovoltaičke ćelije kao izvor električne energije za potrebe napajanja regulacijskih i mjernih uređaja na zahvatu potoka Kesselbach. Zahvat se koristi kao taložnica za šljunak i pijesak prije ulijevanja potoka u akumulaciju hidroelektrane Rosshag u dolini Zillertal. Zahvat je na nadmorskoj visini 1850 m u teško pristupačnom području. Uređaji za nadzor i upravljanje su automatizirani, pa je trebalo riješiti napajanje električnom energijom na klasični način kablom ili novom tehnologijom pomoću sunčane

energije. Ta druga solucija, osim ekoloških, imala je i financijske prednosti.

Pri projektiranju uređaja postavljen je zahtjev da dnevna energija iznosi 2,4 kWh (100 Ah/dan) u svim mjesecima osim zimskih, kad padne na 1,2 kWh (50 Ah/dan). Baterija je pak projektirana tako da pri lošem vremenu i slaboj radijaciji sunca napajanje uređaja energijom može još trajati najmanje 14 dana.

Glavne komponente solarnog uređaja jesu dva solarna generatora ukupne snage (vršne) 1 504 W, s koeficijentom iskoristivosti 13 %, tri pojna regulatora 24 V i 2 × 12 olovnih baterija ukupnog kapaciteta 1 800 Ah/24V.

Podaci se bežičnim putem šalju u centar u Zillertalu, odakle se upravlja.

Uređaj je pušten u probni pogon u jesen 1989. U toku puštanja u pogon, kao i u toku dosadašnjeg rada, provedena su mnoga mjerenja i skupljeni vrijedni podaci za koje su zainteresirani korisnici i proizvođači, kao i mnoge naučne i stručne ustanove.

ÖZE, god. 44 (1991), br. 3

Mrk.

HIDROELEKTRANE NA VISLI

Poljska ima u planu izgraditi na rijeci Visli niz od osam hidroelektrana ukupne instalirane snage 1 200 MW. Svaka bi

elektrana imala šest turbina. U vezi s ponudom za taj posao u Austriji se organizira konzorcij u koji bi ušli Verbundgesellschaft, Elin, Voith i Andritz.

RGE, god. 1991, br. 1

Mrk.

MORATORIJ NA GRADNJU NOVIH NUKLEARNI U ŠVICARSKOJ

Švicarski su se birači 23. 9. 1990. izjasnili sa 54,6 % glasova za moratorij na gradnju novih nuklearnih elektrana za vrijeme od 10 godina. Druga pak inicijativa koja je tražila opće napuštanje nuklearke odbijena je sa 52,9 % glasova. Dakle, u toku sljedećih 10 godina neće se podijeliti odobrenje za gradnju, stavljanje u pogon ili eksploataciju za nove uređaje namijenjene nuklearnim elektranama. Novima će se smatrati oni uređaji za koje dozvole nisu podijeljene prije 30. 9. 1986.

Prihvatanjem moratorija samo je ozakonjena situacija koja traje već više godina. U lipnju 1988. odustalo se od gradnje nuklearke Kaiserangst. Puštanjem u pogon zadnjeg od pet nuklearnih blokova u Švicarskoj uslijedilo je 1984.

RGE, god. 1991, br. 1

Mrk.

STRUJA

ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P.O. ZAGREB

GUNDULIĆEVA 16

Telefon: 420-786, 420-791

428-176, 273-909

Telefax: 428-957

PRERADOVIĆEVA 32

Telefon: 416-209, 449-486

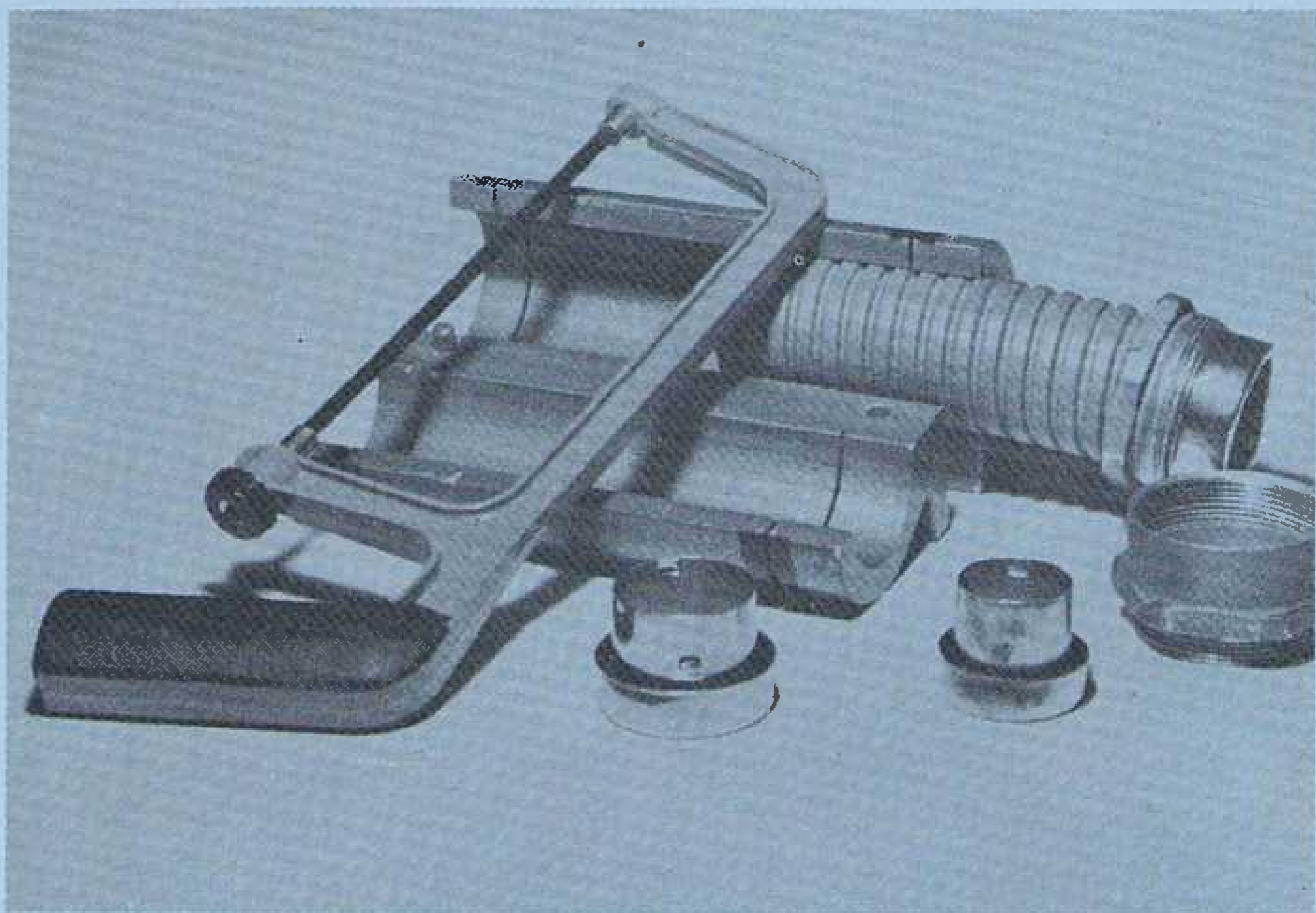
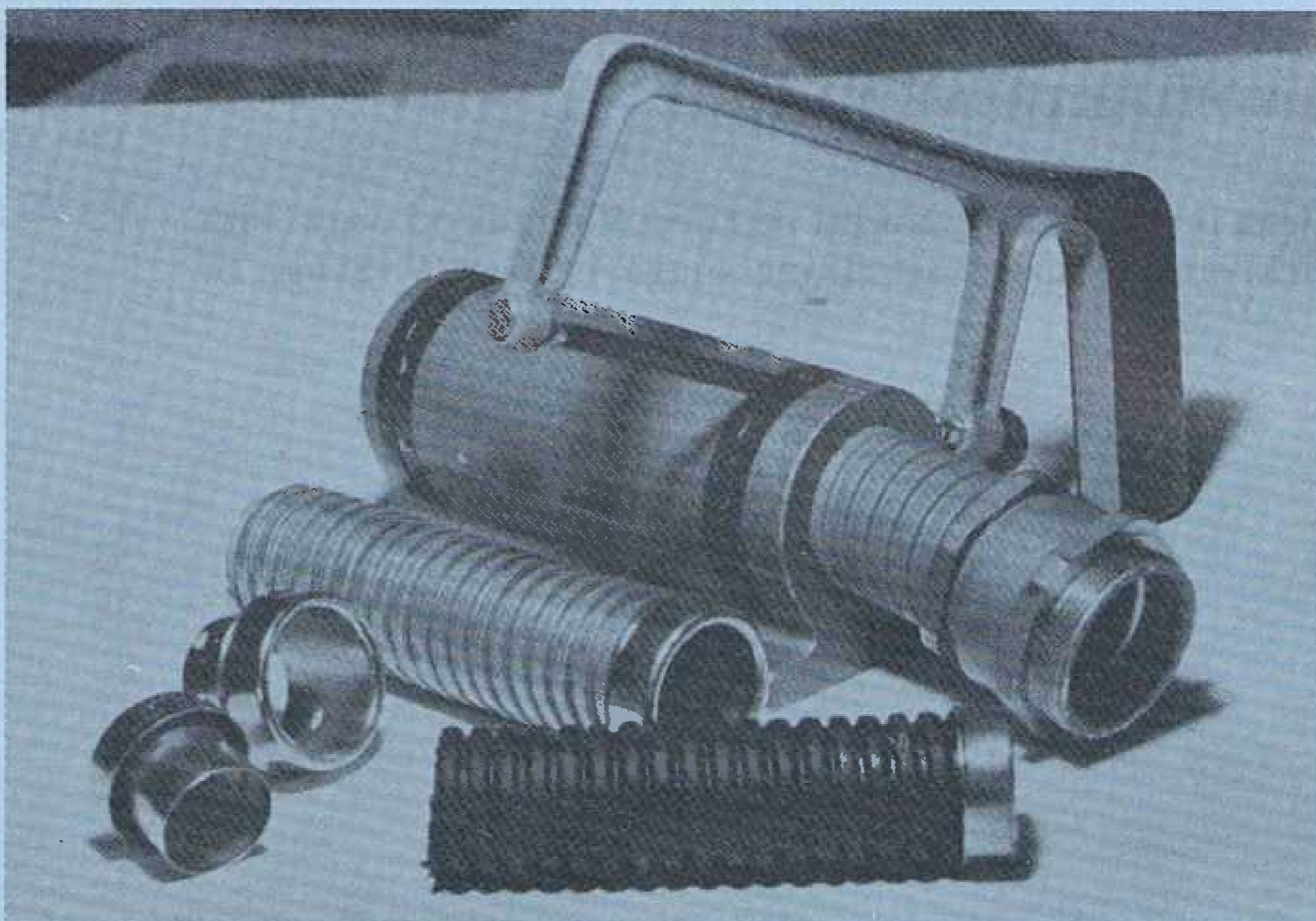
Telefax: 446-632

ŽIRO RAČUN: 30102-601-5049

Obavještavamo poštovane korisnike naših proizvoda, da smo usvojili izradu pribora za rezanje pešel cijevi i završnih rozeta za pešel cijevi PG-21, 29 i 36 mm, kao i PG uvodnica predviđene za priključak rozete u veličinama PG 21, 29 i 36 mm.

Pribor za rezanje cijevi se sastoji od škripca i pile s rezervnim listom, a isporučuje se u torbici.

Sve informacije možete dobiti na našoj adresi
»STRUJA« Zagreb,
Gundulićeva 16,
tel. 420-786, 420-791,
fax. 428-957.



IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 40 (1991)

Zagreb 1991

Br. 5

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

Ministarstvo znanosti, tehnologije i
informatike

SADRŽAJ

<i>Mužek Z.:</i> Mogućnosti opskrbe gorivom termoelektrana Hrvatske elektroprivrede (Pregledni rad)	295
<i>Fagarazzi A.:</i> Pouzdanost napajanja gradskih mreža srednjeg napona s prikazom mogućnosti povećanja pouzdanosti (Pregledni rad)	305
<i>Baće M.:</i> Visokotemperaturni supravodiči i stupanj korisnog djelovanja magnetskih spremnika energije (Originalni znanstveni rad)	315
<i>Černohous F.:</i> Mala hidroelektrana Dubrava 2 × 340 kW (Pregledni rad)	323
<i>Poljak M. — Bojanić B.:</i> Mjerni transformatori — komponenta sistema zaštite (Prethodno priopćenje)	327
<i>Kučak J.:</i> Ispitivanje uzemljenja elektroenergetskih postrojenja u Hrvatskoj (Stručni rad)	333
<i>Čaršimamović S.:</i> Proračunavanje prijelaznog prenapona oklopa metalom oklopljenih plinom SF ₆ izoliranih postrojenja (Originalni znanstveni rad)	341
Vijesti iz elektroprivrede	347
Iz strane stručne literature	349
Savjetovanja i konferencije	352
Oglasi	353

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Đuro *Stanković*, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Josip *Antić*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Distribucija Rijeka — Anđelko *Modrčin*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Rijeka — Anđelko *Dujmović*, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Osijek — mr. Damir *Subašić*, dipl. inž., Ministarstvo energetike — 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«, Krnoslav *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

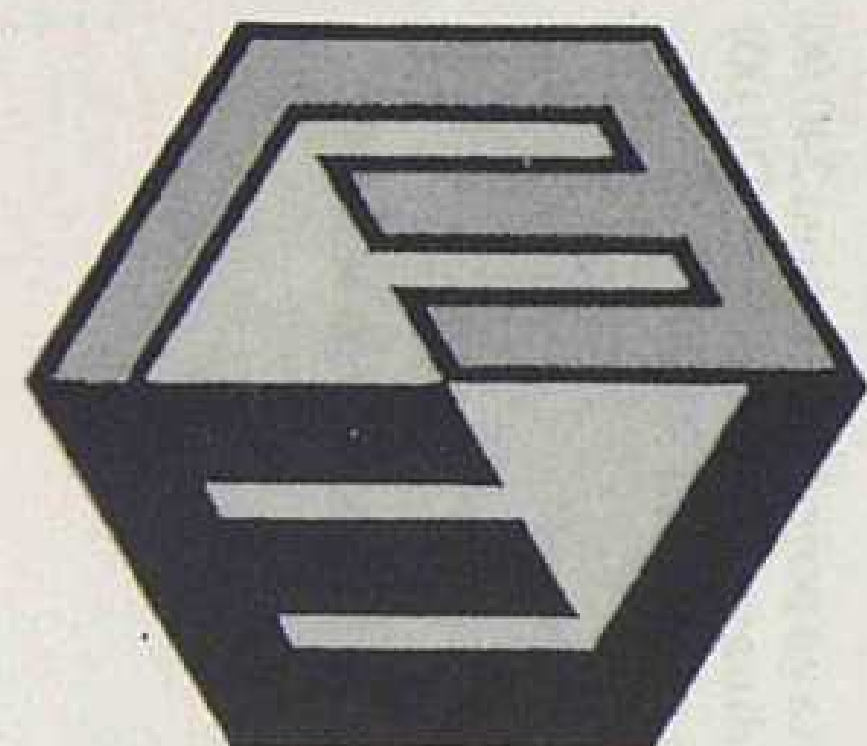
Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 240,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 600,00 dinara (za studente 120,00) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 90,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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



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

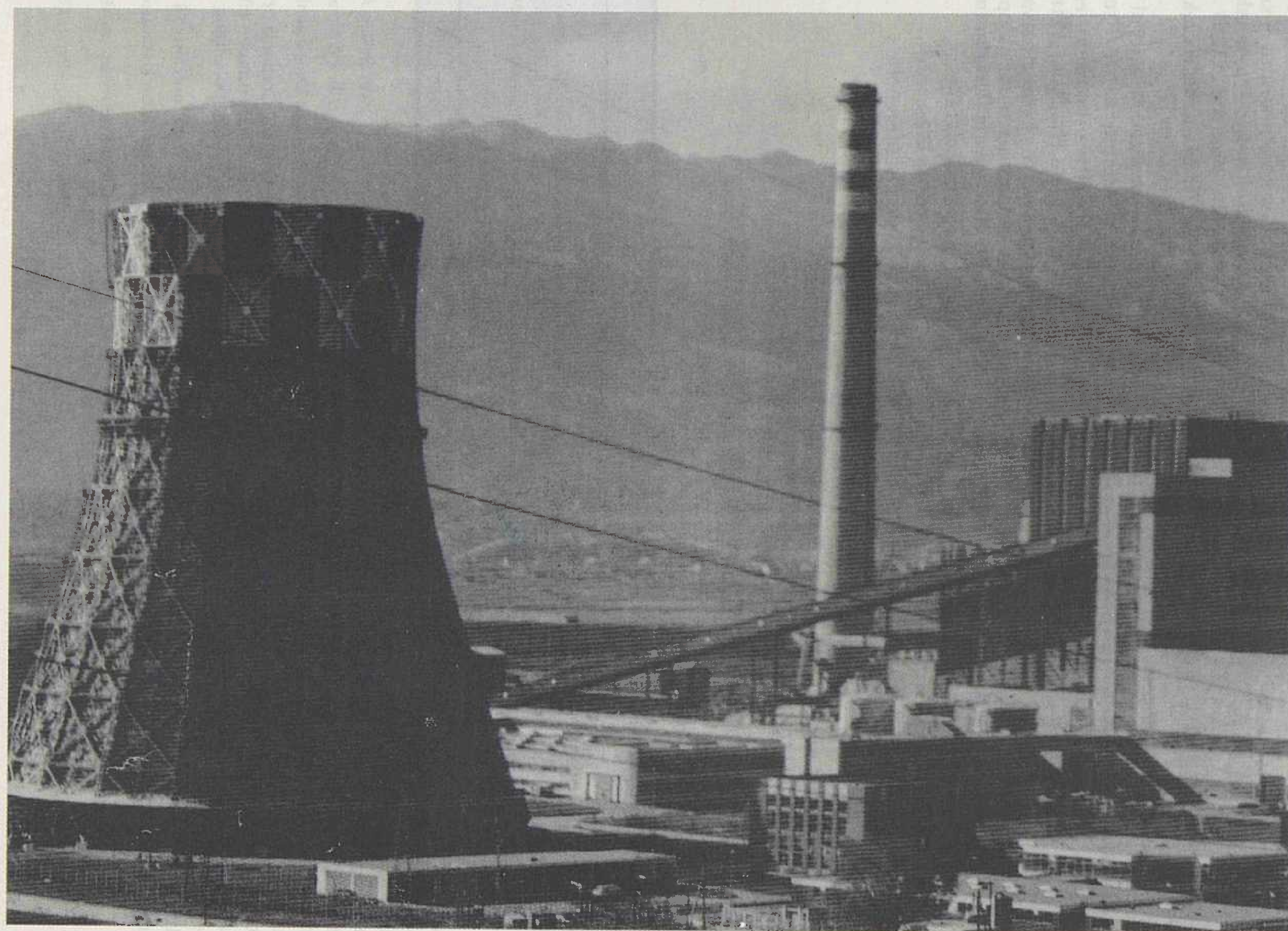
Tehnički sektor 233-880

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.

MOGUĆNOSTI OPSKRBE GORIVOM TERMoeLEKTRANA HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Mr. Zdravko Mužek, Zagreb

UDK 621.311.22:621.311.1

PREGLEDNI RAD

Članak se kritički osvrće na razvoj hrvatske energetike predložen u Programu razvoja Ministarstva za energetiku. Upozorava se da orijentacija na izgradnju novih termoelektrana s plinskom turbinom nema realne podloge. Pokazuje se da je realno očekivati da će za Hrvatsku elektroprivredu na prijelazu stoljeća biti raspoloživi samo sezonski viškovi prirodnog plina. Pokazuje se da će iz domaćih izvora za elektroprivredu biti raspoloživo 700 do 900 tona teškog loživog ulja, što može zadovoljiti potrebe postojećih termoelektrana. Predlaže se usvajanje izgradnje termoelektrana na uvozni kameni ugljen i nuklearnih elektrana kao osnovne orijentacije razvoja hrvatske elektroprivrede. Prioritetni cilj razvoja jest stoga komunikacija s javnosti radi prihvaćanja izgradnje tih objekata.

Ključne riječi: Hrvatska, razvoj elektroprivrede, prirodni plin.

1. UVOD

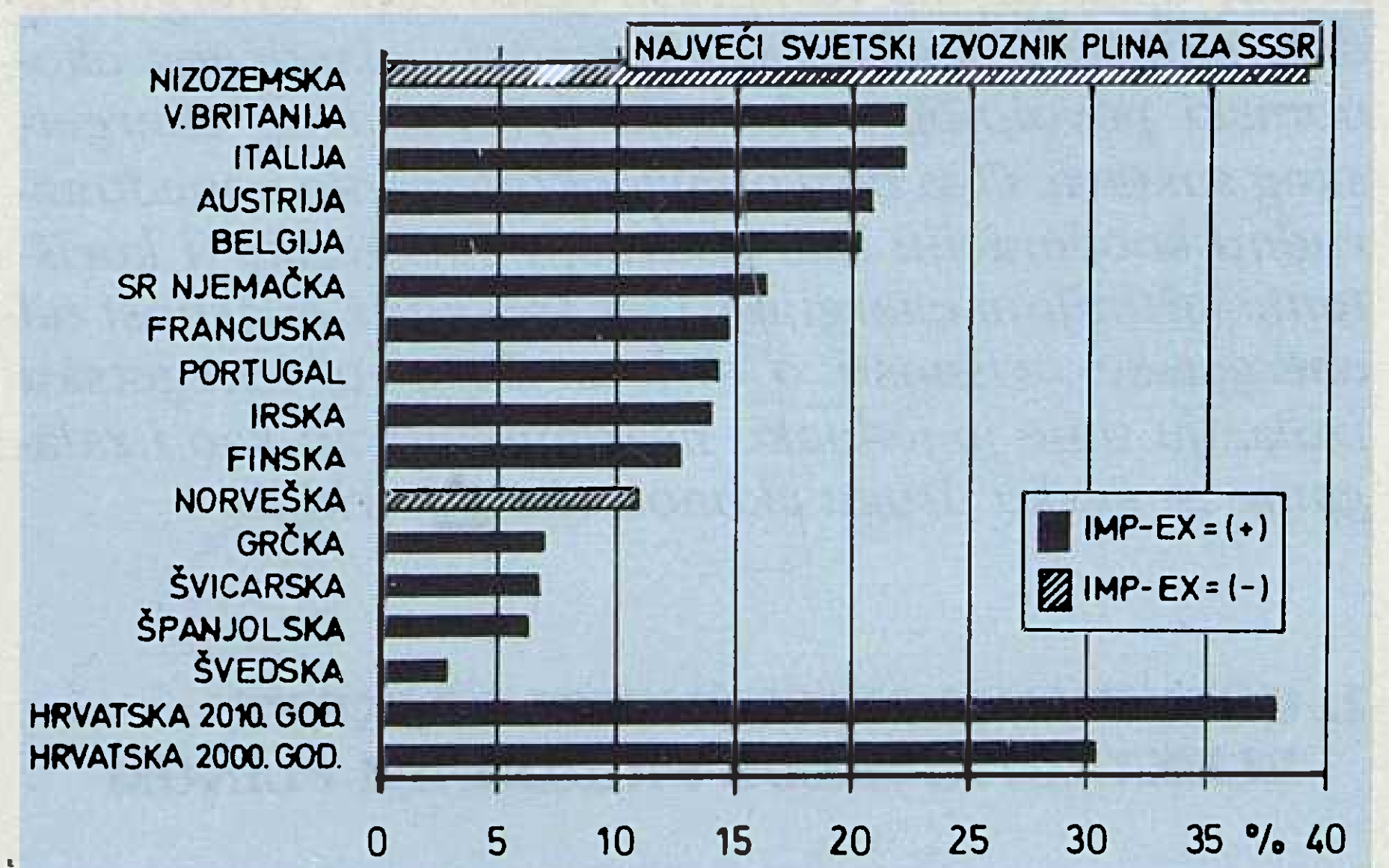
Svrha je ovoga članka pokazati stvarne mogućnosti buduće opskrbe gorivom termoelektrana u Hrvatskoj (iz domaćih i inozemnih izvora) i upozoriti da izgradnja termoelektrana na uvozni kameni ugljen i nuklearnih termoelektrana treba da bude osnovom budućeg razvoja elektroprivrede. Upravo stoga cilj je istaknuti potrebu da komunikacija s javnosti dobije tretman prioritarnog razvojnog programa Hrvatske elektroprivrede (gruba računica pokazuje da se bez ulaganja protuvrijednosti na razini 10 milijuna DEM godišnje za taj kontinuirani program ne može očekivati uspjeh glede prihvatljivosti prije spomenutih objekata).

Potica za pisanje članka jest neadekvatan pristup tom pitanju u »Programu razvitka hrvatske energetike i industrije« [1] — tzv. strategiji hrvatske energetike. Strategija polazi od opredjeljenja da bi 2000. godine udio nafte i prirodnog plina u ukupno potrebnoj energiji u Hrvatskoj trebao iznositi 73%, a u 2010. godini 76% (zaključak i tablica 3.3. »Programa...« [1]). Nadalje, udio prirodnog plina (uglavnom uvoznog) u ukupnoj potrošnji energije u Hrvatskoj trebao bi biti kao što je dano na slici 1, a udio prirodnog plina za proizvodnju električne energije kao što je dano na slici 2. Očit je nerazmjer u odnosu prema planovima zapadnoeuropskih zemalja.

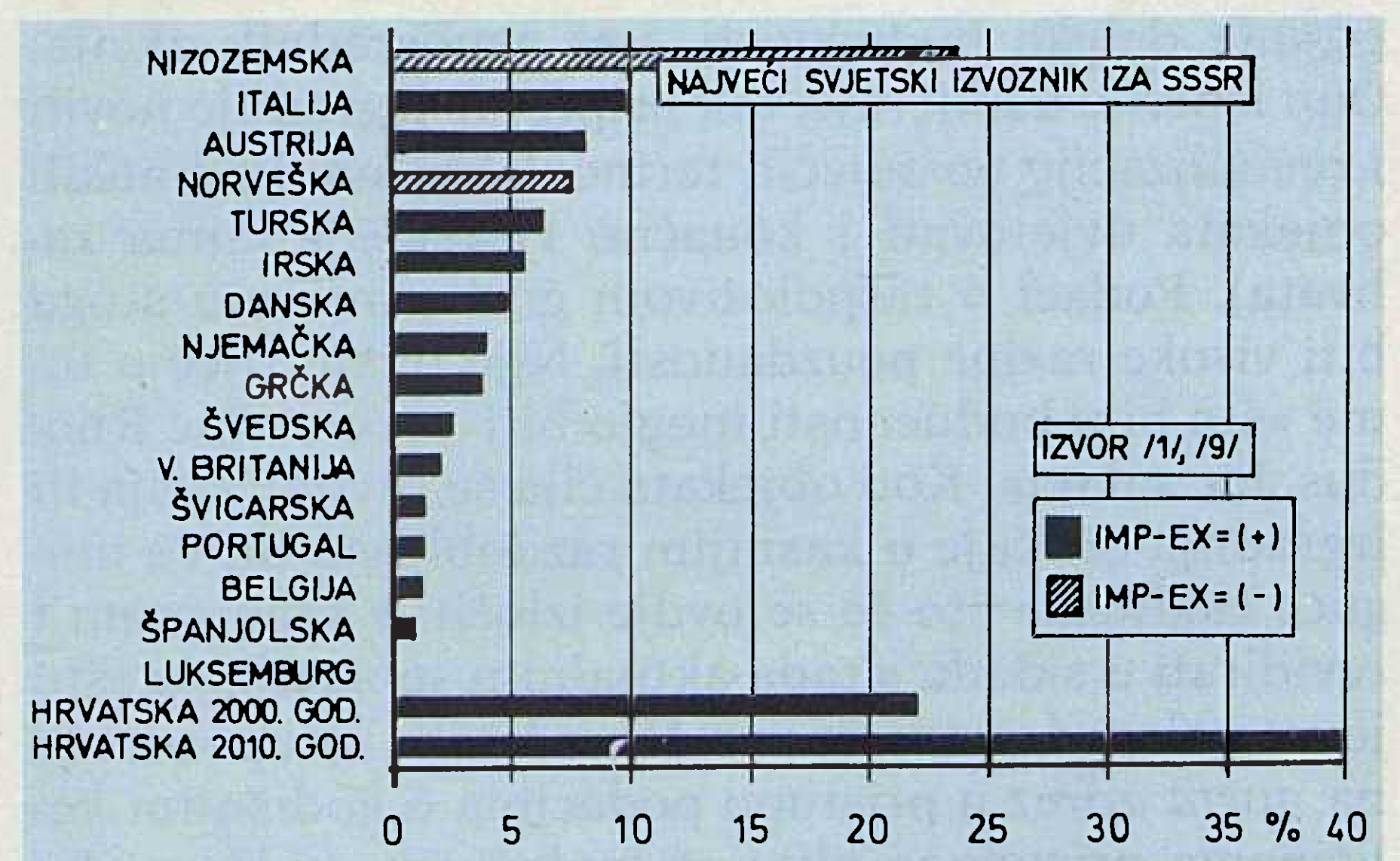
Nametanje takvog usmjeravanja energetske strukture nadasve će opterećivati razvoj Hrvatske elektroprivrede u idućem razdoblju i biti osnovno institucionalno ograničenje razvoja. Negativni utjecaj te energetske politike već je vidljiv: utjecala je na zaustavljanje razvoja i pripreme izgradnje termoelektrana na uvozni kameni ugljen. Nužno je stoga upozoriti da orijentacija na energetska strukturu što je nudi »strategija« [1] nije ekonomski i strateški utemeljena, nema realne podloge te prijete produbljivanjem

potencijalne krize mogućnosti zadovoljavanja potrošača u elektroenergetskom sustavu.

Gotovo sve relevantne informacije u vezi s koncipiranjem budućeg razvoja elektroenergetskog sustava



Slika 1. Udio prirodnog plina u strukturi primarne energije u 2000. godini — prema [1], [9]



Slika 2. Udio prirodnog plina u strukturi energije za elektranu (plan za 2000. god.)

danas su nepotpune ili neodređene. Obuhvaćanje neizvjesnosti je stoga biti odlučivanja, pa isključivo kvantitativne metode ne mogu odgovoriti ovoj zadaći. Najgore je ako se polazi od pretpostavke da primjena »znanstvenih metoda« sama po sebi opravdava mehanistički determinizam u pristupu budućem razvoju energetike i orijentaciju na jednostranu energetska strukturu.

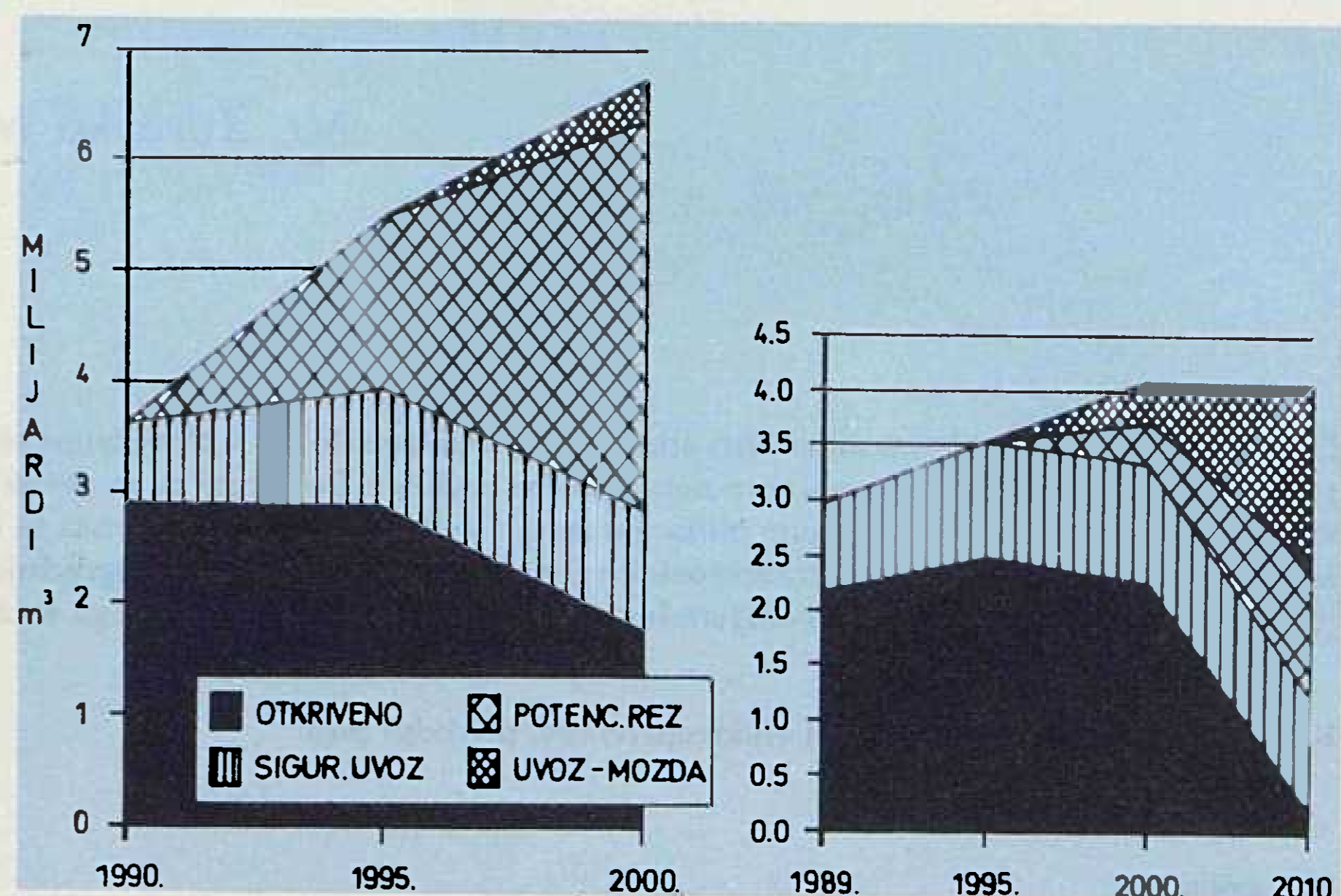
S tim u vezi naglašava se da postoje u energetici određeni aksiomi (dakle pravila što se ne dokazuju, a i ne traže dokaza jer su očividna), koji su putokaz izgradnji poželjne strukture. Ponovljeni 14. svjetskoj energetska konferenciji što je održana 1989. godine u Montrealu [2]: »S obzirom na neizvjesnosti budućih kretanja u svjetskoj energetici nužno je nacionalni energetska sustav graditi tako da može odoljeti možebitnim poremećajima (bilo da je riječ o skokovima cijena energije, poremećajima u dobavi energije ili formiranju monopolističkih sektora u domaćoj energetici). Valja izbjegavati krutu energetska strukturu ili jedan energetska oblik bez obzira na to koliko se to činilo argumentiranim i opravdanim. Najbolja strategija u neizvjesnom svijetu jest spoznaja o ugrađivanju elastičnosti u sustav (elastični energetska sustav je onaj koji je sposoban da se prilagodi promjenama uvjeta na tržištu). Imajući rečeno pred očima, nije čudo da se riječ energetska diversifikacija (primjena različitih energetska oblika i načina energetska opskrbe) na Kongresu često čula. Energetska diversifikacija omogućava izgradnju elastičnog ekonomski povoljnog i ekološki prihvatljivog energetska sustava. Ona dozvoljava uključivanje u međunarodnu kooperaciju i na području energetike (i korištenje jeftinijom energijom) jer smanjuje opasnost od energetska ovisnosti o svijetu. Bijeg u energetska izolaciju time je jednako neargumentiran kao i zalaganje za svaku drugu ekonomsku autarkiju.«

2. OČEKIVANJA MOGUĆNOSTI OPSKRBE ELEKTROPRIVREDE PRIRODNIM PLINOM

2.1. Ostvarenje planova dobave prirodnog plina u Hrvatsku

Opskrba gorivom termoelektrana u Hrvatskoj nije pitanje daleke budućnosti, već neposrednih akcija. Ono izravno usmjerava tok pripreme izgradnje novih i revitalizacije postojećih termoelektrana (kod nekih objekata uvjetovati i konačno rješenje obujma zahvata). Podaci o raspoloživom gorivu moraju stoga biti visoke razine pouzdanosti. Nije dakle riječ o tome »što bi u budućnosti moglo biti«, već o »hic Rhodus, hic salata«. Kod objekata čija se revitalizacija ili izgradnja očekuje u kasnijim razdobljima bit će moguće zaključke što će se ovdje izložiti s vremenom i revidirati u skladu s tada aktualnim spoznajama (što je uostalom i uobičajeno). Navedenim se upozorava na nužni oprez u pristupu podacima o godišnjim količinama prirodnog plina raspoloživim za Hrvatsku elektroprivredu u idućem razdoblju, posebno podacima o godišnjoj dinamici moguće opskrbe.

U tablici 1. i na lijevoj strani slike 3. dani su planovi dobave prirodnog plina u Hrvatsku (uvoz i proizvodnja) prema podacima INA-Naftaplina iz rujna 1990. godine [3]. Na tim podacima temeljena je izrada strategije hrvatske energetike [1] što je objavljena u siječnju 1991. No već prije, u studenom 1990. godine, ti su podaci revidirani od INA-Naftaplina [4], što je također dano u tablici 1. i na slici 3. (desna strana slike).



Slika 3. Planovi dobave prirodnog plina u Hrvatsku iz rujna (lijevo) i studenoga (desno) 1990. g.

Kolika je pouzdanost tih podataka?

Godinama smo svjedoci plasiranja u javnost veoma optimističkih planova o budućoj proizvodnji prirodnog plina u Hrvatskoj. Objavljivanje tih podataka u javnosti bilo je toliko agresivno (napose zadnjih mjeseci — putem TV i drugih medija) da je danas hrvatsko pučanstvo uvjerenjeno da možemo riješiti sve energetske probleme prirodnim plinom. Budući da se takvo jednostrano komuniciranje s javnošću nastavlja, bit će ono naročita zapreka prihvaćanju izgradnje termoelektrana na uvozni kameni ugljen i nuklearnu energiju u Hrvatskoj.

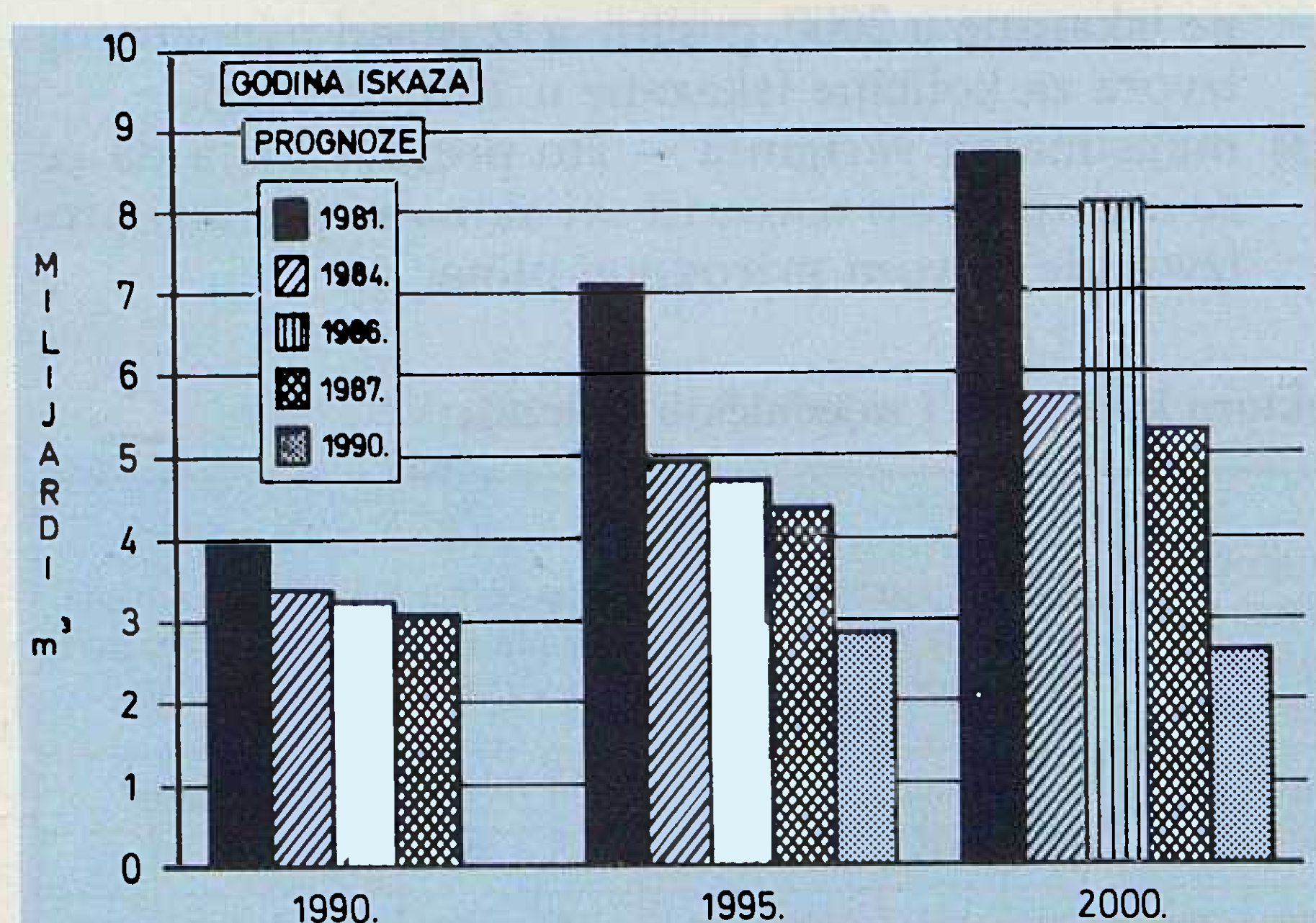
Za razliku od prijašnjih projekcija, na kojima je temeljena i aktualna strategija hrvatske energetike [1], a pri kojima se optimizam temeljio na proizvodnji iz potencijalnih rezervi, posljednji podaci (od 27. 11. 90) za 2000. godinu osnivaju se ponajviše na proizvodnji iz otkrivenih rezervi — dakle znatne su pouzdanosti. S gledišta poslovne logike dobavljača prirodnog plina vjerojatno ima osnova da se postavljaju ambiciozni planovi razvoja (dakle da se postavljaju visoki poslovni ciljevi) i da se u programima razvoja željenog tržišta (Hrvatska) »rezervira ekskluzivni prostor« za budući plasman svoga proizvoda. Drugo je pitanje da li te podatke dobavljača energije u Republiku (sutra profitnog poduzeća s privatnim kapitalom) treba »uzimati zdravo za gotovo« i na osnovi njih izrađivati razne strategije razvoja energetike Hrvatske kao što je to bila praksa.

S tim u vezi veoma je stoga ilustrativno sagledati stupanj ispunjenja planova o dobavi plina u Hrvatsku iz proteklih godina. Na slici 4. dana je očekivanja proizvodnja prirodnog plina u Hrvatskoj u 1990., 1995. i 2000. godini prema sagledavanjima INA-Naftaplina

Tablica 1. Planovi proizvodnje i uvoza prirodnog plina u Hrvatsku

Godina	1990.	1995.	2000.	2010.
Izvor podataka [3]				
Otkrivene rezerve	2 843	2 845	1 751	
● Panon	2 843	2 450	1 577	
● Jadran		395	174	
Potencij. rezerve	—	1 558	3 530	
● Panon	—	749	1 430	
● Jadran	—	764	2 100	
●● Ukupno	2 843	4 403	5 281	
Siguran uvoz	770	1 080	1 080	
Možebitni uvoz	—	—	350	
●● Sveukupno	3 613	5 483	6 711	
Izvor podataka (Ina, rujan 1990)				
Otkrivene rezerve			2 240	125
Potencijalne rezerve			400	1 210
●● Ukupno			2 640	1 335
Uvoz			1 430	2 760
●● Sveukupno			4 070	4 095

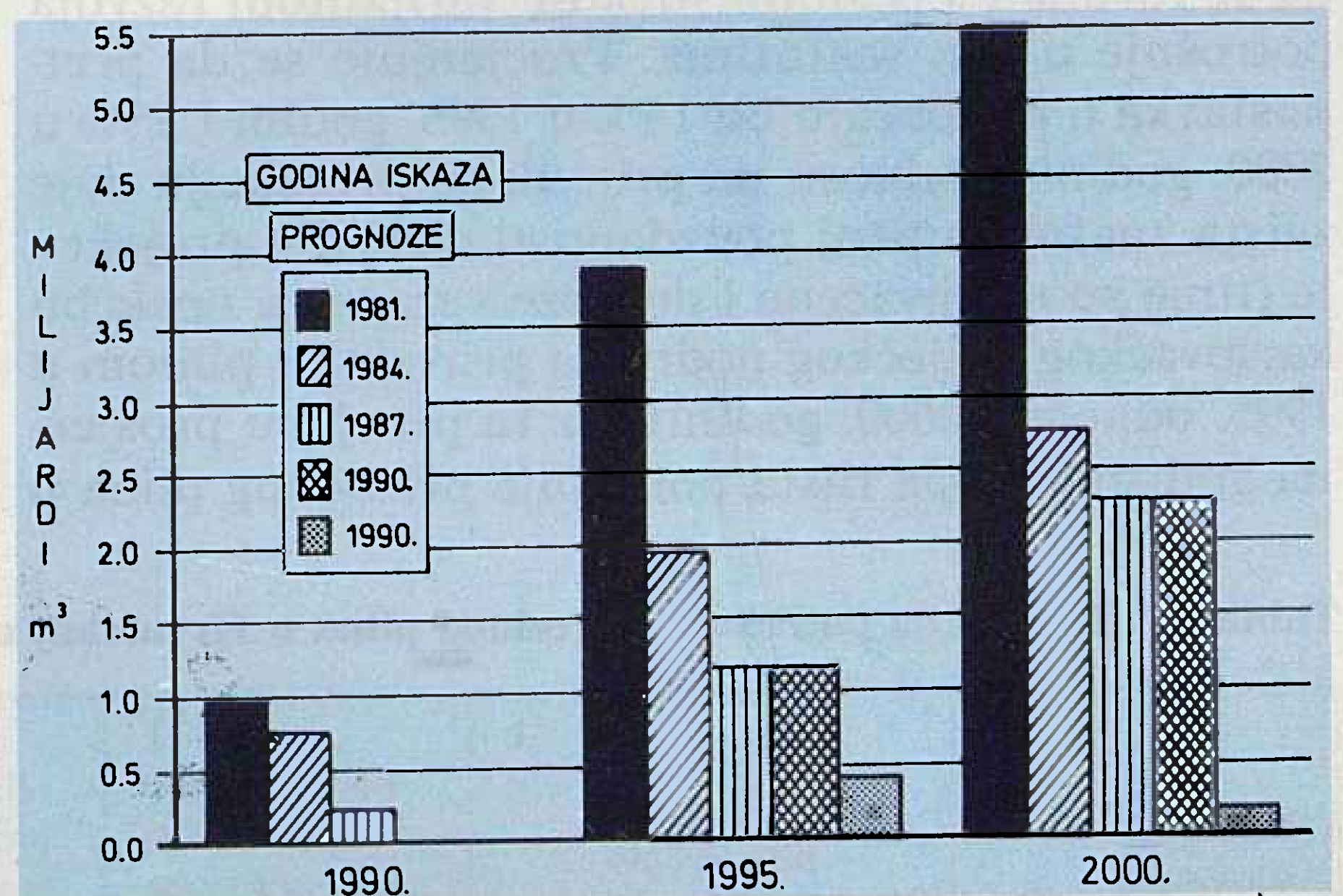
iz 1981., 1984., 1985., 1987. i 1990. godine. Na slici 5. dani slični pokazatelji, ali samo za proizvodnju plina iz jadranskoga podmorja.



Slika 4. Očekivana proizvodnja prirodnog plina prema iskazima iz 1981 – 1990. godine

2.2. Očekivanja potrošnje prirodnog plina izvan elektroprivrede

Osim teškoća u vezi s pouzdanošću procjene realnih mogućnosti dobave prirodnog plina potrošačima u Hrvatskoj, posebna teškoća pri procjeni mogućnosti dobave prirodnog plina elektroenergetskom sustavu jest razvoj (ne samo rast) potrošnje u potrošača izvan elektroprivrede. Navedeno je od bitnoga značaja jer su objekti elektroprivrede najčešće oni što upotrebljavaju prirodni plin tek tada kada su se svi ostali potrošači »namirili« i kada je sustav opskrbe prirodnim plinom zadovoljio zahtjeve što proizlaze iz optimiranja podzemnog skladištenja prirodnog



Slika 5. Proizvodnja prirodnog plina iz podmorja prema iskazima iz 1981 – 1990. god.

plina. Drugim riječima objekti elektroprivrede su najčešće »prigušivači« neravnomjernosti u opskrbi prirodnim plinom — bilo sezonskih neravnomjernosti (kada im je uloga izravnanje potrošnje plina u toku godine), bilo višegodišnjih neravnomjernosti (kada im je uloga da omoguće usklađivanje razvoja konzuma prirodnog plina i skokovitih promjena dobave).

Da bi se, dakle, odredila moguća dobava prirodnog plina za elektroprivredu, treba početi od procjene potrošnje prirodnog plina u ostalim sektorima u Hrvatskoj. SVE dosadašnje projekcije buduće potrošnje prirodnog plina u Republici pokazale su se pogrešnim. Razlozi su dijelom u dosadašnjim shvaćanjima (i realnostima) interesnih odnosa: preuveličavanja planova o mogućoj potrošnji stoga potrebnom razvoju infrastrukture bila su razumljiva u uvjetima beskonačnog spleta prelijevanja financijskih sredstava. No

postoje i drugi razlozi. Dosadašnji planovi razvoja energetike temeljili su se na stopama rasta i strukturnim promjenama privrede i društva koje su se kasnije pokazale preoptimističkim pa su rezultirali očekivanjima visoke potrošnje energije. To iskustvo upućuje na nužnost kritičkog pristupa proklamiranim očekivanjima društveno-ekonomskog razvoja želi li se zaista realno sagledati dinamika potrebnog energetskog razvoja.

Potrošnja prirodnog plina u Hrvatskoj do 2000. godine u sektoru stanovanja i zajedničkih sadržaja projicirana je isključivo za potrebe ovoga rada i dana u tablici 2. Iako je riječ o relativno optimističkoj projekciji razvoja opskrbe prirodnim plinom sektora stanovanja i zajedničkih sadržaja, projicirani razvoj je niži od svih »službenih« projekcija.

Projekcija potrošnje u industriji, poljoprivredi i u ostalih potrošača preuzeta je iz nedavno izradene studije [5]. Prema njoj očekuje se da će potrošnja prirodnog plina u Republici u tom sektoru rasti u razdoblju 1989–2000. s prosječnom godišnjom stopom 2.5%. Tako procijenjena potrošnja stanovanja, zajedničkih sadržaja, industrije, poljoprivrede i ostalog drži se realnom.

S obzirom na dosadašnje iskustvo ima opravdanja da se računa i s pesimističkom varijantom razvoja potrošnje u tim sektorima. Procjenjuje se da pretpostavka o podbačaju od 15% u 1995. godini i 25% u 2000. godini u odnosu na prije danu projekciju daje zaista znatni stupanj pouzdanosti cjelovite projekcije (time su obuhvaćene i dubioze vezane za opskrbu karlovačkog i riječkog područja prirodnim plinom u 1995. odnosno 2000. godini). Uz tu procjenu prosječna godišnja stopa rasta potrošnje prirodnog plina u

hrvatskoj u industriji, poljoprivredi i ostalom iznosila bi 0.5% u razdoblju 1989–1995, a 0.8% u razdoblju 1995–2000. (riječ je praktično o stagnaciji potrošnje). U sektoru stanovanja i zajedničkih sadržaja u ovoj pesimističkoj varijanti rasta potrošnje prirodnog plina prosječna godišnja stopa rasta bi iznosila 4.1% u razdoblju 1989–1995, a 5.8% u čitavom razdoblju 1989–2000.

2.3. Mogućnosti opskrbe Hrvatske elektroprivrede prirodnim plinom

Na osnovi prethodnih projekcija i planova INA-e o potrošnji plina unutar njena poslovnog sustava izrađena je i prikazana u tablici 3. bilanca potrošnje prirodnog plina u Hrvatskoj do 2000. godine. Dobava prirodnog plina dana je u četiri varijante:

- (1) minimalna varijanta — što pretpostavlja samo proizvodnju iz otkrivenih rezervi i sigurnog uvoza (u zgradi je navedena i dobava ako se prirodni plin iz postojećih, otkrivenih rezervi pod Jadranom ne dovodi na kopno — što ne isključuje teorijski moguću varijantu njegove upotrebe za elektroprivredu izgradnjom plinskih turbina na platformi)
- (2) srednja varijanta — što pretpostavlja proizvodnju iz otkrivenih rezervi i sigurnog uvoza te iz 50% ostvarenja dobave iz potencijalnih rezervi i možebitnog uvoza (što bi se ostvarilo kao višak iz »istočnog kraka« uvoza plina iz SSSR-a za količine iskazane u 2000. godini, a iz zasad nepoznatog izvora za količine iskazane u 2010. godini).
- (3) maksimalna varijanta — što pretpostavlja da će se u potpunosti ostvariti svi aktualni planovi proizvodnje i uvoza prirodnog plina.

Tablica 2. Projekcija potrošnje prirodnog plina u Hrvatskoj u sektoru kućanstva i zajedničkih sadržaja

Područje (zajednica općina)	*1				*2			Broj stanova priključenih na mrežu prirodnog plina			*3			*4			Ukupna potrošnja stanovanja i pratećih sadržaja		
	Broj stanova				Udio stanova priključenih na mrežu prirodnog plina			Broj stanova priključenih na mrežu prirodnog plina			Godišnja potrošnja prirodnog plina u domaćinstvima			Godišnja potrošnja prirodnog plina u zajedič. sadrž.			Ukupna potrošnja stanovanja i pratećih sadržaja		
	u tisućama				%			u tisućama			milijuna m ³			milijuna m ³			milijuna m ³		
	1981.	1989.	1995.	2000.	1989.	1995.	2000.	1989.	1995.	2000.	1989.	1995.	2000.	1989.	1995.	2000.	1989.	1995.	2000.
Grad Zagreb	241	271	297	329	28	40	50	76	120	165	90	144	198	32	58	79	122	202	277
Zagreb ostalo	113	127	139	154	17	20	25	22	28	38	26	34	46	16	14	18	42	48	64
Bjelovar	111	125	137	152	24	27	30	30	37	46	35	44	55	24	18	22	59	62	77
Gospić	27	30	33	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karlovac	50	56	62	68	0	0	20	0	0	14	0	0	17	0	0	7	0	0	24
Osijek	255	287	314	349	5	10	15	14	31	52	17	37	62	10	15	25	27	52	87
Rijeka	168	189	207	230	0	0	20	0	0	46	0	0	45	0	0	18	0	0	63
Sisak	58	65	80	88	3	10	20	2	8	16	2	10	19	0	4	8	2	14	27
Split	231	260	320	356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Varaždin	81	91	112	124	25	28	30	23	31	33	27	37	40	15	18	20	42	55	60
Ukupno	1 335	1 501	1 701	1 887	11	15	22	167	255	410	197	306	482	97	127	197	294	433	679

*1 Pretpostavljena je prosječna godišnja stopa rasta stanova 15% za svaki grad (bitna odstupanja ne mogu bitnije utjecati na zaključke čitave analize)

*2 Procijenjeno ovisno u odnosu broja stanova u urbanim i ruralnim naseljima

*3 Računato 1200 m³/stanu za kontinuitet a 970 m³/stanu za Rijeku (ima se pred očima povećanje toplinske zaštite zgrada, povećanje broja grijanih prostorija, struktura stanova glede grijanju, kuhanje i pripreme potr. tople vode)

*4 Pretpostavlja se udio 40% u odnosu na potrošnju stanovanja (što je relativno optimistički)

* Grad Zagreb — bez Samobora, Seseva (i jasno D. Sela)

Tablica 3. Projekcija raspoloživih godišnjih količina prirodnog plina za Hrvatsku elektroprivredu

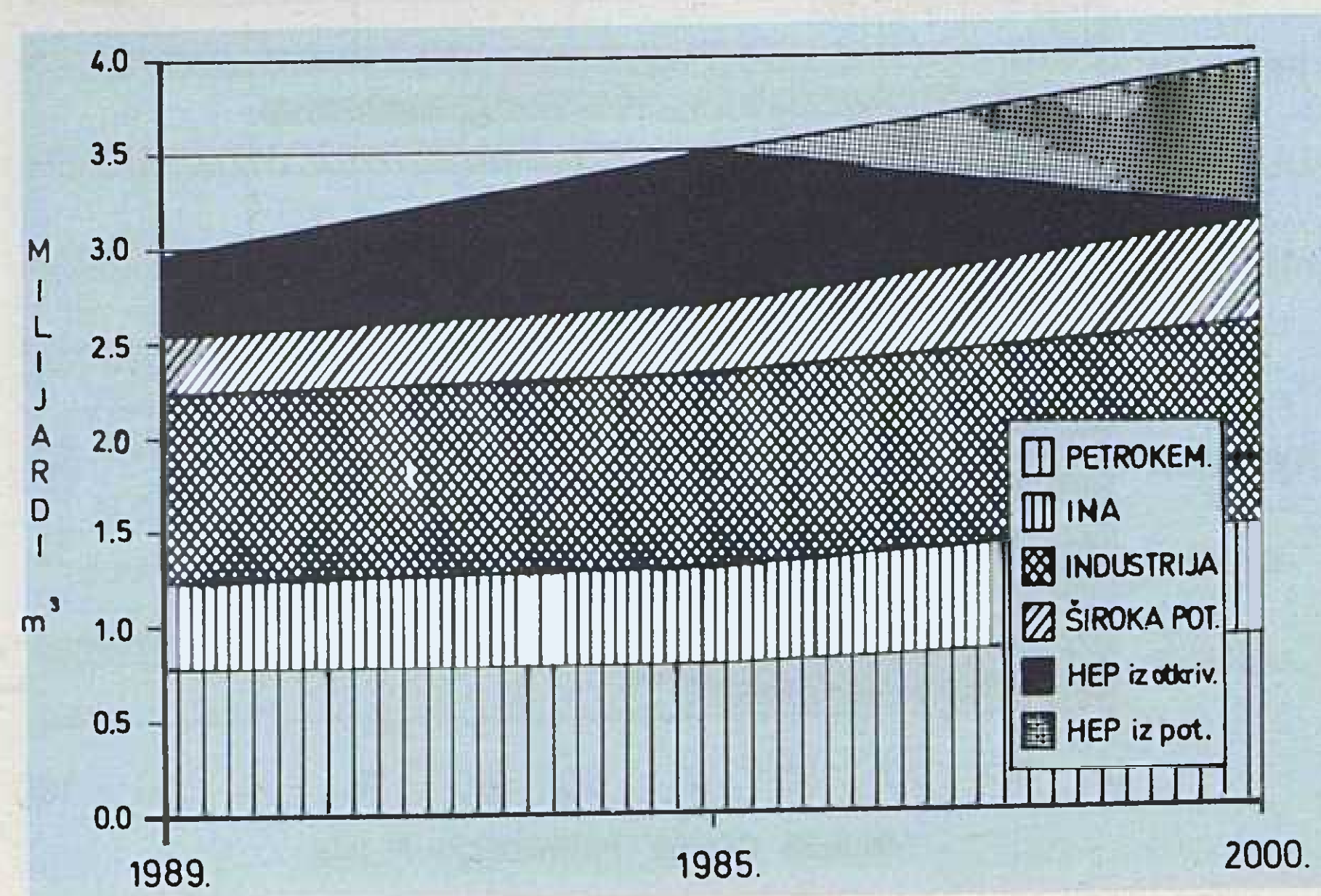
	Kategorija	Izvor podataka	1989.	1995.	2000.	2010.
POTROŠNJA	a) Petrokemija	Podaci INE	780	780	900	
	b) Vlastita potrošnja INA	Podaci INE	458	524	600	
	c) Domaćinstva i zaj. sadrž.	Tablica 3.	294	430	680	
	d) Konverzija u gradski plin	Gradska plin. Zg.	21	—	—	
	e) Indust., poljop. i sve ost.		986	1 166	1 320	
POTROŠNJA	(a+b)		1 238	1 304	1 500	
	(c+d+e)		1 301	1 596	2 000	
	(c+d+e) – pesimist. varijanta			1 396	1 600	
POTROŠNJA	Ukupna potrošnja izvan HEL-a		2 539	2 900	3 500	> 3 500
	– pesimistička varijanta			2 700	3 100	
DOBAVA	a) Otkrivene rezerve		2 177	2 845 (2 450)	2 240	125
	b) Siguran uvoz		780	1 080	1 080	1 080
	c) Potencijalne rezerve		—	—	400	1 210
	d) Možebitni uvoz		—	—	350	1 680
DOBAVA	(a+b)	zaokruženo		3 900 (3 500)	3 320 (3 320)	1 205
	(a+b) + 50% (c+d)	na 100		3 900 (3 500)	3 695 (3 521)	2 650
	(a+b) + (c+d)	milijuna m ³		3 900 (3 500)	4 070 (3 896)	4 095
ZAHIEL	Realna varijanta potr.			Bez 400 iz Jadrana 600	Bez 174 iz Jadrana – 354 21 396	(400)
	– minimalno					
	– srednje					
	– maksimalno					
	Pesimistička varijanta potr.			Bez 400 iz Jadrana	Bez 174 iz Jadrana 46 421 796	
	– minimalno					
– srednje						
– maksimalno						

Da li je ovakva kategorizacija opravdana sa stajališta elektroprivrede, dakle potrošača koji na osnovi procjena moguće dobave prirodnog plina u Republiku treba planirati konkretne zahvate na svojim postrojenjima (na primjer izgradnju plinske turbine »ispred parnog ciklusa« postojeće termoelektrane poradi povećanja ukupnog stupnja korisnog djelovanja postrojenja i/ili dobivanja dodatne snage u elektroenergetskom sustavu)?

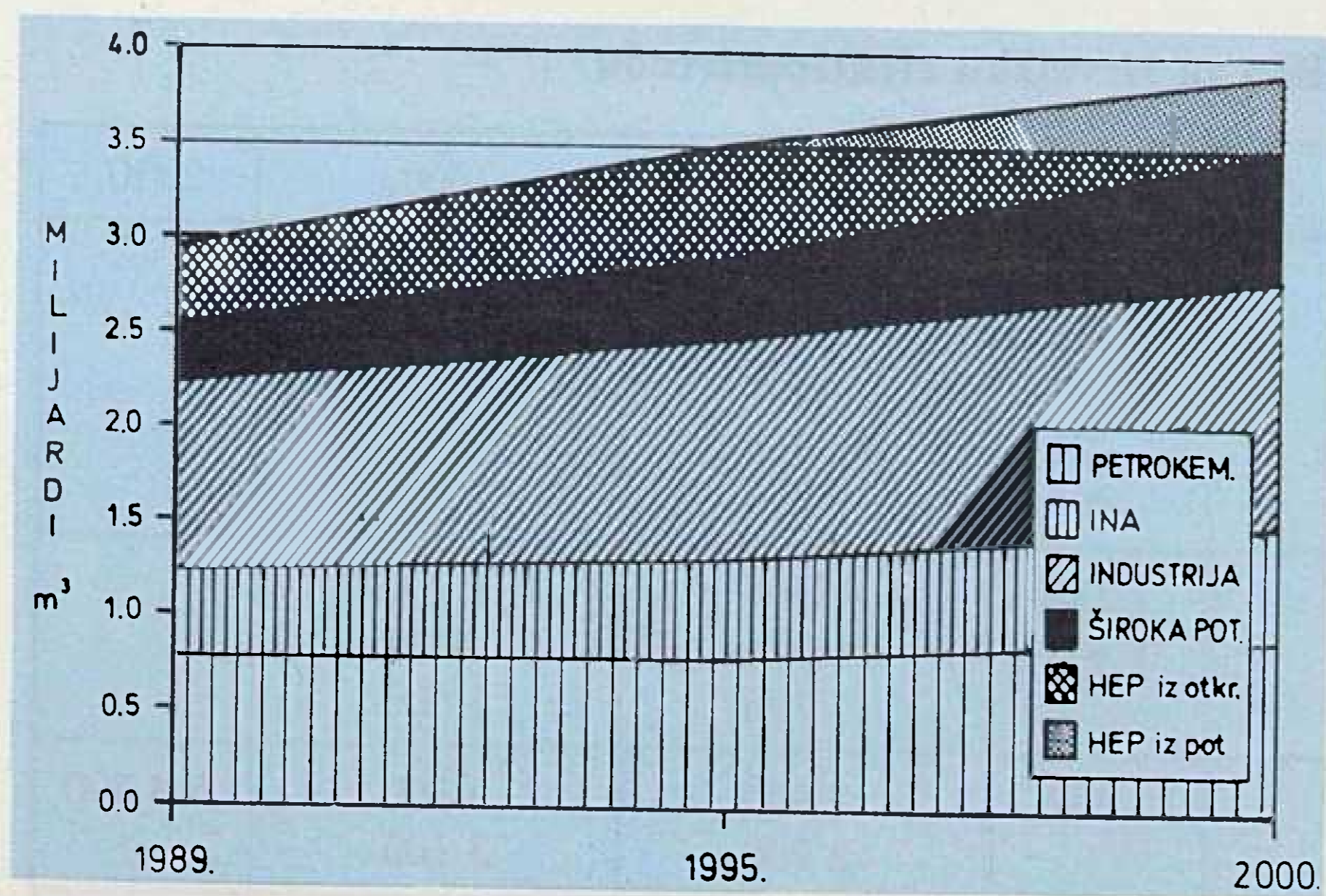
Prije odgovora na to pitanje upućuje se na definicije u vezi s klasifikacijom rezervi nafte, kondenzata i prirodnog plina [6] prema kojima je potencijalne rezerve moguće odrediti ovime: postoji vjerojatnost da ih ima što se očekuje na osnovi geološke strukture područja, ali bez bušenja. Imajući rečeno na pameti, Hrvatska elektroprivreda bi u svojim konkretnim akcijama izgradnje, rekonstrukcije i revitalizacije termoelektrane trebala računati s mogućom dobavom prirodnog plina za svoj sustav na razini: 600–800 · 10⁶m³ u 1995. godini, a nakon te godine s manjim godišnje raspoloživim količinama (najvjerojatnije oko 400 · 10⁶m³). Riječ je dakle o količinama (najvjerojatnije oko 400 · 10⁶m³). Riječ je dakle o količinama reda veličine današnje potrošnje prirodnog plina u Hrvatskoj elektroprivredi. U razdoblju do 2000. godine plin će biti raspoloživ isključivo za termoelektra-

ne u kontinentskom dijelu Hrvatske, a s obzirom na strukturu dobave i potrošnje u sektorima izvan elektroprivrede, regionalni raspored raspoloživoga za elektroprivredu bit će sličan današnjemu.

Struktura potrošnje prirodnog plina u Hrvatskoj u 2000. godini dana je na slici 6. (pesimistička varijanta razvoja potrošnje prirodnog plina u sektorima izvan elektroprivrede) i na slici 7. (»realna« varijanta razvoja potrošnje).

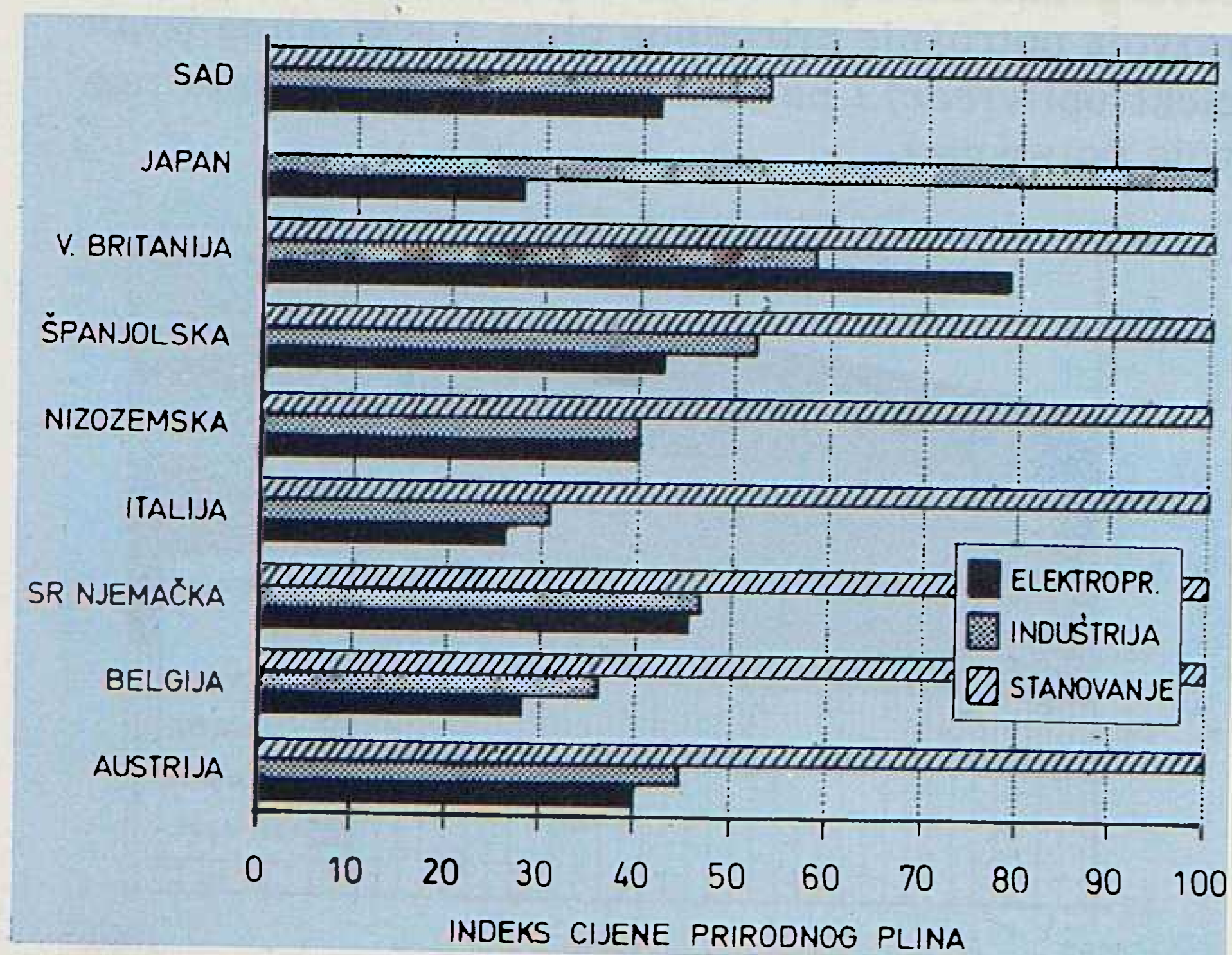


Slika 6. Potrošnja prirodnog plina u Hrvatskoj (pesimistička varijanta potrošnje)



Slika 7. Potrošnja prirodnog plina u Hrvatskoj (realna varijanta potrošnje)

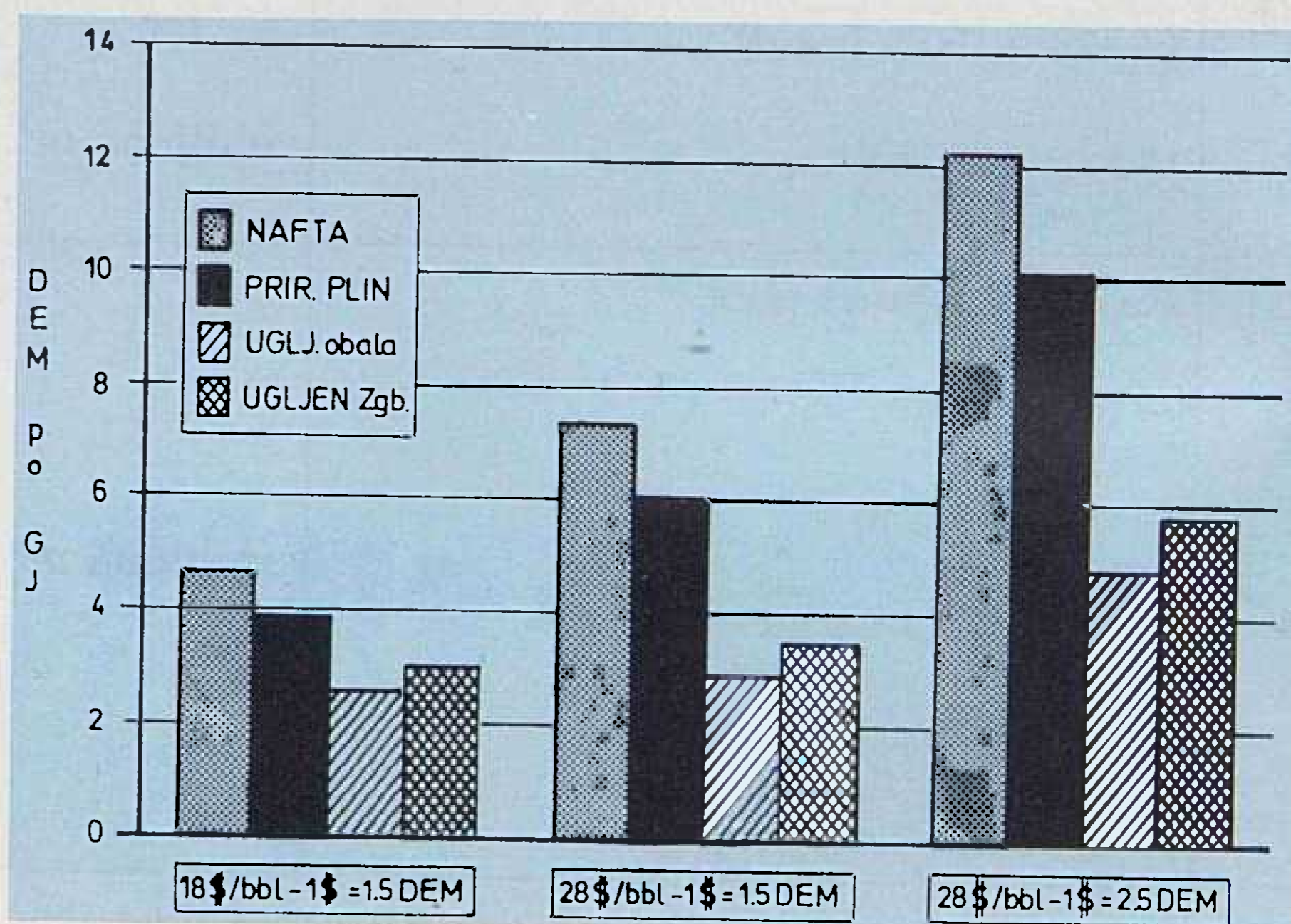
Osim tih količina, tu je i već famozni prirodni plin iz Jadrana ($395 \cdot 10^6 \text{m}^3$ u prvim godinama eksploatacije, a $174 \cdot 10^6 \text{m}^3$ oko 2000. godine), čiji rentabilitet upotrebe (ali i tehnološki aspekt dobivanja) nije još do kraja razjašnjen. S obzirom na razdoblje njegove eksploatacije (ako desetak godina), padajući trend godišnje raspoloživih količina, malu vjerojatnost očekivanja da će riječko područje prije kraja stoljeća biti uključeno u plinski sustav Hrvatske (što je nužno, no ne i dovoljni uvjet uključivanja plina iz podmorja u opskrbu sustava), očekuje se da je jedini izlaz da neki veliki potrošač zaista stručno istraži kondicije uz koje mu se isplati taj plin upotrebljavati. Da li će to biti TE Plomin (u kojem bi se slučaju možda moglo primijeniti kombinirano loženje s jeftinim antracitima) ili instaliranje plinskih turbina na platformi iznad nalazišta ili neko treće rješenje valjalo bi konačno sagledati. Na osnovi studije radene za Zagreb [7] proizlazi da bi cijena toga prirodnog plina fco. TE Plomin morala biti približno 60% cijene uvoznog plina fco. državna granica da bi se elektroprivredi isplatilo supstituirati uvozni kameni ugljen u toj termoelektrani (to nije u neskladu s tarifom poli-



Slika 8. Cijene prirodnog plina za sektor stanovanja, industriju i elektroprivredu

tikom za prodaju prirodnog plina što se primjenjuje u svim zemljama u kojima odnosi u energetici nisu plod administriranja nego tržišnih odnosa — vidjeti sliku 8). Očito, s prirodnim plinom iz rezervi u jedraskom podmorju Hrvatska elektroprivreda ne bi trebala računati, barem ne do trenutka dobave prirodnog plina na riječko područje iz drugih izvora (i šire plinifikacije).

Izneseni račun kompetitivne cijene prirodnog plina za TE Plomin osniva se na aktualnim odnosima cijena energije (nafta, prirodni plin, ugljen) na svjetskom tržištu i odnosu tečaja USD:DEM 1:1.5. On se može bitno izmijeniti ako se izmijeni tečaj USD ili poraste cijena nafte. Ta osjetljivost cijene prirodnog plina o promjeni cijene nafte na svjetskom tržištu i promjeni tečaja dolara razlog je za odbacivanje »Programa razvoja hrvatske energetike« [1] i orijentaciju na prirodni plin kao osnovno gorivo za elektroprivredu. Na slici 9. je kao ilustracija dana analiza osjetljivosti kretanja cijena prirodnog plina fco. do-



Slika 9. Ovisnost cijene prirodnog plina FCO YU granica i cijene ugljena (FCO obala i FCO Zagreb) o cijeni nafte i tečaju USD

maća granica (a cijena domaćeg prirodnog plina se s njom izjednačava) i uvoznog kamenog ugljena CIF domaća luka, ovisno o kretanju cijene nafte i tečaja USD (cijena plina je u svim ugovorima linearno vezana za cijenu nafte ili naftnih derivata). Valja pritom imati pred očima da ekonomičnost termoelektrane ovisi isključivo o razlici cijene goriva, a da njihov odnos nema baš nikakve veze s preferencijama pojedinog rješenja (što većina energetičara ne zna — vidi uostalom smjernice politike cijena energije u Hrvatskoj [1]).

2.4. Godišnja dinamika opskrbe elektroprivrede prirodnim plinom

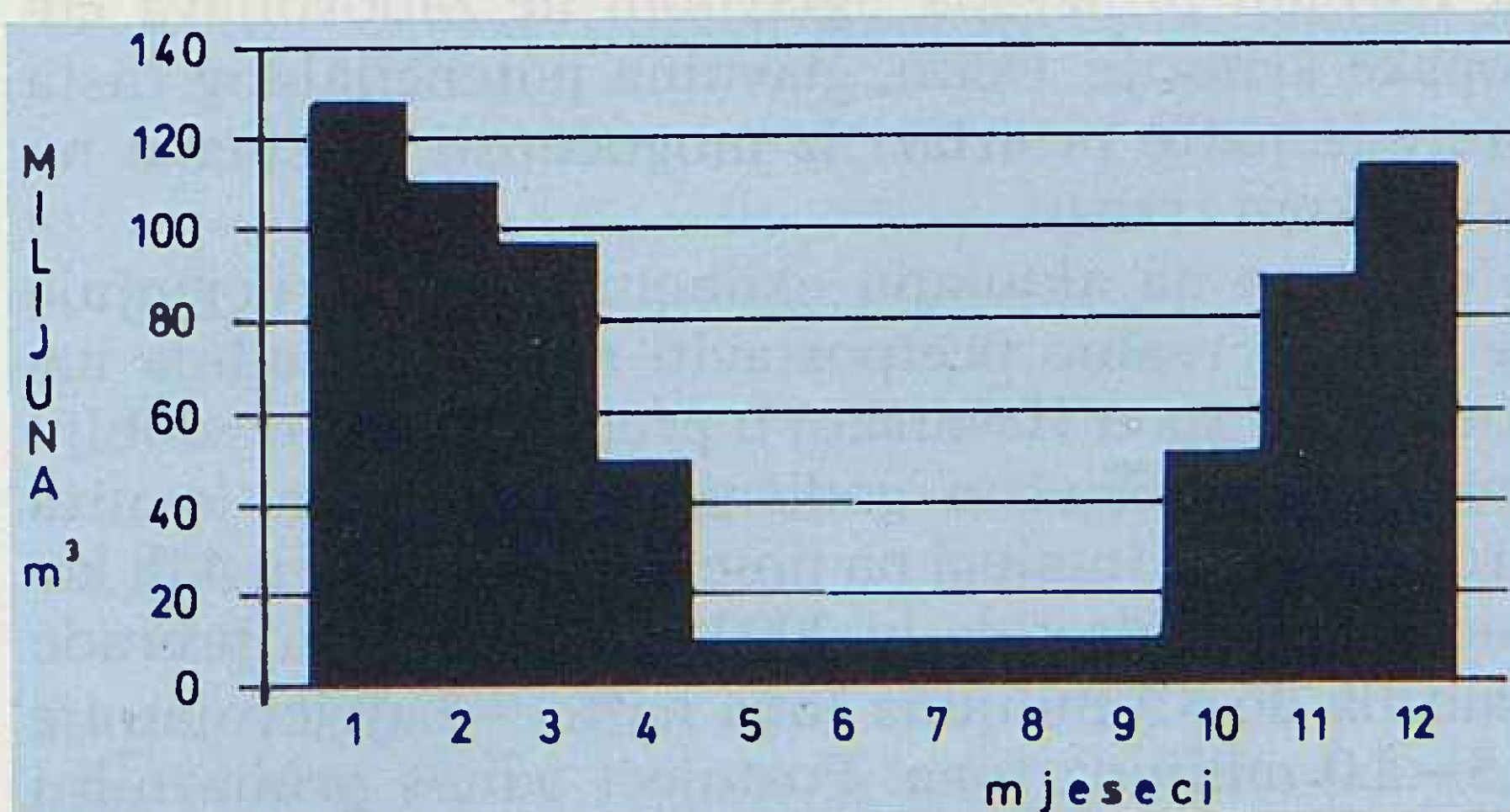
U prethodnim analizama riječ je o godišnje raspoloživim količinama prirodnog plina, pa je iduće pitanje što se nameće pitanje godišnje dinamike isporuke plina elektroprivredi.

Objekti elektroprivrede su naime najčešće tipični potrošači s klauzulom isključenja, pa o dinamici potrošnje prirodnog plina u ostalim potrošačkim sekto-

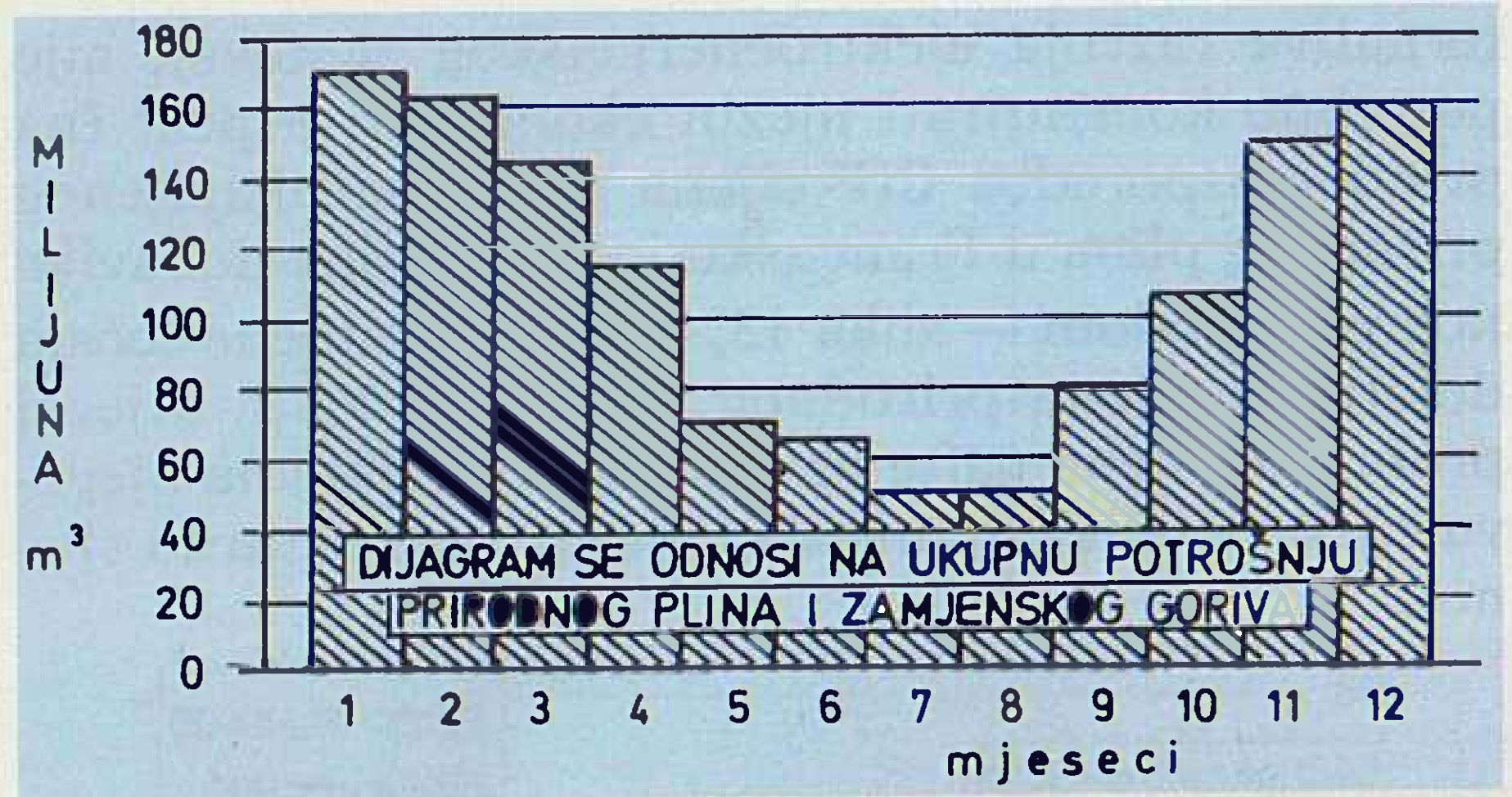
rima ovisi dinamika njihove opskrbe prirodnim plinom. U tržišnim, svijetu otvorenim privredama takva uloga se bonificira putem tarifne politike. Njezina osnova jest u tome da upotreba prirodnog plina u termoelektrani (i u elektroenergetskom sustavu) u razdoblju kada to odgovara sustavu prirodnog plina bude povoljnija nego upotreba alternativnog goriva. Očito, elektroprivredi u tim uvjetima odgovara da raspolaže što jeftinijim alternativnim gorivom (pretpostavka je mogućnost dobave alternativnog goriva kod različitih dobavljača, mogućnost izravne kupnje na svjetskom tržištu i slično), ali i diversifikacijom potrebnog joj goriva (na primjer uvozni ugljen), jer je jedino tako moguća konkurencija energetskih oblika i, kao posljedica upravo toga, primjena tarifne politike.

Valja navesti da pravilo o navedenoj ulozi termoelektrana u sustavu opskrbe prirodnim plinom razumijeva pri današnjem stanju tehnike ili izvedbu generatora pare ili tretman termoelektrane u elektroenergetskom sustavu isključivo sa stajališta proizvodnje električne energije, a ne i osiguranja snage (dakle proizvodnju električne energije samo u razdobljima kada to odgovara sustavu prirodnog plina). Naime, u slučaju primjene plinske turbine (bilo u otvorenom ili kombi-procesu) u elektrani bez generatora pare nije moguće upotrebljavati alternativno gorivo (osim ekstralakovog loživog ulja, što zbog visoke cijene dolazi u obzir samo kod kratkotrajnih vršnih opterećenja u elektroenergetskom sustavu). U skladu s tim u praksi takav objekt (s plinskom turbinom i bez generatora pare) može poslužiti jedino kao temeljni potrošač prirodnog plina (pa mu se i cijena prirodnog plina formira na toj osnovi: cijena fco. državna granica + takse + troškovi i profit uvoznika + investicije u prijenos + varijabilni i ostali troškovi prijenosa). Na slici 10. dan je godišnji dijagram potrošnje prirodnog plina (po mjesecima) u sektoru stanovanja i zajedničkih sadržaja u Hrvatskoj u 2000. godini (prema tablici 2), na slici 11. u industriji i u blokovskim kotlovnica (prema tablici 3), a na slici 12. godišnji dijagram ukupne potrošnje prirodnog plina u Hrvatskoj u toj godini.

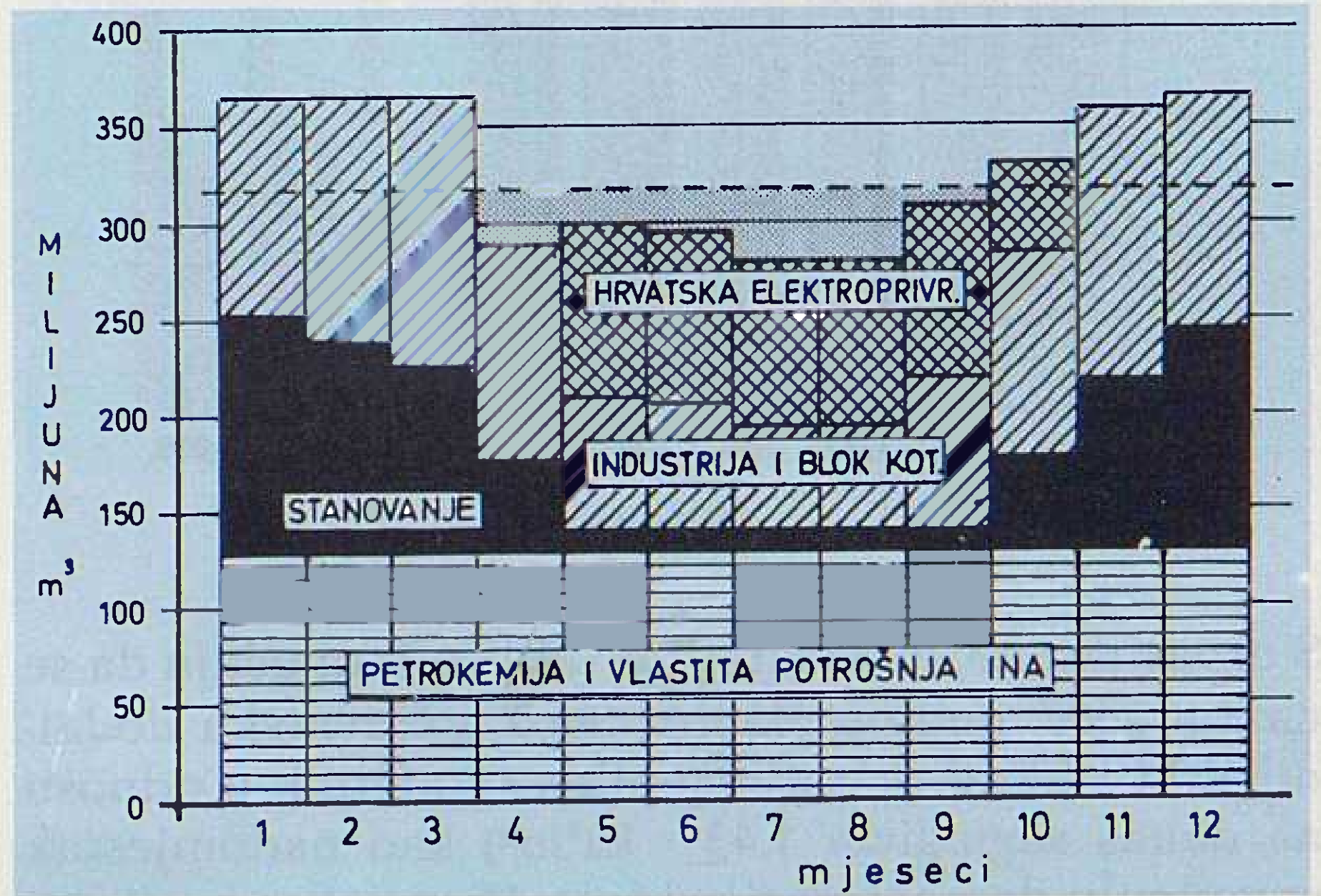
Kao što se može očitati, struktura potrošača je takva da je godišnje potrebno u podzemnom skladištu skladištiti otprilike 200 milijuna m^3 prirodnog plina (na slici 12. skladištena količina prirodnog plina prikazana je točkicama sjenčanim poljem ispod debele,



Slika 10. Hrvatska, 2000. god. godišnji dijagram potrošnje prirodnog plina u stanovanju i zajedničkim sadržajima



Slika 11. Hrvatska, 2000. god. godišnji dijagram potrošnje prirodnog plina u industriji i blokovskim kotlovnica



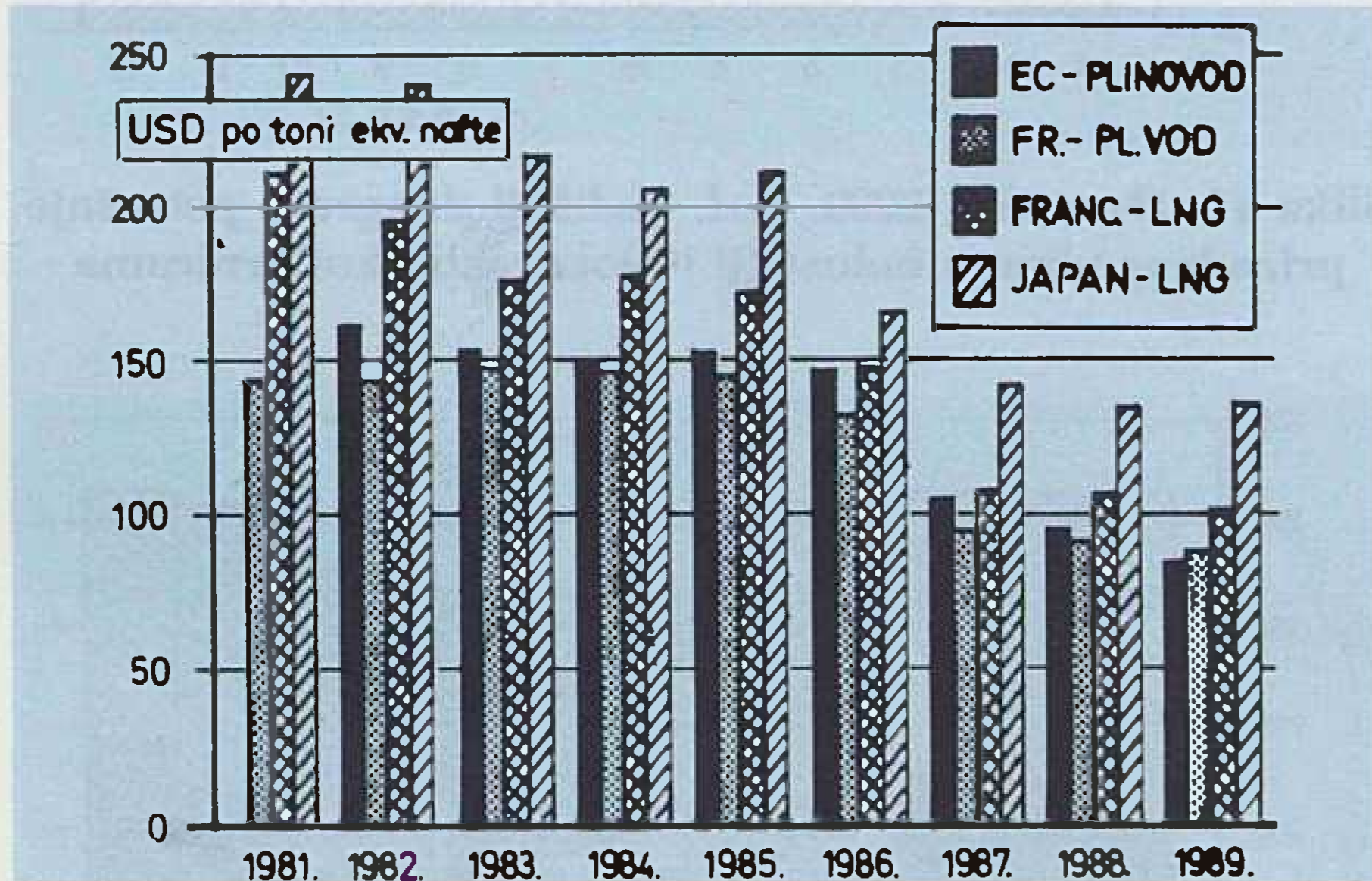
Slika 12. Godišnji dijagram potrošnje prirodnog plina u Hrvatskoj u 2000. godini

isprekidane crte prosječne mjesečne dobave prirodnog plina u Hrvatsku). Proizlazi da će postojeće skladište Okoli biti iskorišteno s manje od 60% kapaciteta (dakle, u pitanju je predviđena potreba proširenja njegova kapaciteta). Ono što je važno sa stajališta elektroprivrede jest da se ne može računati s isporukom prirodnog plina elektroprivredi u zimskim mjesecima. Razumljivo, prešutno se pritom pretpostavilo da se ne mijenja rad Tvornice umjetnih gnojiva u sustavu opskrbe prirodnim plinom (na primjer da radi samo u vanogrjevnoj sezoni — kao što je to uobičajeno u svijetu i u kojim uvjetima, zbog niže cijene plina, može raditi rentabilno) te da ova luda vremena ipak neće rezultirati postepenim zamiranjem svake proizvodnje (što bi uzrokovalo pad potrošnje prirodnog plina u sektorima izvan elektroprivrede).

Navedeno ne odriče mogućnost otkrića prirodnog plina u nas, što će omogućiti i veću proizvodnju nakon 2000. godine nego što je specificirano u tablici 3, posljedično i veće raspoložive količine za elektroprivredu. No u tom slučaju bit će vremena za odlučivanje (vrijeme pripreme elektroprivrede za mogućnost potrošnje prirodnog plina redovito je kraće nego vrijeme privođenja otkrivenih rezervi proizvodnji).

Na sličan način treba tretirati i možebitnu realizaciju spektakularnih planova uvoza ukapljenog prirodnog plina iz Alžira, što su izneseni kao »mogućnost« u [8]. Budući da je riječ tek o ideji (i da nije vjerojatno da će nas ona zvesti kao da je to zaista realna al-

ternativa razvoja elektroenergetskog sustava), nije potrebno komentirati njezin ekonomski aspekt (na primjer usporedba CIF cijena alžirskog ukapljenog prirodnog plina u Francusku i cijenu plina dobavljenog plinovodom — slika 13, utjecaj promjene tečaja dolara na cijenu prirodnog plina — slika 9, utjecaj promjene cijena nafte na svjetskom tržištu na njegovu cijenu — slika 9, investicije u infrastrukturu i slično).



Slika 13.

S druge strane, pokazatelji iz tablice 1. upućuju da se nakon 2000. godine planira uvoz u Hrvatsku dodatnih $1.33 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ prirodnog plina (dodatnih u odnosu na danas sagledivih $1.43 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) kao nadomjestak smanjenju domaće proizvodnje. Vjerojatno je riječ o količinama što su proizašle iz »zatvaranja ukupne bilance« (težnja da se zadrži razina potrošnje prirodnog plina iz prethodnog razdoblja). Koristilo se pritom uvozom — izvorom što je ipak pouzdaniji nego što bi bilo navođenje spekulativne proizvodnje iz potencijalnih rezervi u toj godini (što je bio običaj pri iskazima iz prethodnih godina). Ta dobava bit će nužno skokovita (razvoj prijenosnih kapaciteta i ekonomski uvjeti), što upućuje da će postrojenja elektroprivrede, i to ona što mogu upotrebljavati alternativna goriva morati u jednom periodu odigrati ulogu »prigušivača« u sustavu opskrbe prirodnim plinom u Republici.

3. LOŽIVO ULJE

Prognoze raspoloživih količina loživog ulja za elektroprivredu iz domaćih rafinerija u idućem razdoblju poprilično su nepouzdana. Riječ je naime o prognoziranju u uvjetima zaista nepredvidivog kretanja potrošnje ostalih naftnih derivata, nesigurnosti glede tempa kompletiranja rafinerija postrojenjima za sekundarnu preradu, ali i u uvjetima zaista teško predvidivih potencijala supstitucije loživih ulja drugim energetske oblicima (posebno prirodnim plinom u sektoru industrije). Uska korelacija postoji između proizvodnje teških ulja i bitumena (što je oksidirano teško ulje za loženje sa željenim sadržajem naftenskih ugljikovodika), ali i teškog ulja za loženje i lakših izvedenica nafte. Navedeno usložnjava i sagledavanja budućih odnosa između pojedinih proizvo-

da; brojni elementi (razina prerade nafte u Hrvatskoj, tehnološke mogućnosti i struktura tražnje drugih derivata nafte) uvjetovat će raspoložive količine teških ulja za loženje na tržištu, što je osnova za procjenu raspoloživih količina za elektroprivredu.

Posredan cilj svake suvremene proizvodnje je što veći stupanj oplemenjivanja sirovine jer je to u normalnom okruženju tržišne privrede uvjet maksimiziranja profita (osnovnog cilja). Rafinerije nafte su tipičan primjer fleksibilnoga, polivalentnog postrojenja gdje je moguće prilagođavati strukturu finalnih proizvoda uvjetima ponude i tražnje na tržištu. Fleksibilnosti posebno pogoduju sekundarna postrojenja za preradu nafte pa je posljedica rasta cijena nafte u sedamdesetim godinama i smanjene potražnje za loživim uljima u Europi nakon tih događaja tendencija povećanja sekundarnih kapaciteta (uz istovremeno zatvaranje kapaciteta primarne prerade). Očekuje se da će se i nadalje, usklađeno s potrebama tržišta, struktura proizvodnje kretati prema povećanju stupnja prerade.

Današnja uobičajena proizvodnja teškog ulja za loženje i bitumena u Hrvatskoj je približno 30% u ukupnoj strukturi proizvodnje derivata, što je znatno nepovoljnije od europskog prosjeka (oko 25%). Takvo stanje nije rezultat samo tehnoloških mogućnosti već i zahtjeva tržišta (INA može proizvesti i nešto vredniji asortiman proizvoda nego što se trenutno plasira na domaćem tržištu).

Postojeća proizvodnja nafte u Hrvatskoj je na razini 2.5 milijuna tona. Prema [4] očekuje se da će u 2000. godini iznositi oko 2 mln t, a u 2010. 1.7 mln t (približno 50% iz inozemnih koncesija). Današnja prerada nafte u Hrvatskoj je na razini 7 milijuna tona godišnje (6.96 mln u 1988, 6.89 mln u 1989. godini) [11]. Preradbeni kapaciteti rafinerija INE su na razini 9 milijuna tona [12] (u neposrednom idućem razdoblju ne planira se izgradnja novih postrojenja za primarnu preradu).

Za povećanje plasmana INA-inih proizvoda na jugoslavenskom tržištu (izvan matične republike) u odnosu na postojeće stanje ne postoji velika vjerojatnost s obzirom na aktualne političke konflikte u zemlji. Iako je izvoz naftnih derivata u inozemstvo proklamiran kao strateški pravac razvoja INE, izgledi za takvu orijentaciju također nisu povoljni: potrebe europskog tržišta u idućem razdoblju bit će ispod mogućnosti rafinerijske proizvodnje u Europi, a kvaliteta INA-nih proizvoda uglavnom ne zadovoljava europske kriterije. Očito, glavnina potencijalnog rasta prerade nafte proizlazi iz mogućnosti plasmana na hrvatskom tržištu.

S obzirom na aktualnu ekonomsku krizu ocjenjuje se da nije realno pretpostaviti rast proizvodnje naftnih derivata u Hrvatskoj u predstojećem razdoblju iznad 2% prosječno godišnje (vjerojatnija je niža proizvodnja). Imajući na umu stanje rafinerijskih kapaciteta, proizlazi da bi 2000. godine razina prerade iznosila do 8.5 milijuna tona nafte — najvjerojatnije 7.5–8.0 milijuna tona. Postojeći odnos primarnih i sekundarnih postrojenja u INA-i europski trendovi daju osnovu za procjenu da bi udio loživih ulja u

strukturi rafinerijske proizvodnje INE na prijelazu stoljeća iznosio približno 20% (zajedno s vlastitom potrošnjom INE), odnosno da bi bio na razini do 1.7 milijuna tona godišnje.

Ne očekuje se da potrošnja teških loživih ulja u sektorima izvan Hrvatske elektroprivrede poraste — vjerojatnije je da će stagnirati ili opadati (bitan faktor je mogućnost supstitucije prirodnim plinom, stagnacija industrijske proizvodnje i tempo prestrukturiranja privrede). Današnja razina potrošnje loživih ulja u Hrvatskoj jest: 650 tisuća tona u elektroprivredi i 800 tisuća tona izvan elektroprivrede (vlastita potrošnja INE, industrija, neindustrijske kotlovnice, poljoprivreda). Uz pretpostavku stagnacije potrošnje u sektorima izvan elektroprivrede proizlazi da bi 2000. godine za elektroprivredu moglo biti raspoloživo *700 do 900 tisuća tona loživog ulja* (pretpostavilo se da nema izvoza loživog ulja iz Republike).

Projiciranje raspoloživih količina za elektroprivredu nakon te godine ne može biti iole zadovoljavajuće pouzdanosti. Kakve će se promjene u neposrednoj budućnosti zbiti glede penetracije svjetskih naftnih kompanije na hrvatsko tržište, također je teško predvidjeti, no uključivanje u europske integrativne procese znači ujedno napuštanje dosadašnje »splendid isolation« politike i na tom području. Navedeno unosi dodatnu nesigurnost u procjene.

Valja se stoga zadovoljiti zaključkom da se ne može računati s novom izgradnjom kapaciteta što će upotrebljavati loživo ulje, a da postoje izgledi da će postojeća postrojenja u Hrvatskoj elektroprivredi raspolagati dovoljnim količinama loživog ulja da izvršavaju ulogu koja im je pri njihovoj izgradnji bila namijenjena u elektroenergetskom sustavu. Moguće je pri tom računati i s opskrbom loživim uljem iz inozemstva. Kako dugoročni ugovori o uvozu mogu biti relativno povoljni, oni bi mogli unijeti kompetitivnost u postojeće odnose u hrvatskoj energetici. Razumljivo, za takva razmišljanja nužne su određene pretpostavke: promjena vlasništva u postojećim javnim poduzećima, njihova autonomnost, razvoj stvarnih tržišnih odnosa i izbjegavanje operativnog »optimiranja« energetike s razine države.

4. UVOZNI KAMENI UGLJEN

U strukturi fosilnih energetske rezervi svijeta ugljen sudjeluje sa oko 79%. Glavninu tih rezervi čini kvalitetni kameni ugljen. Hrvatska elektroprivreda je u prilici da uvozom toga energetske oblika maksimalno afirmirajući jadransku orijentaciju Hrvatske izgradi elastičnu, diversificiranu energetske strukturu, što će omogućiti da »u svakom trenutku brod plovi kako se usmjere jedra, a ne tako kako pušu vjetrovi« (a »vjetrovi« svjetske energetike — napose oni u domeni cijena energije, ali i monetarnih odnosa što je podjednako važno — zaista su nepredvidivi, kao što je uostalom nedavna prošlost i pokazala).

Glede raspoloživih količina uvoznoga kamenog ugljena za potrebe Hrvatske elektroprivrede nama ograničenja. Ograničenja njegove veće primjene bit će in-

stitucionalna (poglavito pitanja javnog prihvaćanja takvih rješenja). Upravo stoga već je u uvodu apostrofirano da je komunikacija s javnošću problem Hrvatske elektroprivrede. Gruba procjena troškova potrebnih radnji govori da se bez kontinuiranog ulaganja sredstava na razini 10 milijuna DEM godišnje u te aktivnostine ne može u tome polučiti uspjeh. Neovisno o tome valja računati s dodatnim troškovima stimulacije sredine — davanja lokacije.

Potencijalni putovi i način transporta uvoznog ugljena za potrebe Hrvatske elektroprivrede ovise o lokaciji, odredištu prijevoza. U slučaju lociranja termoelektrane na Jadranu (najpovoljnije je započeti s pripremom izgređne TE Plomin III) moguće je izgraditi pristan isključivo za dovoz ugljena ili koristiti se nekom od postojećih luka (tehnološki i ekonomski faktori odredit će rješenje problema). Pri lociranju termoelektrane u unutrašnjosti (Zagreb, Sisak) moguće je dovoz ugljena putem luke Bakar ili Kopar (ukupni raspoloživi kapacitet pruge Bakar — Zagreb iznosi danas oko milijun tona godišnje [13], a racionalizacije što su u toku povećat će mogućnost prijevoza i iznad tih količina). Sisak ili neka od lokacija na Dunavu ili Savi nizvodno od Siska (Slavonija) omogućavaju transport i riječnim putem.

Tehničke mogućnosti dakle postoje, a pri detaljnijem sagledavanju valjalo bi definitivno utvrditi kondicije prijevoza (kao što je to u slučaju bloka PT200, što se priprema graditi u zagrebačkoj toplani — uz TE Plomin III najizglednije nove termoelektrane u Hrvatskoj — utvrđeno idejnim projektima transporta ugljena [3]).

Glede dugoročnog osiguranja gorivom termoenergetski objekt projektiran za loženje ugljenom (alternativno teškim loživim uljem i prirodnim plinom) nema premca. U slučaju kratkoročnih obustava isporuke ugljena moguća je supstitucija teškim loživim uljem. U uvjetima da se zbog bilo kojeg razloga prekine ugovor o preorijentacija na isporučioce ugljena slične kvalitete (to pitanje određuje se u idućem poglavlju), a u krajnjem slučaju na isporučioce što ne udovoljava tom uvjetu (tada, razumljivo, uz moguće posljedice na kapacitet jedinice).

5. NUKLEARNA ENERGIJA

Vrijeme je da Hrvatska započne s pripremom izgradnje nuklearnih elektrana. Već na srednji rok (puštanje u pogon nakon 2000. godine) povoljnijega rješenja nemamo. Kao što je poznato, organi Republike Hrvatske nisu nijednom odlukom zapriječili pripremu i gradnju nuklearnih elektrana. Očito je, dakle, da glede toga zapreke nema.

6. ZAKLJUČAK

U ovom trenutku i na razini postojećih spoznaja Hrvatska elektroprivreda ne može računati s izgradnjom novih termoelektrana što će kao osnovno gorivo upotrebljavati prirodni plin ili loživo ulje. Što se

tiče tih oblika energije, uputno je računati s dobavom na postojećoj razini. Glede prirodnog plina riječ je u pravilu o sezonskim viškovima (izvanzimsko razdoblje).

Poduzimanje **konkretnih** aktivnosti na postojećim termoelektranama na osnovi optimističnijih sagledavanja dozvoljeno je jedino uz uvjet da isporučilac prirodnog plina preuzima SAV rizik što bi proizašao u slučaju da se njegova očekivanja ne ispune (na primjer davanje prioriteta elektroprivredi u potrošnji prirodnog plina i »prebacivanje« rizika na petroke-miju i ostalu vlastitu potrošnju isporučioaca).

Hrvatska kao pomorska zemlja »bogata je kvalitetnim ugljenom — odstupni su joj svi rudnici ugljena u svijetu«. Tu svoju preferenciju treba i iskoristiti za prevladavanje predstojeće krize elektroenergetskog sustava. Osnovno pitanje daljeg razvoja elektroprivrede jest stoga komunikacija s javnošću.

LITERATURA

- [1] Program razvitka hrvatske energetike i industrije, Vlada Republike Hrvatske — Ministarstvo energetike i industrije, Zagreb, siječanj 1991.
- [2] Z. MUŽEK: »Izvještaj s 14. kongresa svjetske konferencije za energiju«, Zagreb, 1989.
- [3] S. KOLUNDŽIĆ, Ž. MATIŠA, P. HUSNJAK: »Predstudija izvodljivosti TE 1000 MW na plin u kombiniranom ciklusu — dio obrade u INI, 1. Sirovinska sonovica«, Hrvatska elektroprivreda-INA zajednica poduzeća, Zagreb, 1990. godina
- [4] Procjena moguće proizvodnje ugljikovodika i potrebe uvoza plina godine 2000. i 2010, INA Naftaplin (sektor za pridobivanje), Zagreb, 27. studenoga 1990.
- [5] B. VUK, N. BILČAR, D. PEŠUT, I. ŠIMURINA: »Dugoročni razvoj energetike u Hrvatskoj«, IE-SIZ znanosti SRH, Zagreb, 1990.
- [6] Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi nafte, kondenzata i prirodnog plina te vođenju evidencije o njima, Sl. lista SFRJ, broj 66, str 2578, prosinac 1978. i Sl. list SFRJ, broj 53, str. 1886 i 1887, svibanj 1986.
- [7] Z. MUŽEK, Z. KOMERIČKI, D. MATANIĆ: »Upotreba prirodnog plina u toplanama, Institut za elektroprivredu«, Zagreb, 1990.

- [8] Grupa autora: »Predstudija izvodljivosti TE 1000 MW na plin u kombiniranom ciklusu«, Hrvatska elektroprivreda — Elektroprojekt Zagreb — INA Industrija nafte, Zagreb, 1990.
- [9] Energy Prices and Taxes (first quarter 1990.), IEA-OECD, Paris, 1990.
- [10] M. ROKSANDIĆ: »Razvoj prerade nafte«, Nafta 11-12/88, str. 701 – 714
- [11] Dokumentacija Instituta za elektroprivredu (Studijska jedinica za elektroenergetske sustave)
- [12] S. KOLUNDŽIĆ: »INA ima odgovore«, Vjesnik ZEOP-a od 30. 7. 90.
- [13] V. BUDIN: »Idejni projekt — Prometno-tehnološko rješenje željezničke infrastrukture«, SOUR ŽTP Zagreb, Zagreb, 1988.

POSSIBLE FUEL SUPPLIES FOR THE THERMOELECTRIC POWER PLANTS OF THE CROATIAN ELECTRIC SUPPLY COMPANY

Possible fuel supplies for the thermoelectric power plants in Croatia are presented. Attention is focused upon unrealistic assumptions concerning energy supply development in the development program of the Ministry of Energy. Imported hard coal and nuclear energy are proposed as realistic options for future development.

MÖGLICHKEIT DER VERSORGUNG DER WÄRMEDIAKTWERKE DER KROATISCHEN ELEKTROWIRTSCHAFT

Hier werden die Möglichkeiten der Kraftstoffversorgung der Wärmekraftwerke in Kroatien beschrieben. Es wird auf die nicht realen Annahmen der Entwicklung der Energetik, die im Entwicklungsprogramm des Ministeriums für Energetik festgelegt wurden, aufmerksam gemacht. Man schlägt vor, dass als reale Basis der zukünftigen Entwicklung die importierte Steinkohle und Kernenergie dienen.

Naslov pisca:

Mr. Zdravko Mužek, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih
brigada 37
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis
 1991-05-18

POUZDANOST NAPAJANJA GRADSKIH MREŽA SREDNJEG NAPONA S PRIKAZOM MOGUĆNOSTI POVEĆANJA POUZDANOSTI

Antun Fagarazzi, Split

UDK 621.316.13
PREGLEDNI RAD

Uspoređeni su osnovni oblici gradskih mreža 10 kV s obzirom na kriterij pouzdanosti napajanja. Obradeni su ekonomski aspekti pouzdanosti mreža 10 kV: troškovi ispada potrošača i optimiranje troškova pouzdanosti. Budući da je znatan dio neisporučene energije prouzrokovan kvarovima u mreži 10 kV, posebno su prikazane tehničke mogućnosti skraćanja vremena ispada.

Ključne riječi: pouzdanost, ispadi, troškovi ispada, statistika kvarova, oblici mreža, strukture mreža, upravljanje gradskim mrežama.

1. UVOD

Prva polovica sedamdesetih godina značajna je u istraživanju ekonomskih oblika mreža 10 kV u velikim gradovima [1,4]. U drugoj polovici sedamdesetih godina kao kriterij pri planiranju mreža 10 kV općenito je prihvaćena i pouzdanost napajanja. Budući da znanstveni radovi iz ovog područja više obećavaju nego što se u praksi — prije svega u mreži 10 kV — može realizirati, pouzdanost je već godinama preferencijalna tema na međunarodnim savjetovanjima, od kojih se posebno ističe CIRED (Congrès International des Réseaux Électriques de Distribution).

Statistike kvarova pokazuju da je pretežni dio nepravodobno isporučene energije potrošačima prouzrokovan prekidima u mreži 10 kV. Budući da pouzdanost napajanja ovisi izravno o investicijskim zahvatima u mreži, zanimljivo je znati da li određene mjere za povećanje pouzdanosti još imaju smisla. Ovaj rad zasniva se na europskim istraživanjima i rješenjima, što je u problematici gradskih mreža rado korišten postupak, a može se shvatiti i kao nastavak nekih prije objavljenih radova iz ovog područja [7, 8].

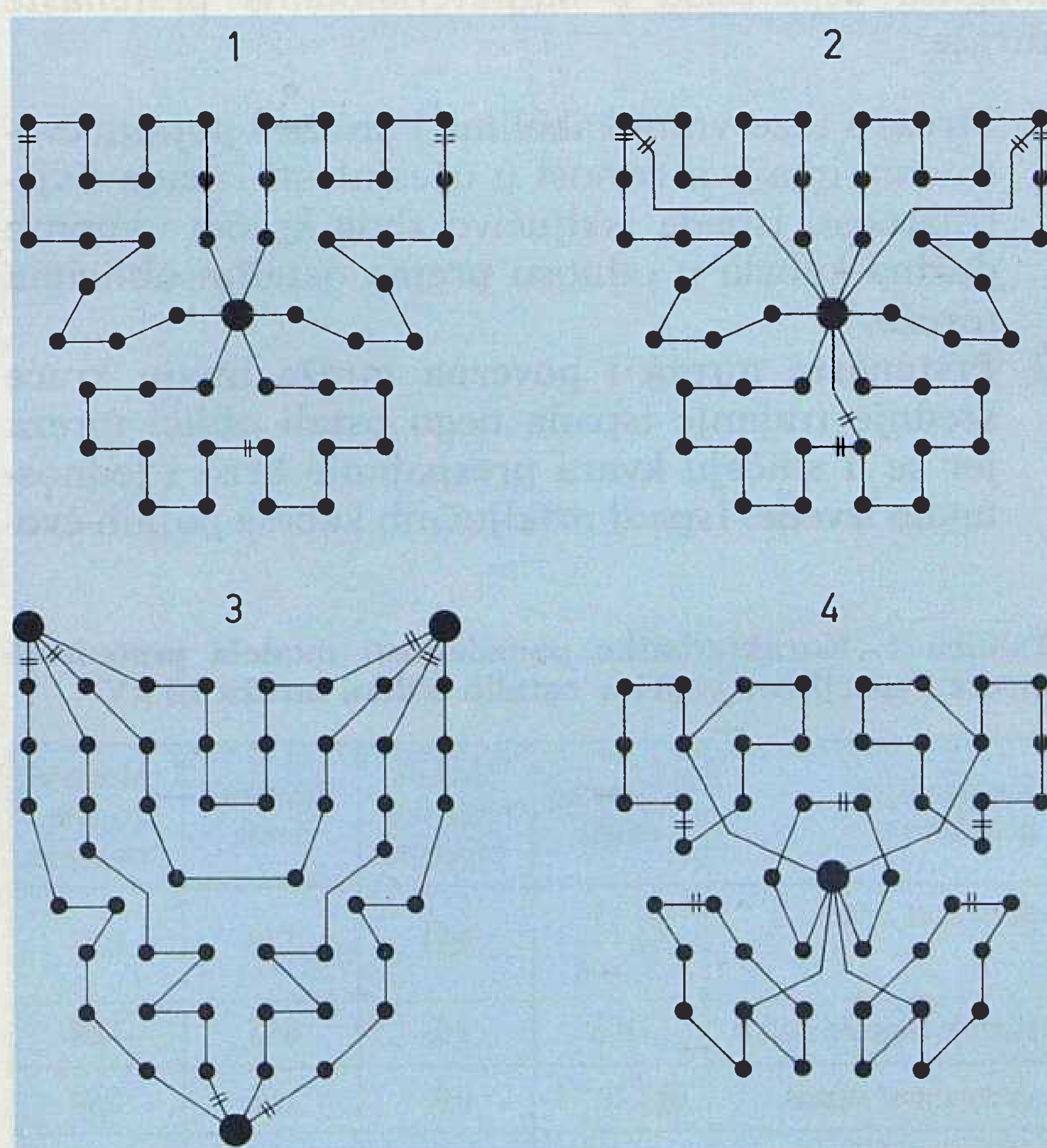
2. POUZDANOST OSNOVNIH OBLIKA MREŽA 10 kV

2.1. Ekonomski oblici mreža 10 kV

U Stuttgartu su 1974. godine analizirani na modelu ekonomski oblici mreža 10 kV [4]. Da bi se obuhvatio utjecaj vremenskog i geografskog razvoja mreže, istraživane su četiri etape izgradnje u razdoblju od 30 godina na dijelu grada površine 20 km², što ga napaja jedna TS 110/10 kV vršnog opterećenja 12,5 MVA u prvoj etapi, odnosno 100 MVA u četvrtoj etapi. Istraživanja su obuhvatila četiri u praksi osnovna oblika otvorenih mreža 10 kV (slika 1):

1. prstenastu mrežu,
2. mrežu s rezervnim kabelima,
3. poveznu mrežu,
4. mrežu s pojnim čvorovima.

Usporedba troškova pokazala je da je mreža s rezervnim kabelima najekonomičniji oblik mreže. To je prije svega zato što iskorištenje kabela prvobitne prstenaste mreže kasnije osjetno poraste polaganjem relativno kratkih rezervnih kabela. Gotovo jednako toliko je ekonomična mreža s pojnim čvorovima, pogotovo kod većih gustoća opterećenja. Prste-



Slika 1. Osnovni oblici otvorenih mreža 10 kV

- 1 — prstenasta mreža
- 2 — mreža s rezervnim kabelima
- 3 — povezna mreža
- 4 — mreža s pojnim čvorovima

nasta mreža — koja je najrašireniji oblik u gradskim mrežama — po troškovima je na trećem mjestu. Povezna mreža ne preporučuje se u gradovima, iako ima prednost zbog boljeg iskorištenja transformatora. Na osnovi rezultata zaključeno je: najprikladniji oblik mreže u velikim gradovima prije svega je prstenasta mreža, koja se s porastom opterećenja i ovisno o geografskim prilikama može izgraditi u mrežu s rezervnim kabelima ili u mrežu s pojnim čvorovima.

2.2. Analiza pouzdanosti mreža 10 kV

U radovima o gradskim mrežama srednjeg napona redovito se navode istraživanja iz Stuttgarta[4], što najbolje govori o vrijednostima dobivenih rezultata. Predstavljeni modeli za četiri koncepcije mreže poslužili su 1989. godine pri izradi jedne disertacije o pouzdanosti napajanja mreža 10 kV [21]. Analiza se odnosi na četvrtu etapu izgradnje s gustoćom opterećenja od 5 MVA/km² i ukupno 196 TS 10/0,4 kV. Granice promatrane mreže su na jednoj strani prekidači 10 kV u TS 110/10 kV, a na drugoj stezaljke niskog napona u TS 10/0,4 kV. U obzir je uzeto načelo jednostrukog ispada ($n - 1$), koje je uobičajeno pri planiranju distributivnih mreža. U istom radu dokazano je da u proračunu pouzdanosti napajanja mreža 10 kV mogu biti zanemareni višestruki ispadi i prekidi zbog održavanja transformatorskih stranica.

Rezultati proračuna pouzdanosti napajanja veoma se razlikuju za razne oblike mreža 10 kV, što je uvjetovano različitim ukupnim dužinama kabela i opterećenjima kabela. U tablici 1. prikazane su karakteristike pouzdanosti modela prstenaste mreže, a za ostale oblike mreža dane su specifične veličine, tako da je moguća usporedba s karakteristikama prstenaste mreže:

1. Mreža s rezervnim kabelima i mreža s pojnim čvorovima imaju prednost u učestalosti ispada i vjerojatnosti ispada isključivo zbog kraćih ukupnih dužina kabela u odnosu prema ostalim oblicima mreža.
2. Prstenasta mreža i povezna mreža imaju kraće srednje trajanje ispada nego ostali oblici mreža jer se u slučaju kvara prespajanje brzo i jednostavno izvede. Ispadi priključnih kabela pojnih čvo-

rova ne utječu na pouzdanost napajanja jer se automatski prespoji rezervni kabel.

3. Prstenasta mreža i mreža s pojnim čvorovima imaju prednost u pogledu snage ispada i neisporučene energije. U slučaju ispada ova snaga i energija razmjerna je broju TS 10/0,4 kV koje ostanu bez napona, a on je najveći kod mreže s rezervnim kabelima i povezane mreže, jer se u normalnom pogonu kabela grane mogu opteretiti sa 100% trajnoga dozvoljenoga opterećenja kabela. Kod mreže s pojnim čvorovima dopunjuju se prednosti male ukupne dužine kabela i malog ukupnog broja TS 10/0,4 kV koje ostanu bez napona.

3. PREKIDI NAPAJANJA U MREŽAMA 10 kV

3.1. Trajanje ispada i energija ispada

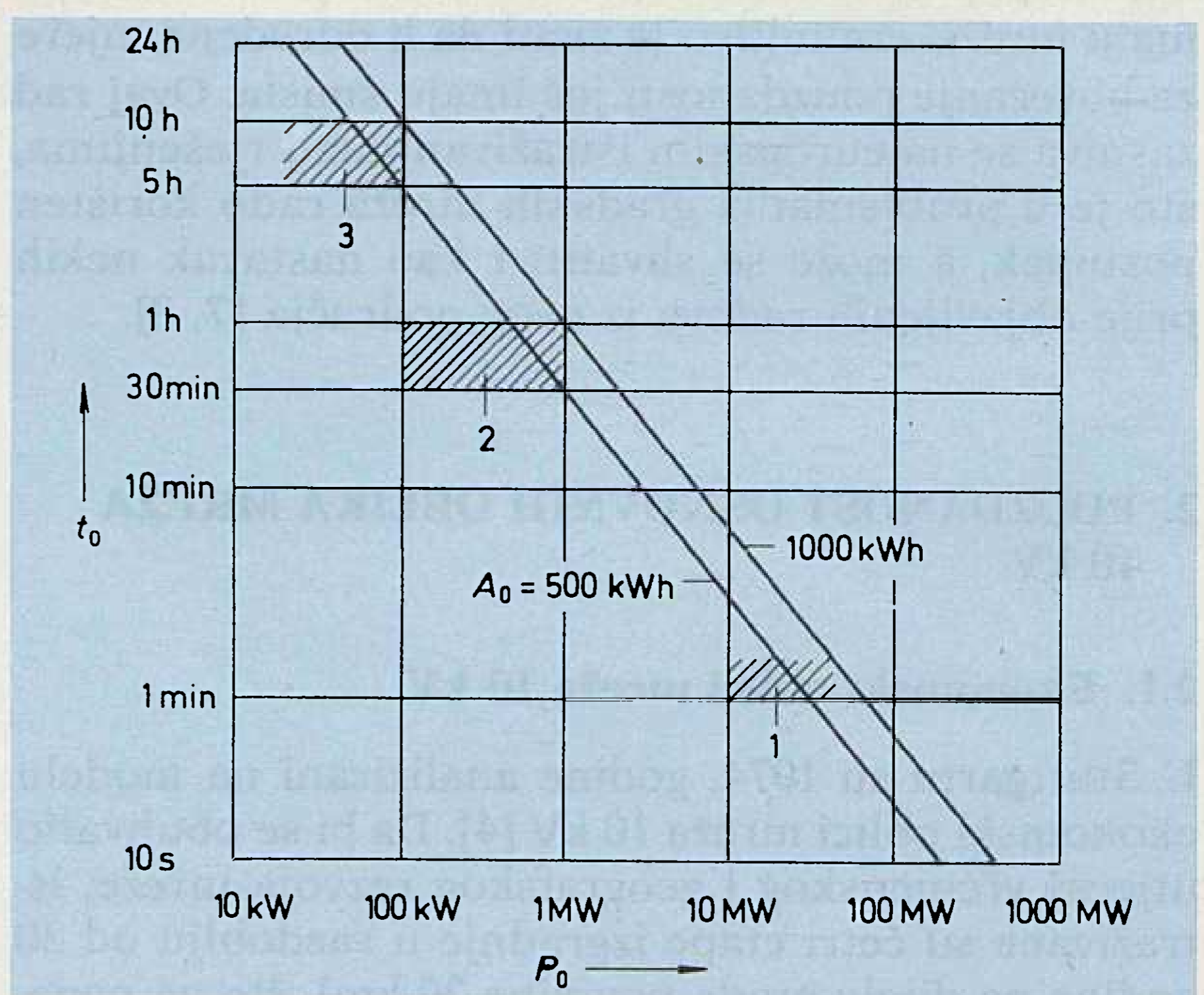
Iz pogonske je prakse poznato da jedan kvar ne može trajati po volji dugo, već trajanje prekida napajanja ovisi o značaju mjesta kvara. U slučaju kvara na višim naponskim razinama zahvaćen je veći krug potrošača, pa se zahtijeva kraće vrijeme prekida [5]. Vrijedi pravilo: što je veća snaga ispada — to je kraće trajanje ispada. U gradskim mrežama mogu se razlikovati tri karakteristična slučaja (slika 2):

1. Pri ispadu jednog transformatora 110/10 kV s opterećenjem od 10 do 40 MW mora se ručnim prespajanjem osigurati rezerva u roku 1 do 2 min.
2. Za potrošača snage od 100 do 1 000 kW, priključnog na prstenastu mrežu 10 kV u otvorenom pogonu, valja računati s trajanjem ispada od 30 do 60 min ako se kabel prespaja ručno.
3. Kabel niskog napona na kojem su priključena kućanstva s ukupnim opterećenjem od 20 do 10 sati, koliko je potrebno da se popravi kvar.

Britanska istraživanja iz 1976. godine jedne konkretne mreže upućuju na zaključak da bi valjalo težiti po-

Tablica 1. Karakteristike pouzdanosti modela prstenaste mreže i specifične veličine ostalih oblika mreža 10 kV

Karakteristika pouzdanosti	Prstenasta mreža	Mreža s rezervnim kabelima	Povezana mreža	Mreža s pojnim čvorovima
učestalost ispada	$5,2 \frac{1}{\text{god}}$	0,94	1,10	0,87
srednje trajanje ispada	1,0 h	1,03	0,95	1,08
vjerojatnost ispada	$0,61 \cdot 10^{-3}$	0,97	1,05	0,94
snaga ispada	$7\,120 \frac{\text{kVA}}{\text{god}}$	1,45	2,02	0,85
neisporučena energija	$4\,461 \frac{\text{kVAh}}{\text{god}}$	1,36	1,82	0,88



Slika 2. Ovisnost trajanja ispada t_0 o snazi ispada P_0 uz energiju ispada A_0

- 1 — transformator 110/10 kV
- 2 — potrošač 10 kV
- 3 — kabel 0,4 kV

boljšanju pouzdanosti napajanja mreže 11 i 6,6 kV, gdje nastaje većina ispada [6]. Utvrđena je ova procentualna raspodjela po naponskim razinama srednjeg godišnjeg trajanja ispada:

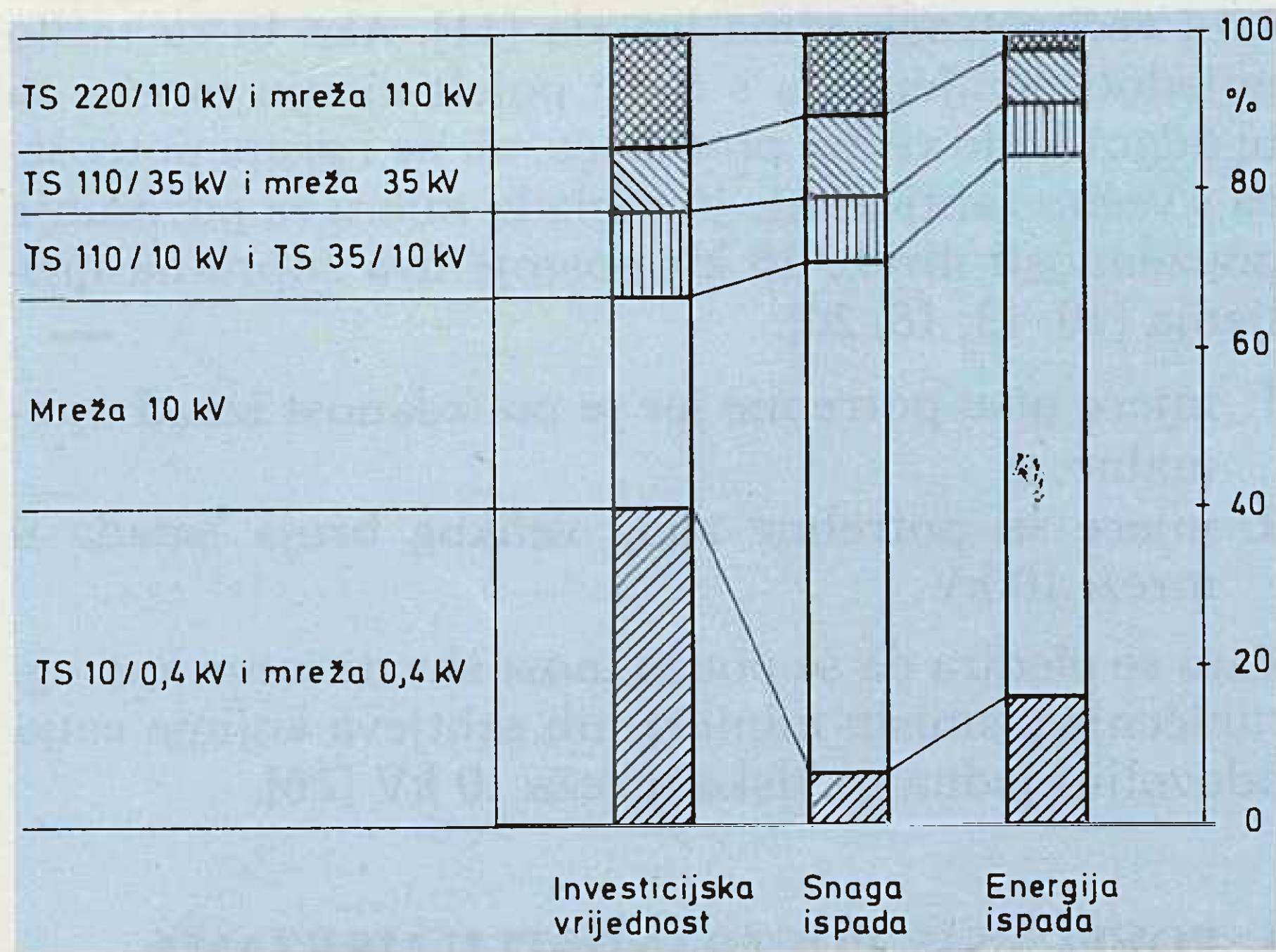
mreža najvišeg napona	1%
mreža 132, 66 i 33 kV	10%
mreža 11 i 6,6 kV	61%
mreža niskog napona	12%

Preostalih 16% su planirani prekidi, od čega se 75% odnosi na mrežu 11 i 6,6 kV. Prema tome, od ukupnog trajanja prekida napajanja potrošača na mrežu 11 i 6,6 kV otpada oko $61 + 12 = 73\%$.

Istraživanja u Stuttgartu za 1977. godinu rezultirala su ovim podacima o godišnjoj neisporučenoj energiji [11]:

mreža 220 kV	1%
mreža 110 i 35 kV	8%
mreža 10 kV	76%
mreža 0,4 kV	15%

Utvrđeno je da je odnos godišnje energije ispada i investicijske vrijednosti najveći u mreži 10 kV, a najmanji u mreži visokog napona (slika 3). U mreži 10 kV također je najveći apsolutni iznos godišnje energije ispada. U TS 10/0,4 kV i mreži 0,4 kV, gdje je investiran najveći dio sredstava, prouzrokovana energija ispada relativno je malena. Iz toga slijedi da troškovi ispada imaju malen utjecaj na rezultat planiranja mreža 10 kV zanemarljiv utjecaj TS 110/10 kV.



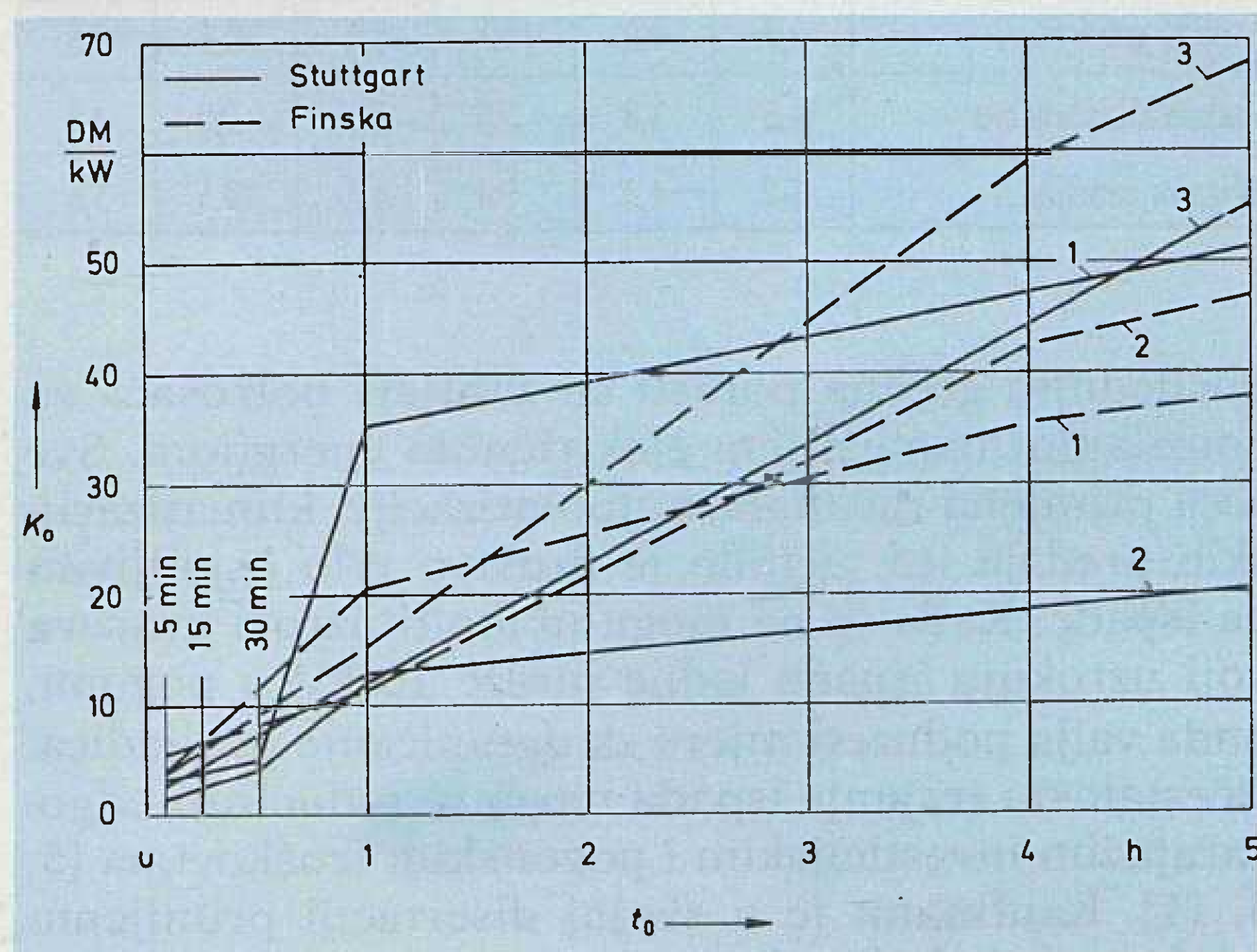
Slika 3. Raspodjela investicijske vrijednosti mreže, snage ispada i energije ispada po naponskim razinama u Stuttgartu 1977. godine

Objavljena istraživanja iz Beograda nešto su novija (iz 1985. godine) [19]. Od ukupne neisporučene energije 75% otpada na iznenadne i 25% na predviđene prekide napajanja. Dani podaci o iznenadnim ispadima vrlo su detaljni, ali ne obuhvaćaju TS 10/0,4 kV i mrežu 0,4 kV zbog velikog broja elemenata mreže. Ovdje je dovoljno navesti da se na same kabele 10 kV odnosi 72% ispada i 49% neisporučene energije; srednja snaga ispada je 1,8 MW, a srednje trajanje ispada 105 minuta.

3.2. Troškovi ispada potrošača

Troškovi ispada sastoje se od tri dijela: kod elektroprivrede zbog izgubljenog prihoda, kod potrošača zbog nastale štete i kod šire društvene zajednice zbog posljedica ispada. Kada se u praksi govori o troškovima ispada, onda se misli samo na štetu koju trpi potrošač. O određivanju vrijednosti neisporučene električne energije prvi put se opširnije raspravljalo 1981. godine na savjetovanju CIRED [10]. Izvještaji iz pet zemalja (Belgija, Velika Britanija, Finska, Nizozemska i Francuska) tada su pokazali da prosječni specifični troškovi energije ispada iznose 3 DM/kWh. U Danskoj su do podataka o troškovima ispada došli pomoću posebnog upitnika koji su ispunili potrošači [13]. Najviše troškove energije ispada imaju mala industrija i uredi (oko 20 DM/kWh), slijede robne kuće i dućani (oko 10 DM/kWh) te kućanstva i poljoprivreda (ispod 5 DM/kWh). Važna je i ovisnost troškova ispada o dobu dana; utvrđeno je da su najviši troškovi oko 15,00 sati.

Najpotpuniji podaci dolaze iz Finske, gdje su za godinu 1978/1979. utvrđeni specifični troškovi ispada ovisno o trajanju ispada za 16 grupa potrošača [10]. Anketa je za istu godinu provedena u Stuttgartu, ali samo za tri grupe potrošača: metaloprerađivačku industriju, laku industriju i uslužne pogone [11]. Te vrijednosti unesene su u isti dijagram, tako da je moguća usporedba krivulja (slika 4). Nepodudarnost krivulja iste grupe potrošača manje je značajna nego se čini na prvi pogled. Iako su u Finskoj prva istraživanja bila vrlo opsežna, ipak su ponovljena 1986. godine [23]. Na distributivnom području s oko 150 000 potrošača nasumice su odabrani potrošači iz pet grupa: kućanstva, poljoprivrede, javnih potrošača, lake industrije i uslužnih pogona. Dobiveni rezultati sada su dani broičano (tablica 2), a sadrže troškove iznenadnih i predviđenih prekida (preračunato po tečaju 1 finska marka = 0,415 DM).



Slika 4. Ovisnost specifičnih troškova ispada K_0 o trajanju ispada t_0 za tri grupe potrošača u Stuttgartu i Finskoj 1978/1979. godine

- 1 — metaloprerađivačka industrija
- 2 — laka industrija
- 3 — uslužni pogoni

U Švedskoj je za 1982. godinu objavljen izvještaj o troškovima ispada što ga je na osnovi opsežnog anketnog materijala izradila posebna komisija [14]. Iz izvještaja proizlaze podaci o maksimalnim troškovima snage i energije ispada koji su prikazani u tablici 3. (1 švedska kruna = 0,269 DM). Vidi se da su troškovi ispada u velikim gradovima osjetno viši nego u industriji i na selu. Razlog je taj što teška industrija redovito posjeduje rezervno energetska postrojenje, pa je manje osjetljiva na ispade nego, na primjer mala industrija i uredi.

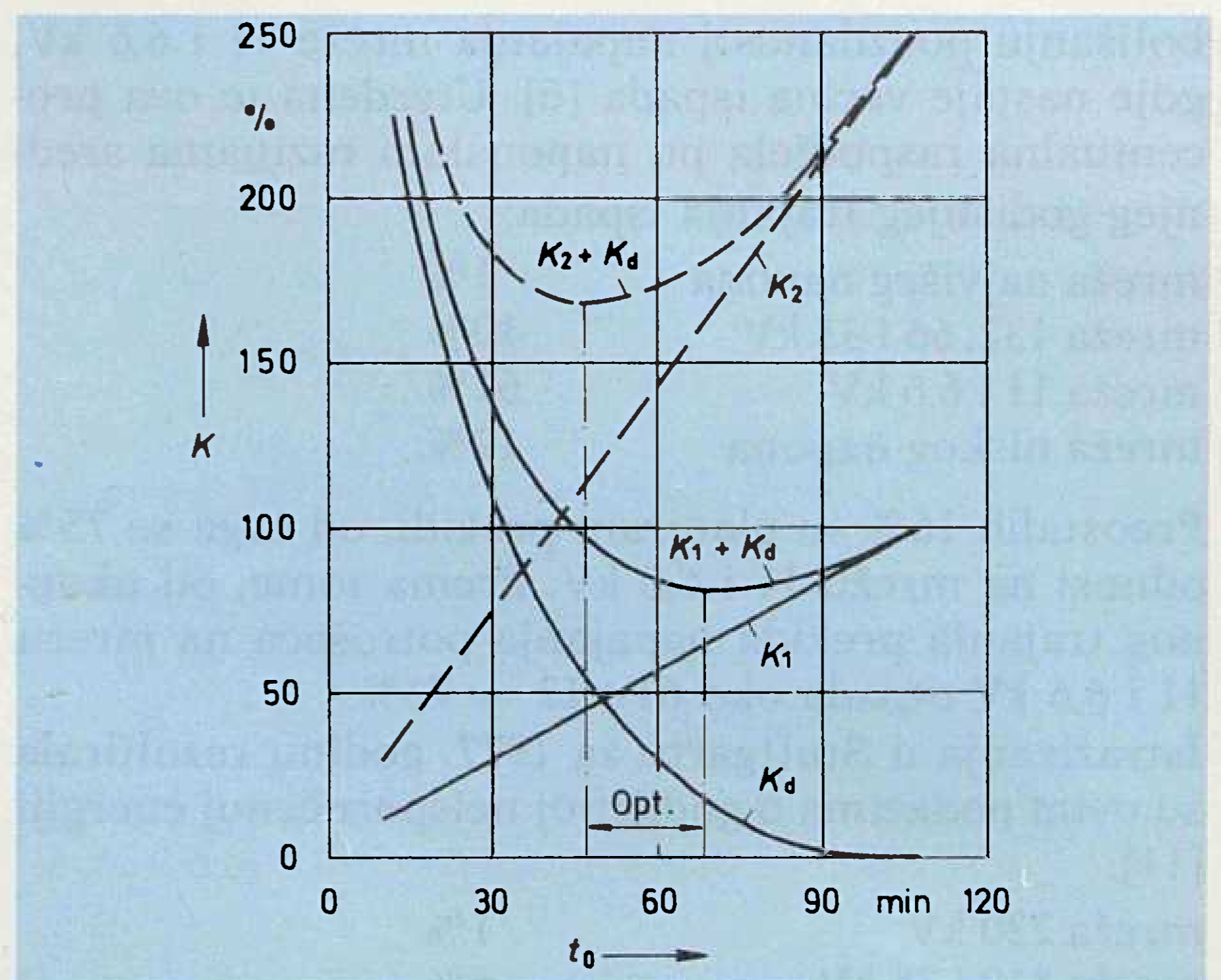
Tablica 2. Troškovi energije ispada ovisno o trajanju ispada u Finskoj 1986. godine (I-iznenadni, P-predviđeni)

Grupa potrošača		Troškovi energije ispada $\frac{DM}{kWh}$				
		const.	... 1 h	1.. 4 h	4..12 h	12... h
kućanstva	I	0,1	0,9	0,8	0,2	1,5
	P	0,1	0,5	0,5	0,2	0,6
poljoprivreda	I	0,2	1,6	2,1	2,1	4,7
	P	0,1	0,6	1,2	2,0	3,2
javni potrošači	I	2,8	14,1	10,8	7,4	25,5
	P	2,1	1,9	5,8	2,5	13,2
laka industrija	I	2,7	16,0	17,6	10,3	22,1
	P	1,6	12,2	16,4	8,4	12,2
uslužni pogoni	I	3,8	19,5	26,8	18,7	10,6
	P	1,3	12,9	12,4	20,4	3,9

Tablica 3. Maksimalni troškovi snage ispada i energije ispada ovisno o trajanju ispada u Švedskoj 1982. godine

Grupa potrošača	...1 h		1..2 h		2..8 h	
	$\frac{DM}{kW}$	$\frac{DM}{kWh}$	$\frac{DM}{kW}$	$\frac{DM}{kWh}$	$\frac{DM}{kW}$	$\frac{DM}{kWh}$
teška industrija	0,1-0,3	0,24,9	1,3-6,9	0,5-6,2	1,9-12,8	0,3-6,8
veliki gradovi	2,7	9,0	11,7	8,9	20,9	9,5
seoska kućanstva	1,5	3,8	5,3	3,7	9,0	4,5
čitava zemlja	1,2	4,3	5,4	4,8	10,3	5,6

Posljednjih godina porasli su zahtjevi potrošača za pouzdanim napajanjem električnom energijom. Sve veća primjena računala, automatizacije, klimatizacijskih uređaja itd. učinilo je društvo vrlo osjetljivim na ispade. Kada se ne mogu ukloniti uzroci kvarova koji uzrokuju ispade jedne mreže 10 kV u pogonu, onda valja poduzeti mjere za ograničenje posljedica. Učestalost i trajanje ispada mogu se reducirati odgovarajućim investicijskim i pogonskim troškovima [5, 8, 11]. Kaufmann je u svojoj disertaciji primijenio troškove ispada kao kriterij pri određivanju pouzdanosti napajanja. Optimiranje troškova pouzdanosti svodi se na određivanje minimalnih ukupnih troškova, to jest najmanjeg zbroja specifičnih troškova ispada i dodatnih troškova za povećanje pouzdanosti. Na slici 5. uspoređena je optimalna pouzdanost svih



Slika 5. Pomicanje optimalne pouzdanosti ovisno o troškovima ispada

K₁ – prosječni troškovi ispada svih potrošača
 K₂ – troškovi ispada grupe potrošača s velikim zahtjevima
 K_d – dodatni troškovi za povećanje pouzdanosti
 t₀ – trajanje ispada u mreži 10 kV.

potrošača s prosječnim troškovima ispada u odnosu na grupu potrošača s 250% većim troškovima ispada [11]. Vidi se da se minimalni ukupni troškovi samo malo pomiču ulijevo.

Budući da je u gradskim mrežama 10 kV uobičajenim načinom izgradnje već prekoračena optimalna pouzdanost, to bi moglo zadovoljiti i grupu potrošača s većim troškovima ispada [11]. Ako bi se težilo pojednostavnjenju, a s tim i pojeftinjenju mreže, to bi odgovaralo većini potrošača, ali ne i grupi potrošača s većim zahtjevima. U pogledu mjera za povećanje pouzdanosti mreže 10 kV postoje dva suprotna mišljenja [10, 13, 18, 20]:

1. mjere nisu potrebne jer je pouzdanost iznad optimalne,
2. mjere su potrebne zbog velikog broja ispada u mreži 10 kV.

Zato se pledira da se pouzdanost shvati samo kao ograničenje u smislu minimalnih zahtjeva kojima valja udovoljiti jedna gradska mreža 10 kV [26].

4. POVEĆANJE POUZDANOSTI U MREŽAMA 10 kV

4.1. Statistika kvarova kabela 10 kV

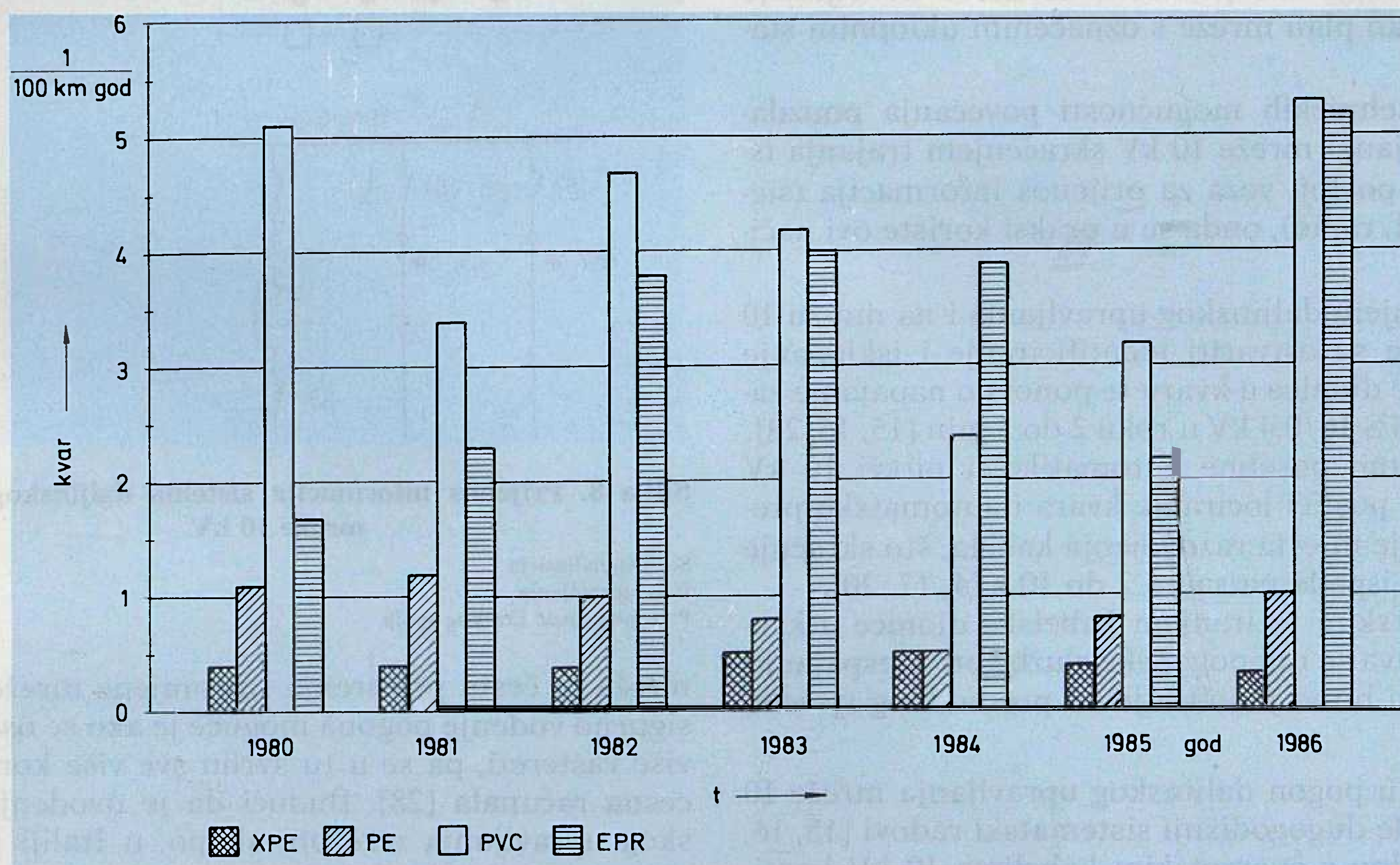
Statistike kvarova energetskih kabela vode se u svim europskim zemljama, ali se razlikuju sadržajem, opsegom i upotrebljivošću [24]. Poželjno bi bilo da se to ujednači i da se o kvarovima otvoreno izvještava. Vođenje statistike kvarova u Austriji i Švicarskoj istovjetno je i podudara s načinom vođenja u Njemačkoj. Njemačke (VDEM) statistike o smetnjama i kvarovima vode se od 1959. godine, a nalik su na statistike iz Velike Britanije i Francuske, ali ne obuhvaćaju bitne podatke o vremenu prekida i veličinama prekida. Francuske statistike dodatno sadrže i oštećenja

pogonskih elemenata koja ne dovode do prekida napajanja. Što se tiče domaćih prilika, još smo na početku. Valja spomenuti zaključak sa simpozija CIGRÉ o potrebi jedinstvene metodologije prikupljanja, analize i statističke obrade podataka o kvarovima [30].

Posljednjih je godina uočeno da energetska kabela srednjeg napona novije konstrukcije imaju osjetno manje kvarova nego kabela izolirani impregniranim papirom. Broj unutarnjih kvarova (kvarova bez vanjskog uzroka) kod kabela izoliranih papirom više je od 25 godina konstantan i iznosi prosječno 2 kvara na 100 km i godinu [25]. Podaci iz Belgije pokazuju da je odnos broja unutarnjih kvarova kabela izoliranih umreženim polietilenom i kabela izoliranih papirom otprilike 1:2, a iz Francuske čak 1:3. Za unutarnje kvarove bitno je znati da je broj kvarova na kabelskim garniturama (završecima i spojnicama) jednako tako čest kao i na samom kabeu.

vana. Podaci iz Essena za 1970. godinu su zanimljivi jer se od ukupno 211 kvarova svih kabela 10 kV samo 83 kvara (oko 40%) odnosi na oštećenja zbog građevinskih radova[2]. Također se može uočiti da većina kvarova nastaje u toku dana (slika 7).

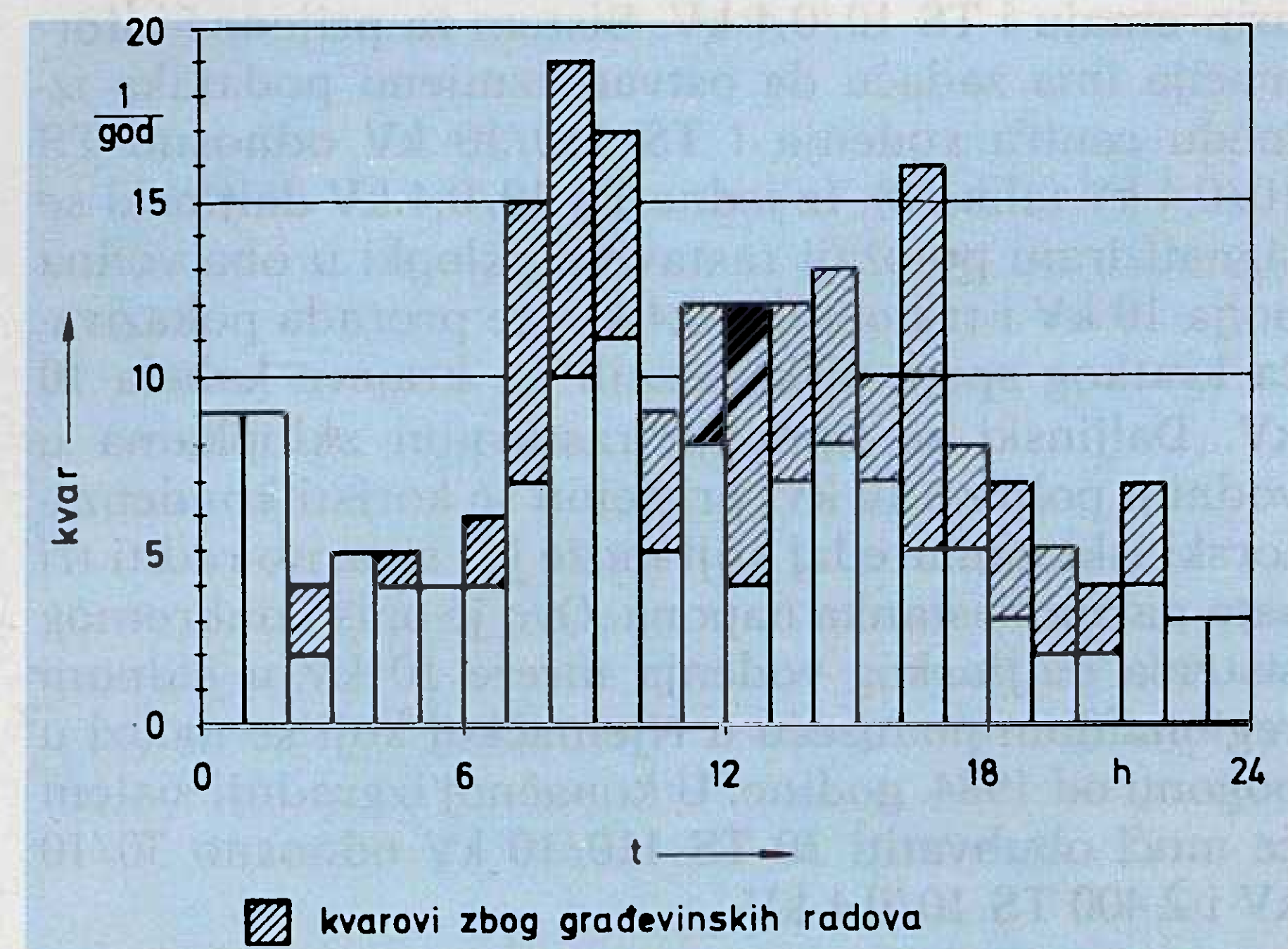
Statistike kvarova pokazuju da značajan doprinos povećanju pouzdanosti mreža 10 kV predstavlja uzemljenje zvjezdišta 10 kV preko malog radnog otpora [9]. S tom mjerom eliminiraju se brojni dvostruki i višestruki zemni spojevi i smiruje pogon mreže. U gradskim kabelskim mrežama 10 kV s izoliranim zvjezdištem struje zemnog spoja obično su do 100 A, a ponekad i više, što ovisi o dužini galvanski povezane mreže napajanje iz jedne TS 110/10 kV, kao i tipu i presjeku kabela. Ali, već kod struje zemnog spoja od oko 10 A ne može se računati s uspješnim samogašenjem električnog luka: dolazi do petrostrukih prenapona i najkasnije za 30 min nastupa višestruki kvar.



Slika 6. Prosječan broj unutarnjih kvarova kabela 10 kV s četiri vrste izolacije (XPE, PE, PVC i EPR) u 14 europskih zemalja 1980 – 1986. godine

Zanimljivo je istraživanje koje je na osnovi statistike kvarova kabela 14 europskih zemalja proveo INIPE-DE (Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique) [25]. Uspoređeni su prosječni brojevi unutarnjih kvarova kabela 10 kV izoliranih s četiri vrste izolacije za razdoblje od 1980. do 1986. godine (slika 6). Jasno se vidi da kabela izolirani umreženim polietilenom (XPE) imaju osjetno manje kvarova nego kabela izolirani polietilenom (PE), polivinilkloridom (PVC) ili etilenpropilenom (ERP). Kabelski izolacijski materijal s boljim svojstvima od umreženog polietilena za sada se ne predviđa, pa se postojeći XPE-kabel smatra zadovoljavajućim.

Međutim, primjena sve pouzdanijih kabela 10 kV ne znači da je time potpuno riješeno pitanje pouzdanosti napajanja, jer veliki broj oštećenja kabela nije zbog unutarnjih kvarova, nego su prouzrokovana iz-



Slika 7. Dnevna raspodjela broja kvarova kabela 10 kV u Essenu 1970. godine

4.2. Mogućnosti skraćanja trajanja ispada u mrežama 10 kV

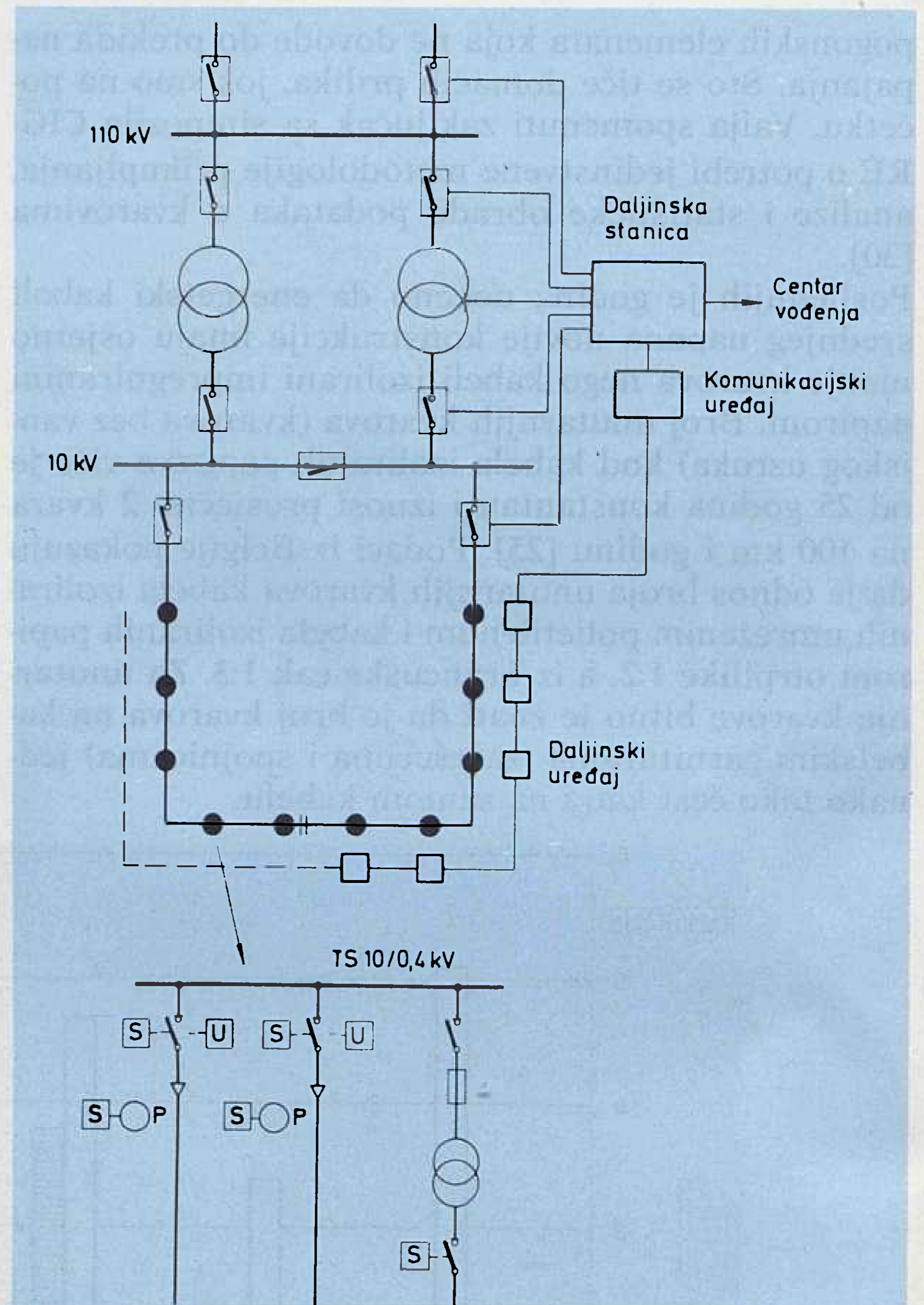
Ugradnjom tehnički boljih elemenata mreže postižu se mala i polagana poboljšanja pouzdanosti napajanja. Budući da je oko 70% nispočene energije potrošačima prouzrokovano kvarovima u mreži 10 kV, zanimljivo je potražiti mogućnosti reduciranja trajanja prekida napajanja [12, 17]. Trajanje ispada u gradskoj mreži 10 kV većinom iznosi do 1 sata — a u nekim slučajevima i duže — jer sva prespajanja ručno obavlja stalna pogonska služba. U slučaju kratkog spoja valja najprije pronaći kabelsku dionicu ukvaru i obostrano je iskloniti, pa zatim ostvariti napajanje TS 10/0,4 kV koje su ostale bez napona. Postojeći sistemi daljinskog upravljanja iz centra vođenja obuhvaćaju TS 110/10 kV i ne mogu bitno utjecati na trajanje ispada u mreži 10 kV. Sada je za vođenje pogona najkorisnija jednostavno i pregledno oblikovana mreža 10 kV, a kao pomoćno sredstvo dovoljan je shematiziran plan mreže s označenim uklopnim stanjem.

Ima više tehničkih mogućnosti povećanja pouzdanosti napajanja mreže 10 kV skraćanjem trajanja ispada. Ako postoji veza za prijenos informacija (signalni kabel, radio), onda se u praksi koriste ovi načini:

1. Proširenjem daljinskog upravljanja i na mrežu 10 kV može se ostvariti identificiranje i isklapanje kabelske dionice u kvaru te ponovno napajanje zatečenih TS 10/0,4 kV u roku 2 do 3 min [15, 16, 28].
2. Ugradnjom posebne automatike u mreži 10 kV može se postići lociranje kvara i automatsko premještanje mjesta razdvojenja kabela, što skraćuje trajanje ispada na samo 2 do 10 s [4, 17, 20].
3. Automatskim lociranjem kabelske dionice u kvaru ubrzava se rad pogonske službe pri prespajanju kabela, a bitno je jeftinije od prethodnog rješenja [17, 20].

Stavljanju u pogon daljinskog upravljanja mreže 10 kV prethode dugogodišnji sistematski radovi [15, 16, 28]. Paralelno s energetskim kabelima 10 kV kontinuirano se polažu informacijski kabeli (10 ili 20 — parni) do svake TS 10/0,4 kV. Također se postepeno pripremaju i TS 10/0,4 kV. Sistem za prijenos informacija ima zadaću da ostvari izmjenu podataka između centra vođenja i TS 110/10 kV odnosno TS 10/0,4 kV (slika 8). Iz jedne TS 10/0,4 kV daljinski se signaliziraju položaji rastavnih sklopki u oba vodna polja 10 kV i trafo polja 0,4 kV, te prorada pokazivača kratkog spoja priključenih na krajeve kabela 10 kV. Daljinski se upravlja rastavnim sklopkama u vodnim poljima 10 kV, pri čemu se koristi kondenzatorski isklonni uređaj koji može još sigurno raditi tri sata nakon nestanka napona. Ovo je opis konkretnog sistema daljinskog vođenja mreže 10 kV u jednom regionalnom poduzeću u Njemačkoj koji se nalazi u pogonu od 1984. godine. U konačnoj izgradnji sistem će moći obuhvatiti 30 TS 110/10 kV odnosno 30/10 kV i 2 400 TS 10/0,4 kV.

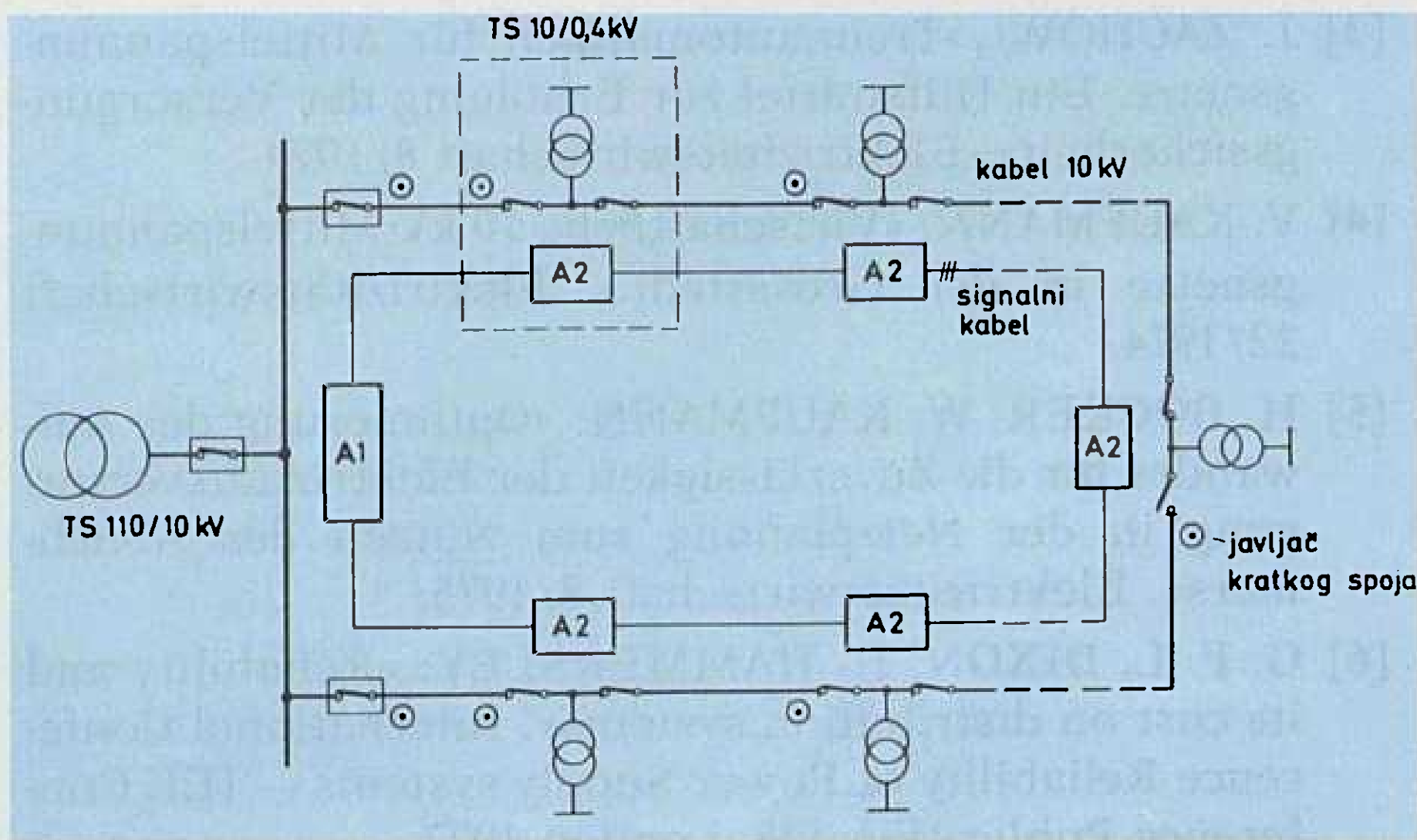
Daljinsko upravljanje i nadziranje mreže 10 kV otežava velik broj podataka, nepregledno oblikovana



Slika 8. Prijenos informacija sistema daljinskog vođenja mreže 10 kV

S — signalizacija
U — upravljanje
P — pokazivač kratkog spoja

mreža te česta proširenja i promjene mreže. Brzo i sigurno vođenje pogona moguće je ako se osoblje što više rastereti, pa se u tu svrhu sve više koriste procesna računala [28]. Budući da je uvođenje daljinskog upravljanja mrežom skupno, u Italiji predlažu samo upravljanje čvornim stanicama, kojih je oko 10% [25]. Ako jedna TS 10/0,4 kV ima prosječno pet izvoda 10 kV, znači da će 80% potrošača u slučaju kratkog spoja biti ponovno napajani za 2 do 3 min. Također se može povećati pouzdanost mreže povezanog oblika tako da se daljinsko upravljanje uvede samo u jednoj TS 10/0,4 kV na sredini kabela, pa mjesto razdvojenja nije više na kraju (kao na slici 1). Rješenje s automatikom predviđa da se u slučaju kvara na jednom kabelu 10 kV iskloni struja kratkog spoja prekidačem u TS 110/10 kV na osnovi prorade javljača kratkog spoja identificira i obostrano iskloni dio kabela između dvije TS 10/0,4 kV koji je u kvaru, te ukloni rastavna sklopka na mjestu razdvojenja kabelskog prstena (slika 9). Automatsko pronalaženje mjesta kvara i prespajanje kabela već dugo se eksperimentalno obrađuje i dosadašnji rezultati ohrabruju. Ova tehnika montirana je na području jedne TS 110/10 kV u Suttgartu prije 1974. godine, ali je opće uvođenje izostalo jer su godišnji troškovi veći nego procijenjena nepravodobno isporučena energija [11].



Slika 9. Prsten mreže 10 kV s automatskim brzim premještanjem mjesta razdvojenja

A1 — automatika u TS 110/10 kV
A2 — automatika u TS 10/0,4 kV

Do sada uobičajeni kabeli za upravljanje i signalizaciju s bakrenim vodičima položeni uz energetski kabel ili integrirani u sam energetski kabel nisu najbolje rješenje zbog mogućih smetnji [22]. Zbog udara грома pojave se prenaponi koji prouzrokuju razaranja instrumenata i elektronike. Čak i kada su signalni kabeli s bakrenim vodičima odvojeno položeni od kabela 10 kV u istom rovu, ne mogu se isključiti smetnje. U slučaju kratkog spoja u kabelu 10 kV valja računati s induciranim naponom u paralelno položenom signalnom kabelu do 1 000 V/km. Zato se posljednjih godina za prijenos informacija sve više koristi optički kabel, koji u usporedbi s konvencionalnim bakrenim kabelom između ostalog ima prednost i zbog neosjetljivosti na električno i magnetsko polje. Posebno je prikladna kombinirana izvedba energetskog i signalnog kabela (slika 10).

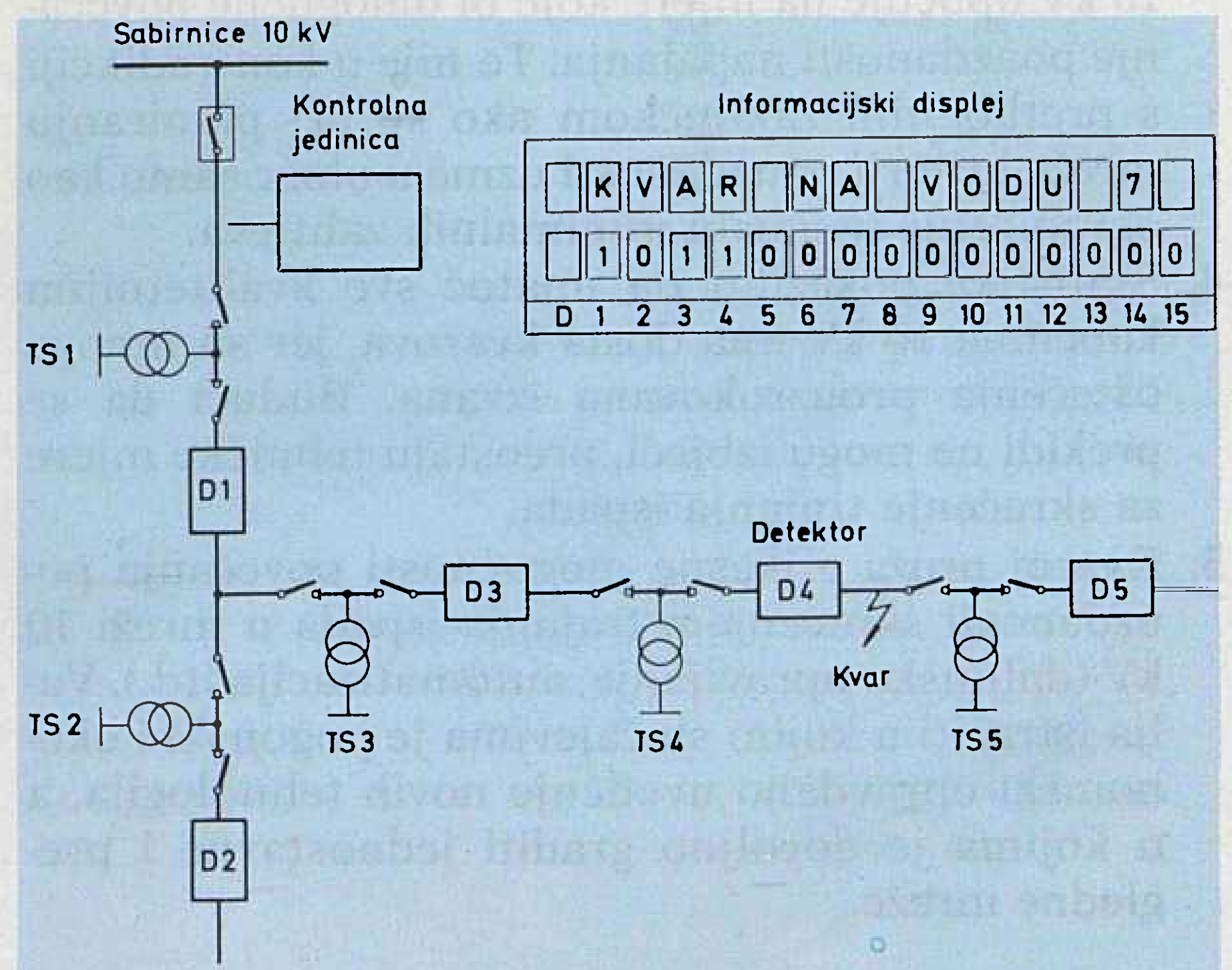
Ako ne postoji put za prijenos informacija, pouzdanost mreže 10 kV može se povećati na ovaj način:



Slika 10. Optički kabel integriran u energetski kabel srednjeg napona (proizvodnje Felten & Guilleaume)

1. Ugradnjom automatike u TS 10/0,4 kV, koja — kada stanica ostane bez napona — ovisno o signaliziranom stanju pokazivača kratkog spoja otvara odnosno zatvara rastavnu sklopku prema zadanom programu [12]. Tako se u slučaju kvara postigne brzo ponovno stavljanje u pogon dijela zatečenih stanica. Jedan takav sličan uređaj već dugo je poznat pod nazivom rastavna automatika [3].
2. Uvođenjem sistema za indikaciju kvara s automatskim javljanjem može se dobiti informacija o kabelskoj dionici u zemnom spoju nakon isklapanja kabela 10 kV djelovanjem zemljospojne zaštite [27].

Statistike pokazuju da velik dio kvarova na kablama 10 kV potječe od zemnih spojeva nastalih probijem vanjske izolacije kabela. Dojava mjesta kvara u roku od 16 s omogućuje nov sistem zasnovan na mikroprocesoru [31]. Korištenjem energetskog kabela nakon isklapanja izbjegavamo troškove za skupe signalne kabele. Za komunikaciju služi frekvencija 10 kHz uz doseg 10 km s obzirom na tolerantno prigušenje signala. Jedan sistem pokriva 8 radijalnih kabelskih vodova s po 15 TS 10/0,4 kV na svakom vodu. U TS 110/10 kV nalazi se kontrolna jedinica i sprežni uređaj, a na kraju izlaznog kabela u TS 10/0,4 kV detektori kvara. U slučaju kvara struja zemnog spoja pobudi one detektore u TS 10/0,4 kV kroz koje protječe u trenutku kvara. Nakon isklapanja voda aktivirani detektori šalju impulse vremenski stupnjevane po 1 s. Informacija o kabelskoj dionici u zemnom spoju očita se na displeju s tekućim kristalima u TS 110/10 kV. Kvar se nalazi iza stanice u kojoj se nalazi zadnji aktivirani detektor (u primjeru na slici 11. To je kabelska dionica između TS 4 i TS 5).



Slika 11. Sistem za indikaciju kabelske radionice 10 kV u zemnom spoju

Potrošači s visokim troškovima ispada mogu se i individualno napajati s povećanom pouzdanosti tako da se izvede rezervni priključak s automatskim prespajanjem, dvostrano napajanje ili pomoćni agregat. Posebno je u porastu broj ugrađenih pomoćnih agregata, koje neki koriste i u doba vršnih opterećenja.

Potrošači će uvijek biti spremni preuzeti dodatne troškove za povećanje pouzdanosti kada oni budu osjetno niži od uštedenih troškova ispada [11].

Osim iznenadnih prekida nastalih u slučaju kvara, postoje i predviđeni prekidi zbog održavanja, popravaka i izgradnje objekata. Budući da predviđeni prekidi prespajanjem dovode do pogonskog stanja kao nakon jednostrukog kvara, trajanje prekida je ograničeno, jer u slučaju stvarnog kvara u mreži više nema rezerve. Montažni radovi moraju biti tako pripremljeni i izvedeni da u TS 110/10 kV traju najduže 8 sati, a u TS 10/0,4 kV najduže 2 sata [17] ili čak samo 6 odnosno 1 sat [19]. Ako se radi pod naponom, predviđeni prekidi mogu se sasvim izbjeći [29]. U Francuskoj je rad pod naponom uveden još potkraj šezdesetih godina, a višegodišnja dobra iskustva rezultat su savjesne obuke osoblja i provedenih sigurnosnih mjera.

5. ZAKLJUČAK

1. Pouzdanost napajanja gradskih kabelskih mreža 10 kV ovisi o oblicima mreža. Utvrđeno je da prstenasta mreža i mreža s pojnim čvorovima ima prednost u odnosu prema mreži s rezervnim kablama i povezoj mreži zbog manje snage ispada i energije ispada.
2. Vrijednost neisporučene energije zbog ispada sve više se istražuje, iako nije presudan faktor pri optimiranju mreže 10 kV. Budući da je pouzdanost mreže 10 kV viša od optimalne, ne smatra se potrebnim dodatno ulaganje u poboljšanje mreže.
3. Relativno dugo godišnje trajanje ispada u mreži 10 kV upućuje na mjere koje bi omogućile povećanje pouzdanosti napajanja. To nije u kontradikciji s prethodnim zaključkom ako se pri planiranju mreže kriterij pouzdanosti uzme u obzir samo kao ograničenje u smislu minimalnih zahtjeva.
4. Statistike pokazuju da unatoč sve kvalitetnijim kablama 10 kV ima dosta kvarova, jer su mnoga oštećenja prouzrokovana izvana. Budući da se prekidi ne mogu izbjeći, preostaju tehničke mjere za skraćivanje trajanja ispada.
5. Razvoj pruža efikasne mogućnosti povećanja pouzdanosti skraćivanjem trajanja ispada u mreži 10 kV (daljinsko upravljanje, automatizacija itd.). Valja istražiti u kojim slučajevima je pogonski i ekonomski opravdano uvođenje novih tehnologija, a u kojima je dovoljno graditi jednostavne i pregledne mreže.

LITERATURA

- [1] H. LIPKEN: »Wirtschaftliche Netzformen städtischer 10 kV- und 110 kV-Netze.« Elektrizitätswirtschaft 22/1972.
- [2] G. WANSER: »Kabelanlagen in städtischen Versorgungsnetzen.« Energiewirtschaftliche Tagesfragen 6/1973.
- [3] J. ZACHOW: »Trennautomatiken für Mittelspannungsnetze. Ein Hilfsmittel zur Erhöhung der Versorgungssicherheit.« Elektrizitätswirtschaft 8/1974.
- [4] V. KAUFMANN: »Virtschaftliche 10 kV-Mittelspannungsnetze in der Grosstadt.« Elektrizitätswirtschaft 22/1974.
- [5] H. BÖCKER, W. KAUFMANN: »Optimierung des Aufwandes für die Zuverlässigkeit der Elektrizitätsversorgung in der Netzplanung zum Nutzen des Abnehmers.« Elektrizitätswirtschaft 8/1975.
- [6] G. F. L. DIXON, H. HAMMERSLEY: »Reliability and its cost on distribution systems.« International Conference Reliability of Power Supply systems — IEE Conference Publication 148, London 1977.
- [7] A. FAGARAZZI: »Neke tendencije razvoja gradskih mreža 110 kV. Savjetovanje o planiranju, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža u Jugoslaviji«, Herceg-Novi 1977. Energija 1-2/1978.
- [8] A. FAGARAZZI: »Izbor sheme modernih gradskih transformatorskih stanica 110/10 i 110/20 kV s obzirom na koncepciju mreže i pouzdanost napajanja.« XIV. savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije — CIGRÉ, Sarajevo 1979. Energija 5-6/1979.
- [9] A. JOHANSEN: »Einpoliger Fehler Wischer — Kombinierte Sternpunktbehandlung in 10 kV-Mittelspannungsnetzen.« Elektrotechnische Zeitschrift 7/1981.
- [10] W. KAUFMANN: »CIRED 1981, Sitzung 6 — Auslegung und Planung öffentlicher Verteilungsnetze.« Elektrotechnische Zeitschrift 19-20/1981.
- [11] V. KAUFMANN: »Berücksichtigung der Ausfallkosten der Abnehmer bei der Netzplanung.« Elektrotechnische Zeitschrift 3/1982.
- [12] G. FRANK, W. WASTE: »Möglichkeiten zur Verbesserung Versorgungszuverlässigkeit bei einem regionalen Elektrizitätsversorgungsunternehmen.« Elektrizitätswirtschaft 1-2/1983.
- [13] M. ERCHE: »CIRED 1983, Sitzung 6 — Entwurf und Planung von öffentlichen Verteilungsnetzen.« Elektrotechnische Zeitschrift 15/1983.
- [14] R. ERIKSSON, C. ÖHLÉN: »Zuverlässige Übertragung und Verteilung elektrischer Energie.« Asea — Zeitschrift 3-4/1985.
- [15] H. KÖRNER, W. VEHLING, R. KAHNT: »Ein Netzleitsystem für die Betriebsführung des Hoch — und Mittelspannungsnetzes — Planung und Vorbereitung.« Elektrizitätswirtschaft 4/1985.
- [16] E. KAMMERER, G. KAULS: »Ein Netzleitsystem für die Betriebsführung des Hoch — und Mittelspannungsnetzes — Technische Lösung.« Elektrizitätswirtschaft 4/1985.
- [17] H. FREUND: »Versorgungszuverlässigkeit — Möglichkeiten ihrer betrieblichen Beeinflussung.« Energiewirtschaftliche Tagesfragen 11/1985.
- [18] M. ERCHE: »CIRED 1985, Sitzung 6 — Entwurf und Planung von öffentlichen Verteilungsnetzen.« Elektrotechnische Zeitschrift 17/1985.
- [19] T. MILANOV: »Nekoliko pokazatelja pouzdanosti napajanja potrošača električnom energijom na gradskoj distributivnoj mreži.« Elektroprivreda 3–4/1987.
- [20] W. FERENZ: »CIRED 1987, Sitzung 4 — Netzbetrieb und Steuerung der öffentlichen Versorgung.« Elektrizitätswirtschaft 18/1987.
- [21] E. ROOS: »Versorgungszuverlässigkeit von Mittelspannungsnetzen der öffentlichen Energieversorgung.« Elektrizitätswirtschaft 6/1989.

- [22] P. BANDOLSKY: »Stadtwerke planen für die Zukunft«. Elektrotechnische Zeitschrift 9/1989.
- [23] A. Mäkinen, J. PARTANEN, E. LAKERVI, K. KOIVURANTA: »A practical approach for reliability evaluation of distribution networks.« CIRED, Brighton 1989.
- [24] G. TRAEDER, H. REISNER, K. WANNOW: »Aims and structure of VIDEW statistics of incidents and damage as a means of improving the reliability of supply«. CIRED, Brighton 1989.
- [25] F. WIZNEROWICZ: »CIRED 1989, Sitzung 3 — Kabel und Freieleitungen«. Elektrizitätswirtschaft 19/1989.
- [26] E. PIEHL: »CIRED 1989, Sitzung 6 — Entwurf and Planung öffentlichen Verteilungsnetze«. Elektrizitätswirtschaft 19/1989.
- [27] K. D. HAIM, J. SCHEIBLER: »Automatische Fehlerortung und Schaltanlagenvereinfachung in Mittelspannungs-Kabelnetzen«. Elektrie 3/1990.
- [28] H. WOLF, K. D. MAIER: »Netzleitsystem und Betriebsführung des Mittelspannungsnetzes in einem städtischen Querverbundunternehmen«. Elektrizitätswirtschaft 4/1990.
- [29] E. STEINBAUER: »Das Arbeiten unter Spannung als Beitrag zu einer weiten Verbesserung der Betriebsführung«. Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft 8/1990.
- [30] Z. CVETKOVIĆ: »Izvještaj o radu i zaključci«. XII. simpozij o energetskim kabelima — CIGRÉ, Novi Sad 1990.
- [31] Type SR 100 faulted section indication system. Publication R-4030. The General Electric Company, England.

RELIABILITY OF SUPPLY IN MEDIUM VOLTAGE URBAN NETWORKS WITH A SURVEY OF POSSIBILITIES FOR INCREASING RELIABILITY

A comparison of the basic types of 10 kV urban networks regarding reliability of supply is presented. The economic aspects of 10 kV network reliability are considered, specifically consumer outage costs and reliability costs optimization. Since a significant part of undelivered energy is due to breakdowns in the 10 network, technical possibilities for reducing outage time are described separately.

ZUVERLÄSSIGKEIT DER STROMVERSORGUNG DER STADTNETZE DER MITTLEREN SPANNUNG MIT DER DARSTELLUNG DER MÖGLICHKEIT ZUR ERHÖHUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT

Man vergleicht die Grundformen der Stadtnetze 10 kV mit Bezug auf das Kriterium der Versorgungszuverlässigkeit. Es wurden die wirtschaftlichen Aspekte der Zuverlässigkeit 10 kV bearbeitet, wie der Ausfall der Verbraucher und die Optimierung der Zuverlässigkeitskosten. Da ein wesentlicher Teil des nicht gelieferten Stromes durch Schäden im 10 kV Netz entstanden ist, wurden die technischen Möglichkeiten der Verkürzung des Stromausfalles beschrieben.

Naslov pisca:

Antun Fagarazzi, dipl. inž.
Hrvatska elektroprivreda,
Elektrodalmacija
58000 Split, Radničko šet. 42,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
 1991-04-11.

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

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

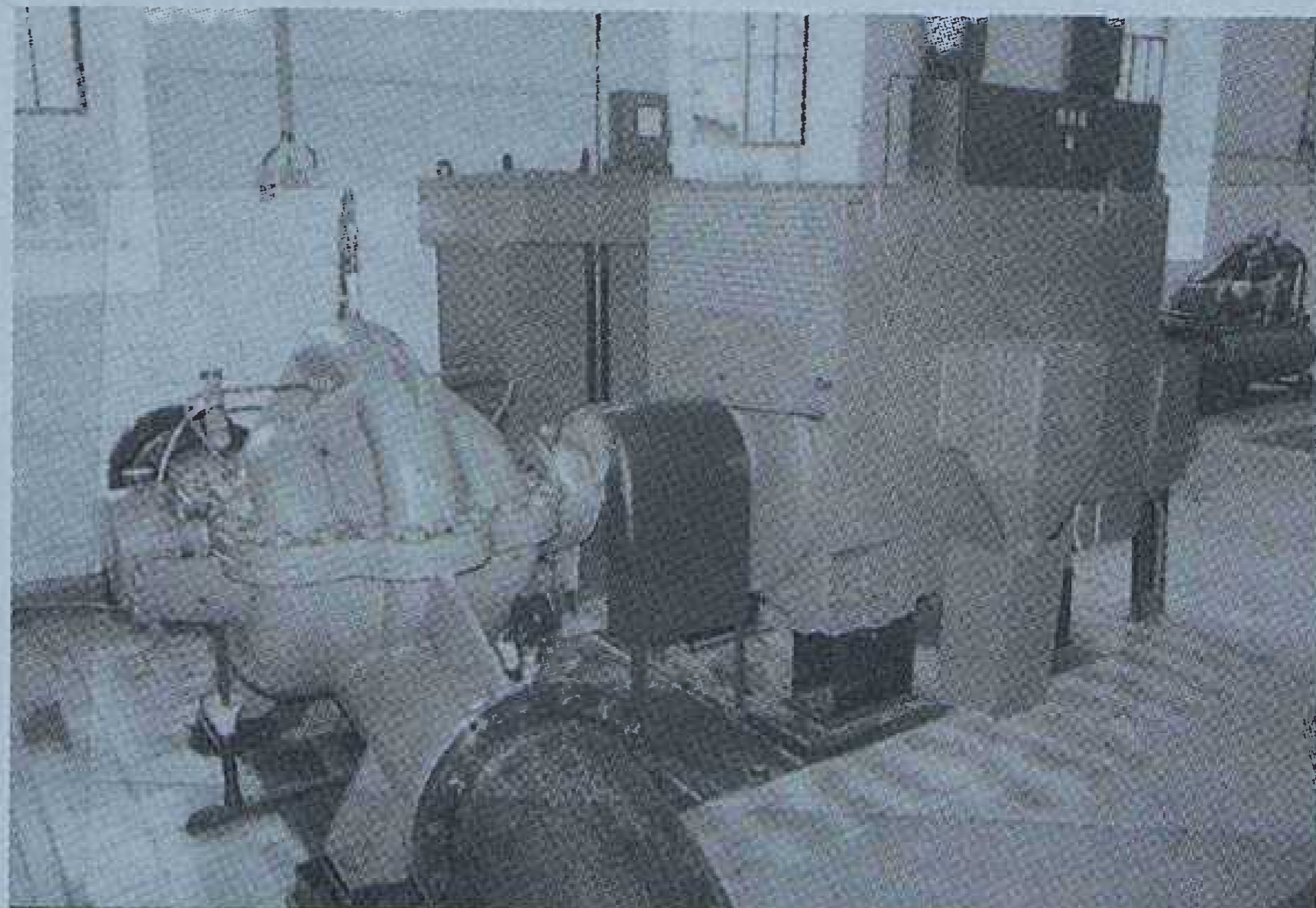
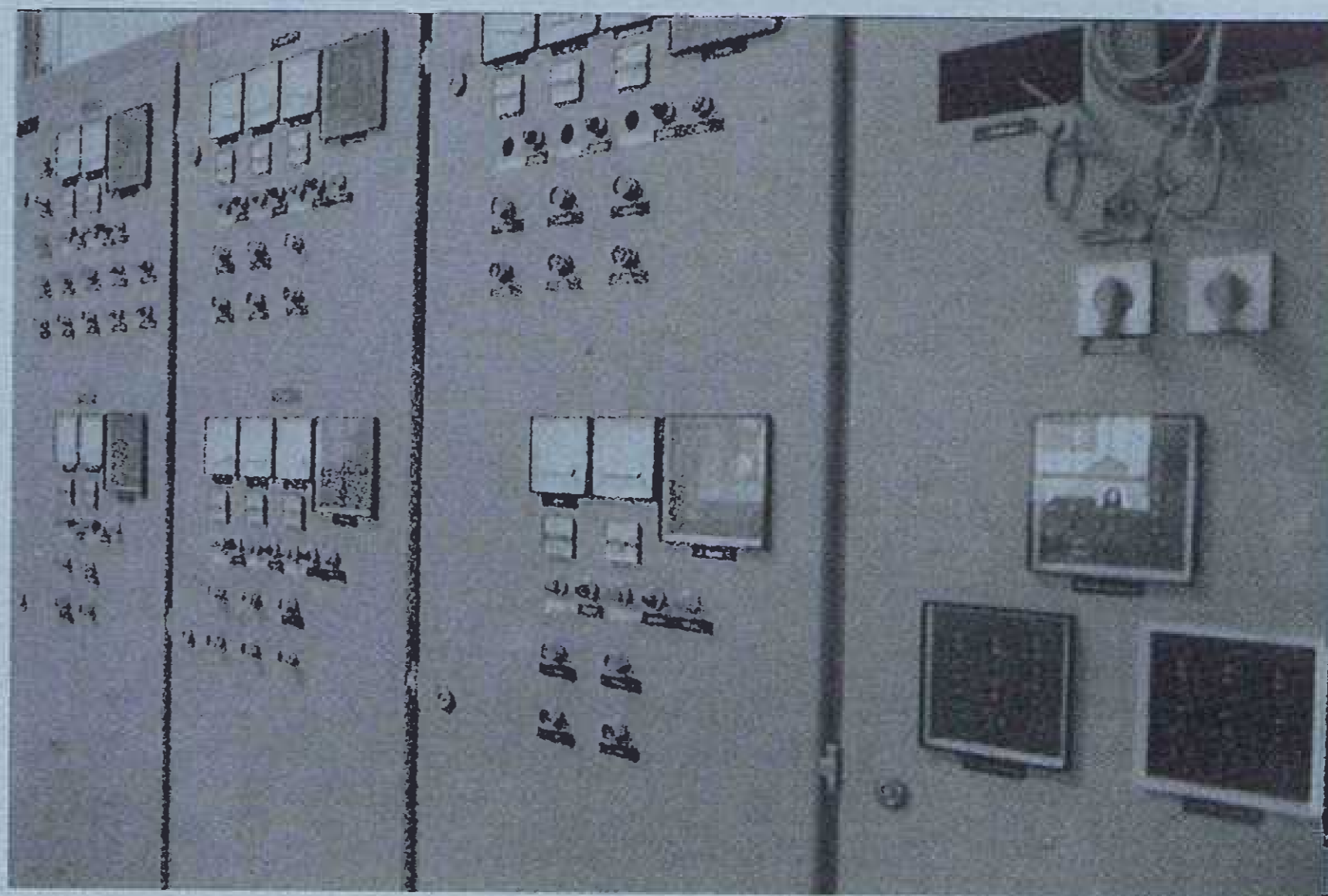
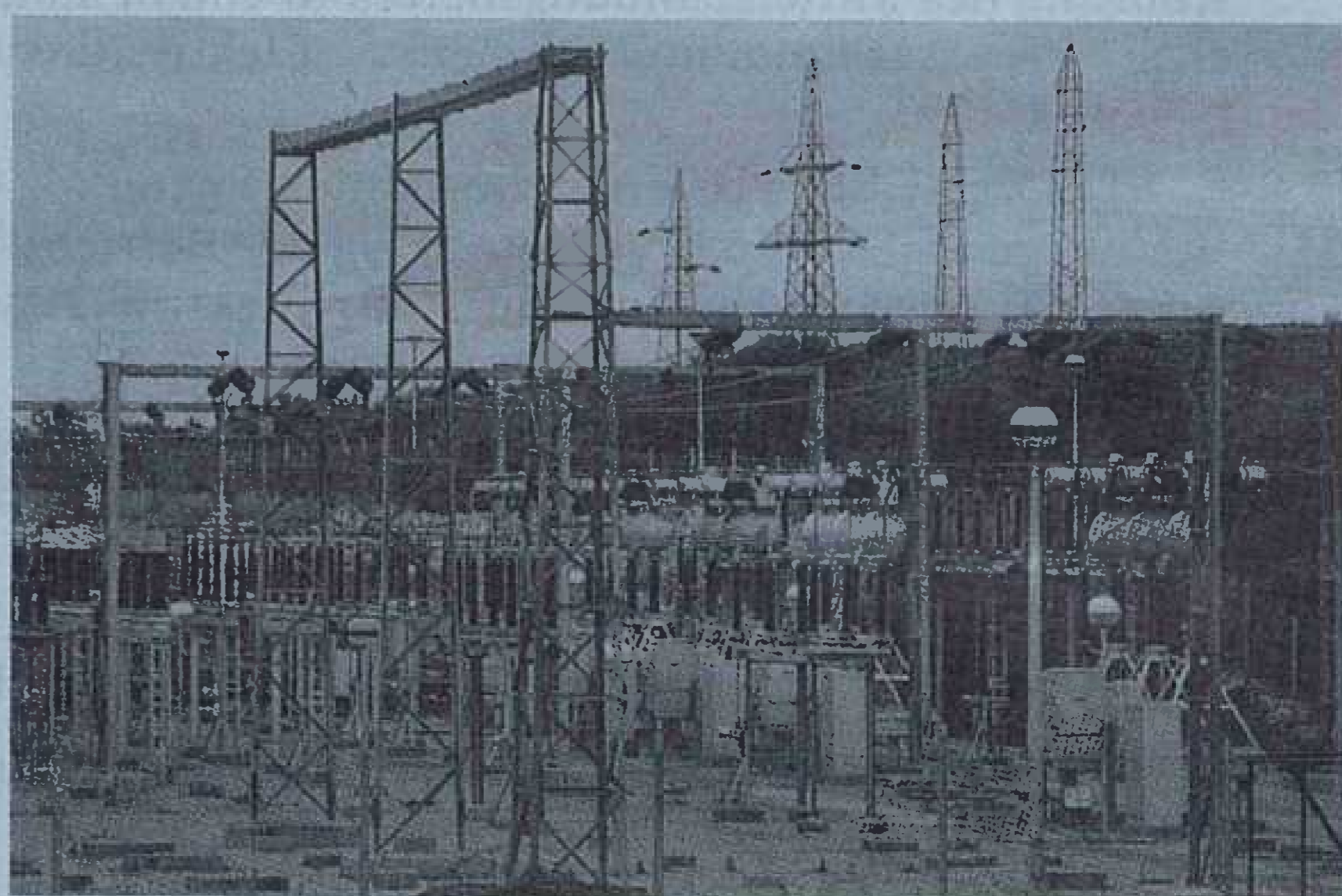
Tel: 057/24-440
057/24-844
27-236

Obavljajući djelatnost prometa roba i usluga u trgovini 117-tom granom »Elektromaterijal« opskrbljuje slijedeće najznačajnije potrošače: Elektroprivredu, brodograđevnu i ostalu industriju, građevinska, montažerska, PTT i ostala poduzeća i korisnike, kao i trgovinu na malo.

Organizirani smo u tri sektora, u okviru kojih su specijalizirane poslovnice.

Izvan sjedišta poduzeća posluju tri vanjske radne jedinice sa skladištima, komercijalnim i ostalim pratećim službama i to u: Zagrebu, Zadru i Podravskoj Slatini te razgranatom putničko-predstavničkom mrežom po cijeloj zemlji.

Imajući u vidu bogatstvo asortimana, dnevno prisutnog na našim skladištima, veliko iskustvo u obavljanju ove značajne funkcije u društvenoj reprodukciji, kao i solidnost u dosad povjerenim poslovima, želja nam je da i ubuduće uživamo Vaše povjerenje.



VISOKOTEMPERATURNI SUPRAVODIČI I STUPANJ KORISNOG DJELOVANJA MAGNETSKIH SPREMNIKA ENERGIJE

Dr. Mile Baće, Zagreb

UDK 537.312.62

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Analiziraju se gubici u spremniku i određuje stupanj korisnoga djelovanja u ovisnosti o radnoj temperaturi magneta. Dobiveni su zaključci o upotrebljivosti spremnika.

Ključne riječi: supravodljivi magneti, magnetsko spremanje energije, visokotemperaturni supravodiči, stupanj korisnosti.

1. UVOD

Električna energija najčišći je i najfunkcionalniji oblik energije. Stoga se njezina potrošnja povećava brže od ostalih oblika energije.

Međutim, izgradnja novih velikih postrojenja za proizvodnju električne energije nailazi na velike poteškoće. Uz objektivne poteškoće — visoke investicijske troškove, dugoročnu izgradnju, nedostatak prikladnih mjesta i druge — tu su i, uvjetno rečeno, subjektivne poteškoće: odbojnost stanovništva prema velikim zagađivačima okoline (velike termoelektrane), nelagoda zbog blizine nuklearnih elektrana ili nastojanje da se pojedina mjesta očuvaju od potapanja vodom. Zato bi za proizvođače elektroenergije bilo dobro kada bi mogli proizvoditi što više elektroenergije s postojećim kapacitetima. To bi, dakako, trebalo biti i ekonomski optimalno.

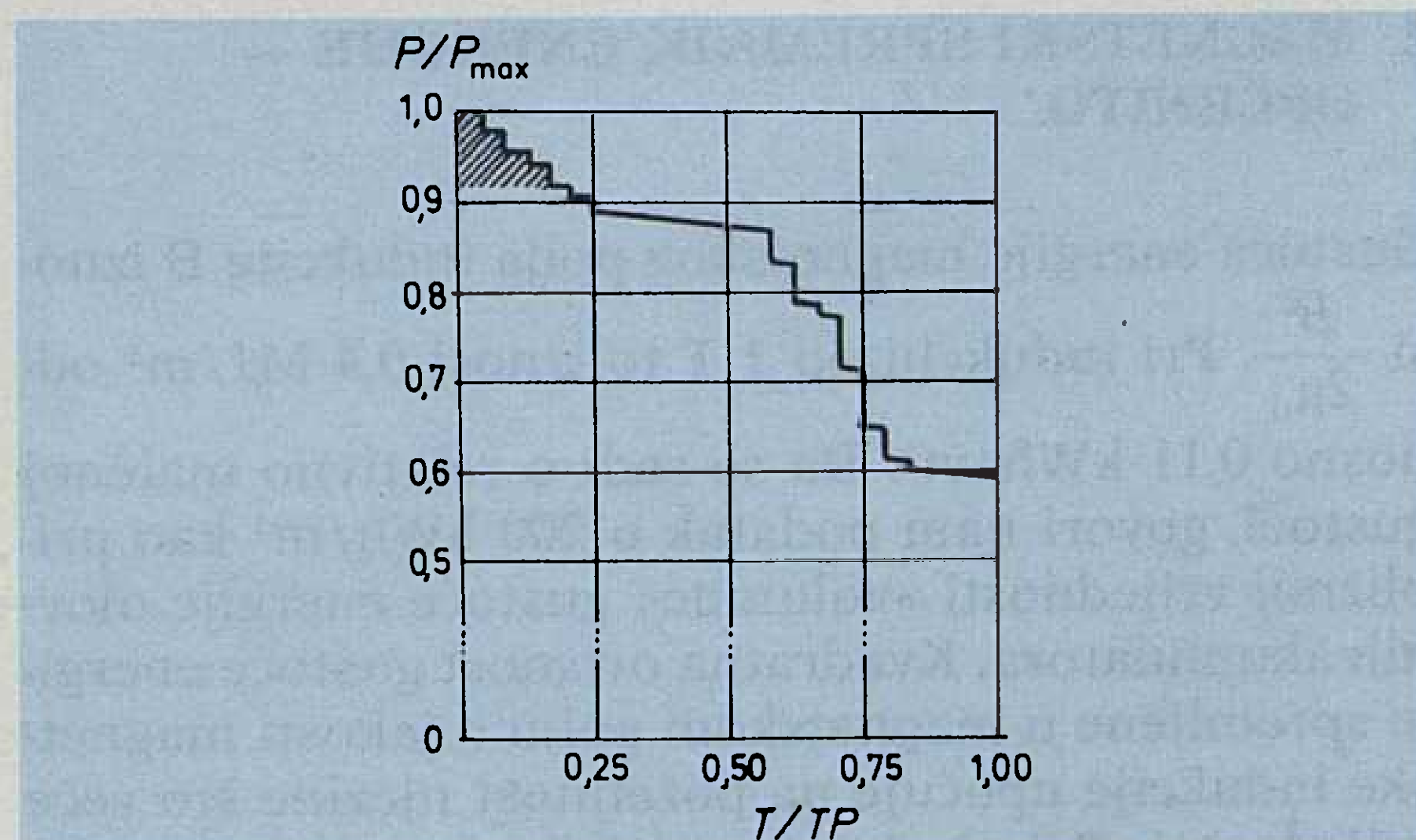
U tome ih međutim sprečava promjenljiva potražnja elektroenergije. Ona ovisi o mnogim razlozima, npr. o ritmu rada i života, potrebi za pogonskom snagom, rasvjetom, zagrijavanjem i brojnim potrebama u industrijskim procesima. Moguće je govoriti o dnevnoj, tjednoj i sezonskoj, zatim o slučajnoj fluktuaciji potrošnje.

Dijagrami opterećenja pojedinih elektrosistema veoma ovise o stupnju industrijalizacije i klimatskom području, no redovito se može govoriti o maksimumima koji se poklapaju s dnevnim maksimumom industrijske proizvodnje i večernjom potrebom za rasvjetom, pri čemu minimalno opterećenje može iznositi samo oko 50% maksimalnog.

Proizvodnja električne energije (prijenos i distribucija također) mora spremno i trenutno mijenjati snagu prema potrošnji unutar elektrosistema. Shema po kojoj proizvođači električne energije to uspijevaju jest, uz uvažavanje specifičnosti različitih elektrosistema uglavnom, sljedeća:

- zbog redovnog održavanja i nepredviđenih preki-da i kvarova konstantno je izvan pogona 5 — 15% instaliranog kapaciteta, koji zbog toga mora biti za isti postotak veći od vršnog opterećenja
- najefikasniji proizvođači električne energije (nove termo, hidro i nuklearne elektrane) podmiruju takozvano temeljno opterećenje (40 — 50%), te su praktično (osim u peiodima remonta ili izmjene goriva kod nuklearnih elektrana) trajno u pogonu
- u području srednjeg opterećenja uključuju se manje efikasne, starije termoelektrane i dio hidroelektrana s ograničenim akumulacijama
- ostatak, približno 10–15% snage, jest vršno opterećenje. Smatra se da su vršna opterećenja ona koja traju manje od 1 000–1 300 sati godišnje. Ona se podmiruju slično srednjim opterećenjima, ali i posebnim jedinicama, predviđenim samo za rad u razdobljima vršnog opterećenja. Također, ako u sistemu postoje spremnici energije, a to su za sada jedino pumpno-akumulacijske hidroelektrane, i oni se uključuju u vršna opterećenja.

Efekt postojanja spremnika dobro ilustrira krivulja trajanja opterećenja. Na slici 1. prikazana je dnevna krivulja trajanja opterećenja Elektrosistema Hrvatske (četvrtak 18. 6. 1981) [1].



Slika 1. Dnevna krivulja trajanja opterećenja Elektrosistema Hrvatske, četvrtak 18. 6. 1981.

Opterećenje je izraženo u dijelovima maksimalnog opterećenja (P/P_{\max}), a vrijeme u dijelovima promatranog vremena (T/TP), u stvari u dijelovima dana.

Integrirajući površinu ispod krivulje na slici 1. možemo za Elektrosistema Hrvatske toga dana približno zaključiti:

Opterećenje	Udio u snazi (% P_{\max})	Udio u proizvedenoj energiji
Temeljno (24 sata)	59%	73%
Srednje (20 sati)	33%	25,8%
Vršno (4 sata) (šrafirano)	8%	1,2%

Vršno je opterećenje dakle obuhvatilo oko 8% snage elektrosistema (toga dana) da bi sudjelovalo samo s nešto više od 1% u proizvedenoj energiji. Postojanje djelotvornog spremnika električne energije, kapaciteta svega 1,2% dnevne potrošnje, moglo bi »uštedjeti« 8% instaliranog kapaciteta, naravno na ovom primjeru. Smještanjem spremnika uz potrošače slična bi se ušteda ostvarila i u kapacitetu prijenosa elektroenergije.

Postojanje efikasnog sistema za spremanje u sklopu konvencionalnih elektroenergetskih sistema vezano je samo na pitanje bolje ekonomičnosti proizvodnje energije. Glede primjene alternativnih prirodnih izvora energije, npr. solarne, energije vjetera, plime i oseke, sistem za spremanje energije je nužan zbog periodičnosti i neravnomjernosti snage prirodnih izvora. Dakako, zahtjevi na energetske spremnike u tom bi slučaju bili znatno veći, no svojim postojanjem oni bi u principu omogućili korištenje navedenih prirodnih izvora energije.

Ipak, bilo kakav spremnik energije bio, procese njezine konverzije, spremanja i rekonverzije pratiti će gubici. Zbog njih spremanje energije u sklopu elektroenergetskog sistema može, ali i ne mora značiti uštedu energije. Sve ovisi o tome da li će efikasnija proizvodnja energije za uskladištenje u kapacitetima temeljnog opterećenja nadoknaditi spomenute gubitke. No i u slučaju neto gubitka energije, spremanje se može isplatiti jer se umjesto skupljeg plinskog ulja ili prirodnog plina troši ugljen, nuklearno gorivo ili energija alternativnih prirodnih izvora energije.

2. MAGNETSKI SPREMIK ENERGIJE — OPĆENITO

Gustoća energije magnetskog polja indukcije B iznosi $\frac{B^2}{2\mu_0}$. Pri indukciji od 1 T to iznosi 0,4 MJ/m³ odnosno 0,11 kWh/m³. Da se radi o relativno malenoj gustoći, govori nam podatak o 200 kWh/m³ kao približnoj vrijednosti »volumne« gustoće energije olovnih akumulatora. Kvadratna ovisnost gustoće energije spremljene u magnetskom polju o jakosti magnetske indukcije upućuje na poželjnost njezine što veće vrijednosti. Primjerice, za vrijednost od 10 T ta bi gustoća postala 11 kWh/m³.

Praktično, magnetsko polje bi se proizvelo protokom struje kroz solenoid ili toroidalnu zavojnicu. Kako bi kapaciteti spremnika energije, koji bi bili interesantni elektroenergetskom sistemu, morali biti od barem 10 MWh za grupu konačnih ili jednog većeg korisnika, pa sve do 10 000 MWh, što je red veličine veće pumpno-akumulacijske hidroelektrane, očiti su veliki potrebni volumeni magnetskih polja, odnosno samog solenoida ili torusa. Također je očita potreba što veće vrijednosti magnetske indukcije.

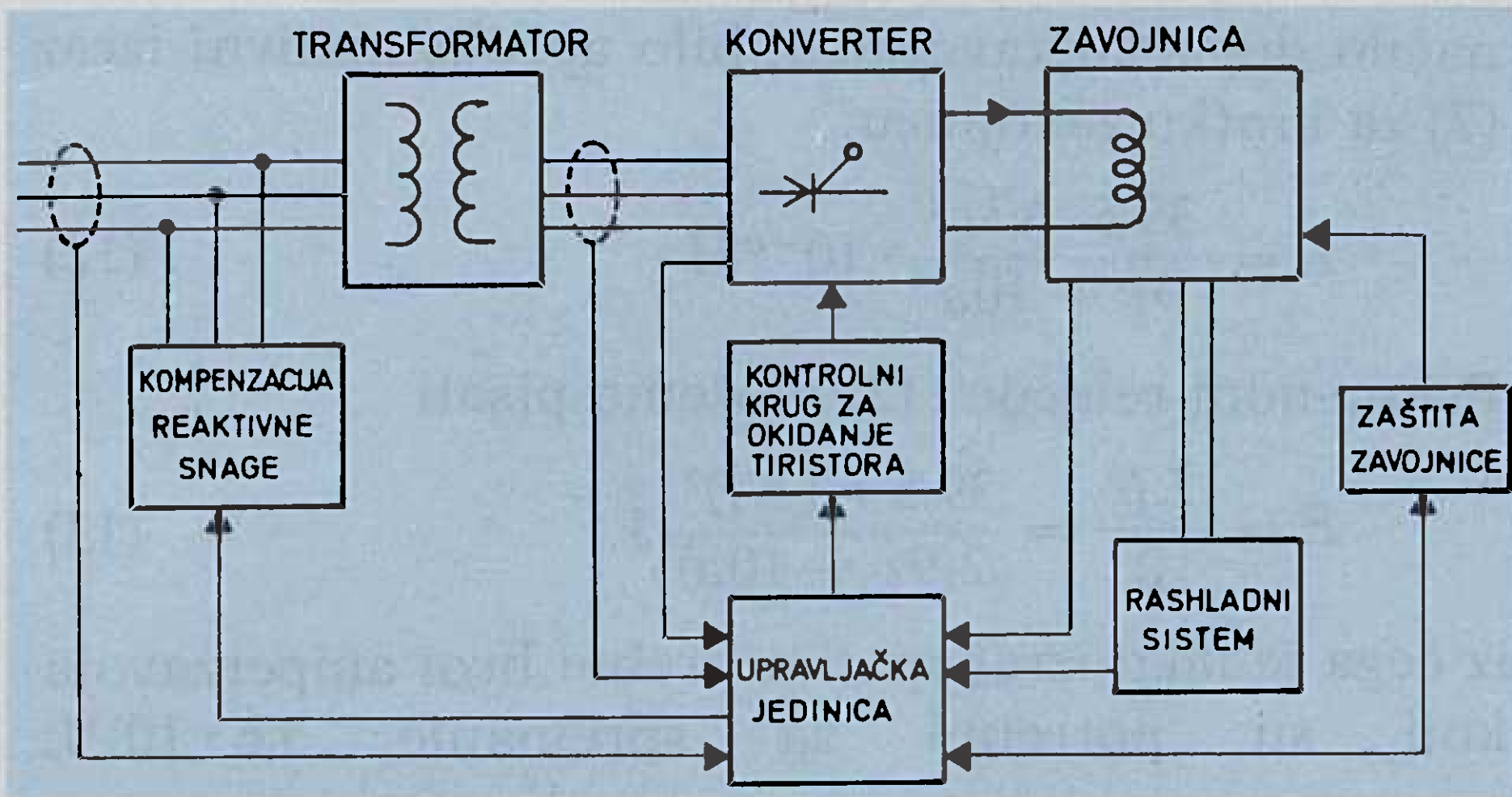
Jedan i drugi zahtjev isključuju odmah iz razmatranja klasične magnetne u kojima bi omski gubici bili nerazmjerno veliki prema spremljenoj energiji. Tek su supravodički (SV) magneti omogućili gradnju magneta s volumenom polja od više desetaka m³ te s indukcijama i preko 10 T. Sa danas tehnički najrazvijenijim SV materijalima NbTi i Nb moguće su vrijednosti indukcije do oko 8 T. Nb₃Sn pruža mogućnost dosizanja vrijednosti od 10 i više tesla, ali barem za sada ovaj materijal ima manje povoljna mehanička svojstva.

Upravo je mogućnost postizanja visokih vrijednosti magnetskih polja uz prividno odsustvo električnog otpora i s njima povezanih omskih gubitaka stvorilo ideju o mogućnosti supravodljivih magnetskih spremnika energije (SMSE). Prvi put je spominje M. Ferrier [2] prije dvadesetak godina i o tada se opetovano razmatra isključivo na nivou tehnološki interesantnog principa spremanja energije za sljedeće 21. stoljeće [3, 4, 5]. U međuvremenu je nagomilano iskustvo projektiranja i gradnje velikih supravodljivih magneta za akceleratore i eksperimentalne fuzijske reaktore i objavljeni su podaci o njihovim energetskim kapacitetima i rashladnoj snazi, na temelju kojih je načinjena jedna elementarna ocjena ograničenosti primjene supravodljivog spremnika energije [6].

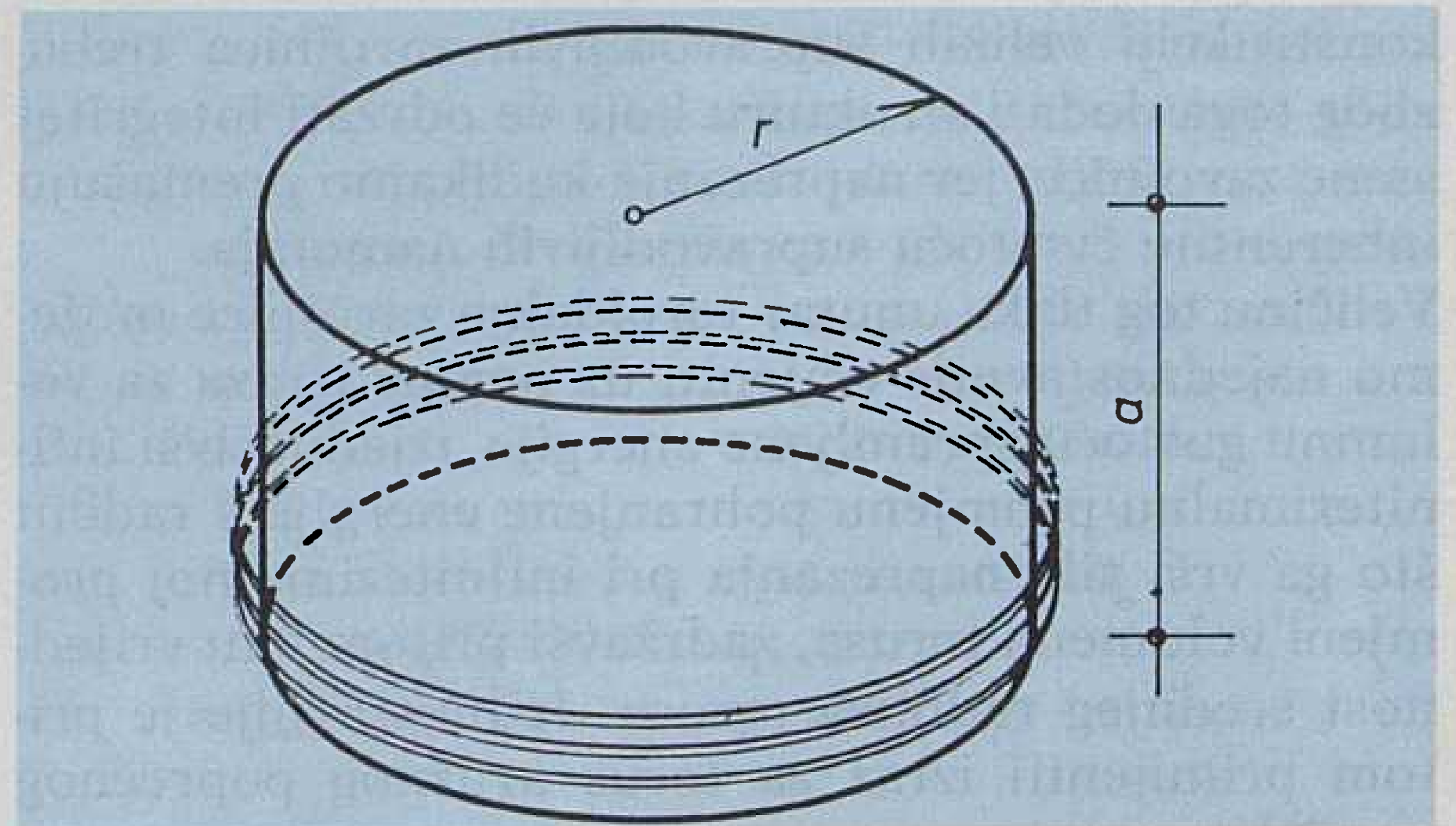
Za potrebe Strateške obrambene inicijative (»Rat zvijezda«) vlada SAD je 1987. godine naručila izradu planova jednog SMSE. Izgradnja pokusnog modela trebala je započeti prošle, 1990. godine [5]. Njegova bi namjena bila pogon ogromnih lasera obrambenog proturaketnog štita. Status tog projekta nije jasan s obzirom na pregovore među velesilama. Svakako da bi njegova izgradnja dala bitne odgovore na pitanja povezana s mogućnostima i ograničenjima supravodljivoga magnetskog spremnika energije, premda od jednog vojnog projekta ne bi trebalo očekivati da će energetska efikasnost biti od primarnog značaja. Poznati su glavni parametri projekta supravodljivog magneta:

Magnet: solenoid promjera 105 m, visine 10 m
Supravodič: Niobij-titanij NbTi
Radna temperatura: 4 K — hlađenje cirkulacijom tekućeg helija
Energetski kapacitet: 30 MWh.

Na sl. 2. su shematski prikazane glavne komponente supravodičkog magnetskog spremnika energije, priključenog na trofaznu mrežnu sabirnicu. Spremanje energije u supravodljivi magnet odvija se preko konvertera, tiristorskog upravljivog mosta, ispravljaja



Slika 2. Shematski prikaz glavnih komponenti supravodičkoga magnetskog spremnika energije



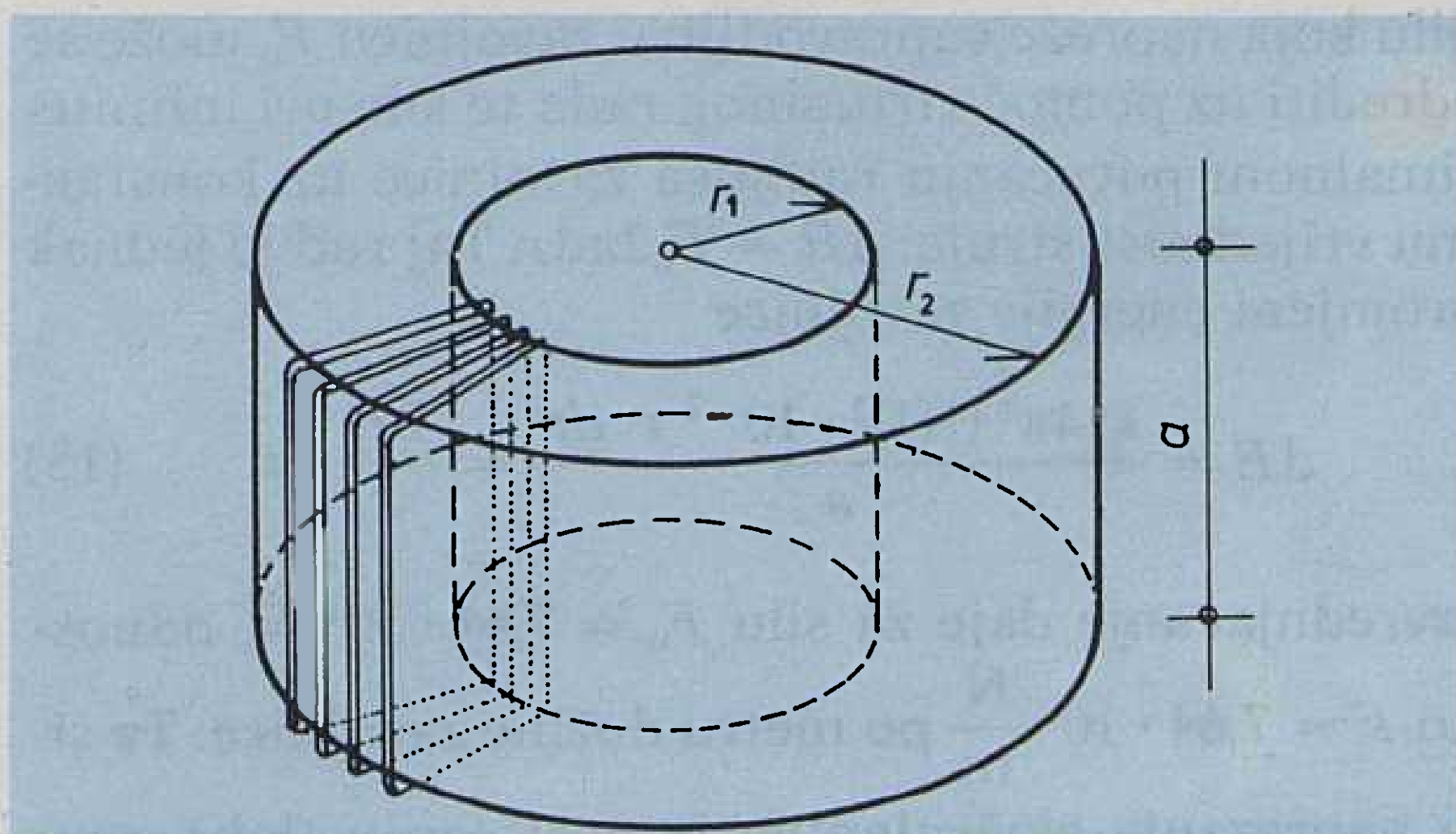
Slika 4. Kratka otvorena zavojnica

njem prethodno transformirane snage — iz visokonaponsko-malostrujnog u niskonaponsko-jakostrujni oblik, primjeren impedanciji supravodljive zavojnice. Rezultat spremanja energije je porast struje zavojnice i energije njezina magnetskog polja. Pri pražnjenju je proces suprotnog smjera pri čemu konverter komutacijom pretvara istosmjernu struju iz supravodljive zavojnice u izmjeničnu.

Laboratorijski testovi jednoga supravodljivoga magnetskog spremnika u Los Alamos Scientific Laboratory (LASL) [4] pokazali su da se transformacije AC-DC u DC-AC, ili obratno, pri punoj snazi konvertera mogu izvesti za manje od 7 ms, što demonstrira sposobnost brzog reagiranja magnetskog spremnika energije na promjene opterećenja mreže. Gubici energije povezani s tom konverzijom pritom su bili svega 1,2% po svakaom transferu. Međutim glavni izvor gubitaka, koji se u objavljenim prijedlozima do sada detaljnije ne istražuje, povezan je s kriostabilizacijom supravodljive zavojnice.

3. SUPRAVODLJIVA ZAVOJNICA

Zavojnicu — magnetski spremnik energije moguće je zamisliti ili u obliku torusa (sl. 3) u kojem je magnetsko polje spremnika unutar njegova zatvorenog volumena, ili u obliku otvorene kratke zavojnice (sl. 4) u kojoj je magnetsko polje slabije, ali efektivno zauzima mnogo veći volumen od onog definiranog samom zavojnicom. Jedna elementarna analiza obaju koncepta može pokazati njihove mogućnosti i ograničenja, posebno uzevši u obzir ovisnost supravodljivih



Slika 3. Zavojnica oblika torusa

osobina supravodiča o vanjskom magnetskom polju. Načinit ćemo je kako bismo što bolje ilustrirali samo koncept supravodljivoga magnetskog spremanja energije na primjeru velikog spremnika kapaciteta 10 000 MWh, kakav je višekратно predlagan [3, 4, 5]. U idejnom prijedlogu navodi se podzemna supravodljiva zavojnica oblika valjka promjera 300 m i visine 100 m. Razmotrit ćemo, dakle, glavne parametre supravodljive zavojnice, zadanih dimenzija, u kojoj je pohranjeno 10 000 MWh ($3,6 \cdot 10^{13}$ J), a koja je: a) oblika torusa i b) otvorena kratka zavojnica.

a) Supravodljiva zavojnica oblika torusa

Jakost magnetske indukcije unutar torusa oblika kao na sl. 3. dana je izrazom

$$B(r) = \mu_0 \frac{NI}{2\pi r}, \quad (1)$$

gdje je N ukupni broj zavoja kroz koji protječe struja I . Lako je naći ukupnu energiju koja je pohranjena u magnetskom polju unutar torusa:

$$E = \frac{\mu_0 (NI)^2 a}{4\pi} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} \quad (2)$$

odnosno

$$E = 10^{-7} (NI)^2 a \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (3)$$

Odaberemo li unutarnji radijus $r_1 = 50$ m, a zadana veličina zavojnice nam već određuje $r_2 = 150$ m, visina $a = 100$ m, te uvrstimo iznos energije koja je u zavojnici pohranjena ($E = 3,6 \cdot 10^{13}$ J), dobit ćemo relaciju uz pomoć koje možemo izračunati potrebni broj amperzavoja (NI):

$$NI = \frac{10^7 E}{a \ln 3} = 1,81 \cdot 10^9 \text{ A} \quad (4)$$

Vrijednost magnetske indukcije unutar torusa bit će obrnuto razmjerna udaljenosti od osi simetrije torusa. Uz unutarnju stijenku (r_1) iznositi će 7,24 T, a na periferiji (r_2) 2,41 T. Prosječna volumna gustoća pohranjene energije iznosi $5,7 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$.

Jaka magnetska polja unutar torusa uzrok su vrlo snažnih sila, odnosno naprezanja koja su ekvivalentna postojanju tlaka unutar toroidalne zavojnice. Pri

konstrukciji velikih supravodljivih zavojnica treba zbog toga dodati strukturu koja će održati integritet same zavojnice, jer naprezanja kudikamo premašuju inherentnu čvrstoću supravodljivih namotaja.

Veličinu tog tlaka unutar toroidalne zavojnice možemo najjednostavnije ocijeniti uz pomoć izraza za volumnu gustoću spremljene energije, izjednačivši infinitezimalnu promjenu pohranjene energije s radom što ga vrši sila naprezanja pri infinitezimalnoj promjeni volumena torusa, zadržavši pritom istu vrijednost srednjeg radijusa torusa. Jednostavnije je pritom primijeniti izraz za torus kružnog poprečnog presjeka:

$$E = \frac{\mu_0(NI)^2 S}{4\pi \bar{r}}, \quad (5)$$

gdje su S površina poprečnog presjeka; \bar{r} srednji radius torusa. Imamo:

$$dE = \frac{\mu_0(NI)^2}{4\pi \bar{r}} ds = p dV. \quad (6)$$

Slijedi da je iznos unutarnjeg tlaka

$$p = \frac{E}{S} \frac{dS}{dV}. \quad (7)$$

Uz približnu vrijednost $V = 2\bar{r}\pi S$ slijedi

$$p = \frac{E}{V}, \quad (8)$$

dakle tlak je po iznosu jednak volumnoj gustoći energije zavojnice. Izvrednjavanje daje rezultat $5,7 \cdot 10^6$ Pa, odnosno 57 bara. Sličnim razmatranjem možemo izračunati približnu silu naprezanja zavojnice po jediničnom odsječku torusa. U slučaju kružnog presjeka ta sila iznosi

$$F = pr, \quad (9)$$

gdje je r radius kružnog presjeka torusa. Uz $r = \frac{100}{\sqrt{\pi}}$ m (u našem primjeru imamo $a = 100$ m, $r_2 - r_1 = 100$ m) slijedi sila od $3,2 \cdot 10^8$ N/m po jednom metru dužine torusa.

b) Kratka otvorena zavojnica

Naći energiju otvorene kratke zavojnice, integrirajući $\frac{B^2(x,y,z)}{2\mu_0}$ preko cijelog prostora, nije najzgodniji put. Lakše je primijeniti

$$E = \frac{1}{2} LI^2, \quad (10)$$

gdje je L koeficijent samoindukcije zavojnice, jer su njezine vrijednosti za zavojnicu poznate. Točan je račun za L dakako slične težine kao i za energiju magnetskog polja, no dovoljno je točno, upotrijebiti bilo

$$L = k \frac{4\pi r^2 N^2}{a} \cdot 10^{-7} \text{ H}, \quad (11)$$

gdje je $k = f\left(\frac{r}{a}\right)$ takozvani Nagaokin faktor koji korigira vrijednost koeficijenta samoindukcije za besko-

načno dugačku zavojnicu, bilo aproksimativni izraz [7] za kratku zavojnicu:

$$L = \frac{39,5 N^2 r^2}{9r + 10a} \cdot 10^{-6} \text{ H} \quad (12)$$

Primjenom relacije (12) možemo pisati

$$E = \frac{LI^2}{2} = \frac{39,5 r^2 (NI)^2}{2(9r + 10a)} \text{ J}, \quad (13)$$

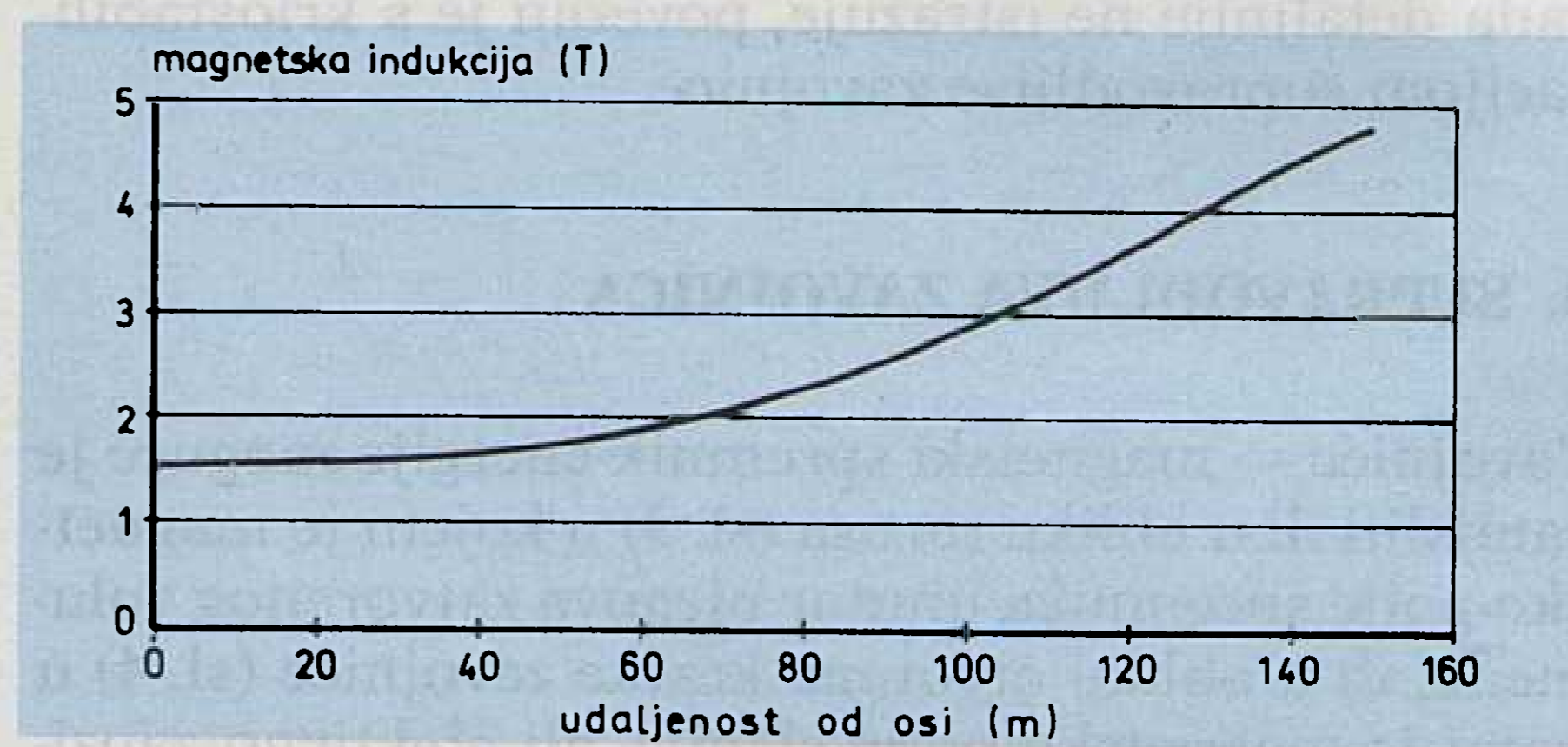
iz čega je lako izračunati potrebni broj amperzavoja koji su potrebni za spremanje $3,6 \cdot 10^{13}$ J: $NI = 4,36 \cdot 10^8$ A, što je približno $\frac{1}{4}$ vrijednosti za torus istoga energetskoga kapaciteta i istih vanjskih dimenzija.

Vrijednost magnetske indukcije u centru zavojnice zadana je izrazom

$$B = \mu_0 \frac{NI}{2\sqrt{a^2 + r^2}} \quad (14)$$

i iznosi 1,52 T u zadanom primjeru.

Vrijednost magnetske indukcije unutar zavojnice je promjenljiva i može se odrediti rješavanjem Poissonove diferencijalne jednadžbe za magnetski vektorski potencijal. Zbog ovisnosti supravodljivih osobina supravodiča o jakosti magnetskog polja važno je poznavati maksimalnu vrijednost magnetske indukcije na mjestu gdje se supravodič nalazi u sredini zavojnice. Slika 5. prikazuje rezultat proračuna magnetske indukcije kao funkcije udaljenosti od osi, a na mjestu centralnog presjeka. Vidi se maksimalna vrijednost od 4,75 T, što je znatno manje od vrijednosti na unutarnjem zidu torusa.



Slika 5. Jakost magnetske indukcije unutar otvorene kratke zavojnice kao funkcija udaljenosti od osi zavojnice, uzduž centralnog presjeka

Silu koja napreže supravodljivu zavojnicu F_u može se odrediti uz pomoć virtualnog rada te sile pri infinitezimalnom povećanju radijusa zavojnice uz konstantnu vrijednost struje: $dE = F_u 2\pi dr$. Taj rad je jednak promjeni energije zavojnice

$$dE = \frac{k 4\pi^2 (NI)^2 \cdot 10^{-7} r dr}{a} = \frac{2E}{r} dr. \quad (15)$$

Izvrednjavanje daje za silu $F_u = 7,64 \cdot 10^{10}$ N, odnosno $F = 7,64 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ po metru dužine zavojnice. Ta sila naprezanja ekvivalentna je postojanju tlaka unutar zavojnice $p = 5 \cdot 10^6$ Pa, odnosno 50 bara.

c) Usporedba glavnih parametara torusa i otvorene zavojnice

Izbor jednog od ta dva koncepta za eventualnu konstrukciju supravodljivog magnetskog spremnika energije svakako će ovisiti o brojnim parametrima, od kojih će sigurno dominirati ekonomski i sigurnosni, no već i usporedba prethodno procijenjenih parametara može poslužiti za približnu ocjenu. Načinimo zato jednu usporednu tablicu glavnih parametara (tablica 1).

Tablica 1. Vrijednosti glavnih parametara supravodičke zavojnice — spremnika energije — kapaciteta 10 000 MWh za slučaj: a) torusa, b) otvorene kratke zavojnice

Parametri zavojnice	a) zavojnica oblika torusa	b) Otvorena kratka zavojnica
Dimenzije zavojnice	visina $a=100$ m vanjski radijus $r_2=150$ m unutarnji radijus $r_1=50$ m	visina $a=100$ m promjer $2r=300$ m
Volumen zavojnice	$6,28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$7,07 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Kontaktne vanjske površine	$2,5 \cdot 10^5 \text{ m}^2$	$1,88 \cdot 10^5 \text{ m}^2$
Broj amperzavoja	$1,81 \cdot 10^9 \text{ A}$	$4,36 \cdot 10^8 \text{ A}$
Maksimalna vrijednost magnetske indukcije	7,24 T	4,75 T
Maksimalno naprezanje supravodljivih zavoja	$3,2 \cdot 10^8 \text{ N/m}$ (po jediničnoj dužini odsječka torusa)	$7,64 \cdot 10^8 \text{ N/m}$ (po jediničnoj dužini odsječka)
»Tlak« na strukturu zavojnice	$5,7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ (57 bara)	$5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ (50 bara)
Omjer dužine potrebnog supravodiča za torus i za otvorenu zavojnicu uz pretpostavku iste struje	$\frac{4,15 \cdot 400}{300 \pi} = 1,76$	

Na temelju parametara iz tablice 1. može se zaključiti da bi rješenje s otvorenom kratkom supravodičkom zavojnicom imalo prednost pred torusom. I bez uzimanja u obzir specifičnosti osobina supravodiča, posebno utjecaja magnetskog polja i temperature na njihovu vodljivost, vidljivo je da je:

- otvorenu zavojnicu lakše konstruirati i jednostavnije strukturno poduprijeti kako se ne bi zbog »tlaka« magnetskih sila narušio njezin integritet
- kontaktne površine otvorene zavojnice je manja, a manji su i s njom povezani gubici zbog prelaza topline iz okoline
- uz istu struju (isti supravodič) ukupno je za otvorenu zavojnicu potrebno manje (1/1,76) supravodiča.

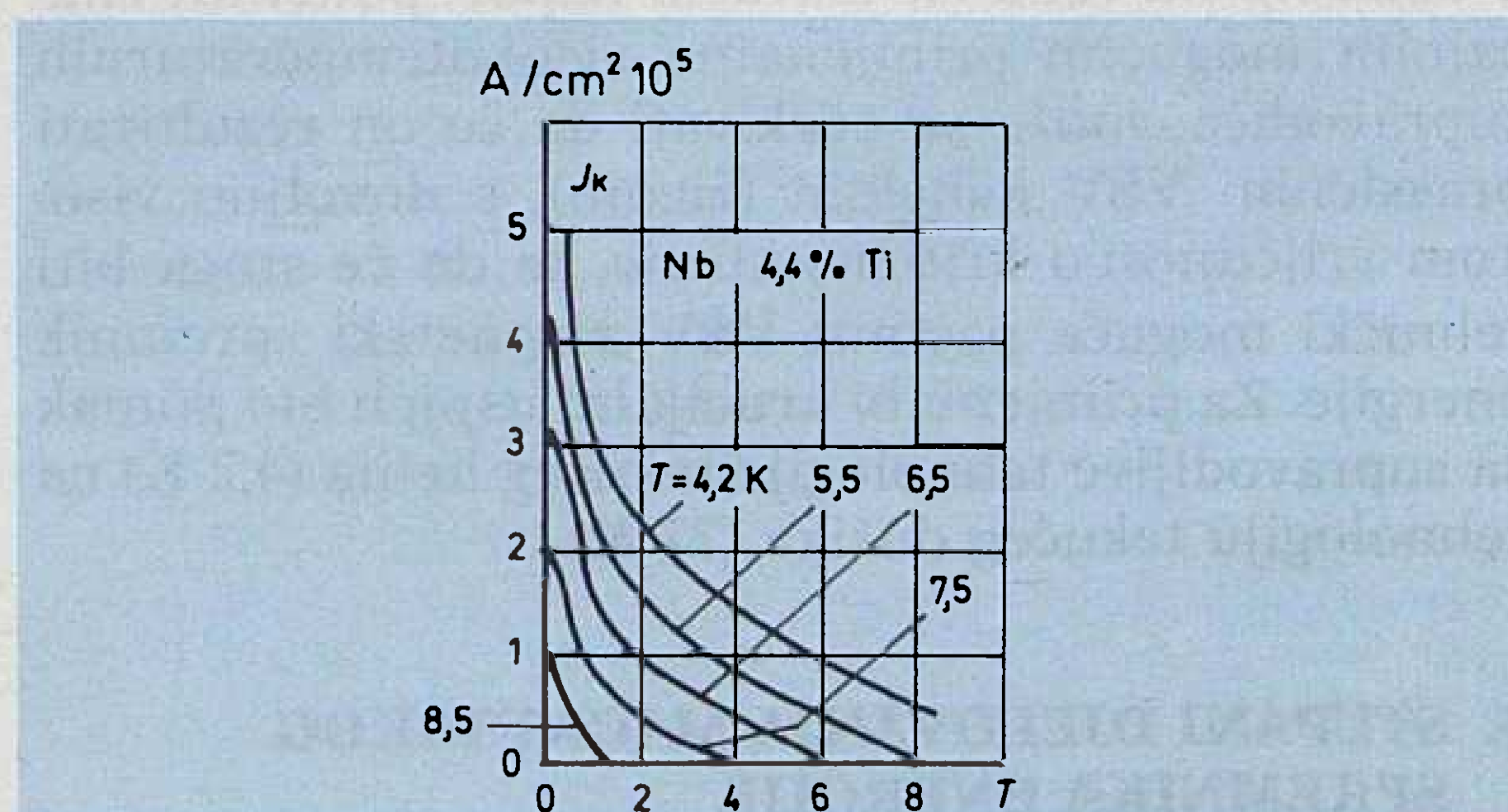
Zbog negativnog utjecaja magnetskog polja na supravodič očita je i prednost otvorene zavojnice zbog znatno manje maksimalne vrijednosti magnetske indukcije. O tome treba nešto više reći jer su s time po-

vezani i gubici u supravodiču, što ima direktan efekt na stupanj korisnog djelovanja magnetskog spremnika energije.

4. B-T-I KARAKTERISTIKE SUPRAVODIČA

Najvažnija osobina tzv. »neidealnih supravodiča II vrste«, koji jedini imaju praktičnu primjenu tamo gdje se zahtijevaju velike struje, jest sposobnost podnošenja velikih gustoća struje. Kako je velika struja povezana s postojanjem magnetskog polja, a ono razara supravodljivost, kod njih je ostvarena postojanjem cijevi magnetskog toka (normalno stanje) unutar samog supravodiča kad magnetska indukcija prijeđe neku kritičnu vrijednost (B_{c1}). Povećanjem jakosti magnetske indukcije povećava se gustoća cijevi magnetskog toka, sve veći dio supravodiča je u normalnom stanju, no pritom je očuvana supravodljivost da bi se nadmašivanjem neke kritične vrijednosti (B_{c2}) supravodič potpuno prebacio u normalno stanje, izgubivši osobinu supravodljivosti. Očito je za problem poželjno da vrijednost B_{c2} bude što viša. Pri konstantnoj temperaturi, koja je manja od kritične temperature ($T < T_c$), za svaku vrijednost magnetske indukcije $B_{c1} > B > B_{c2}$ postoji maksimalna vrijednost gustoće struje (J_c) čije nadmašivanje uzrokuje gubitak supravodljivosti. $J_c(B, T)$ se naziva kritičnom vrijednošću gustoće struje za specificirane vrijednosti B i T . Karakterističnost njihove povezanosti vidljiva je na nizu izoterma za Nb-Ti leguru (sl. 6)[8]. Pokušamo li primijeniti vrijednosti s grafa na sl. 6. na primjere a) i b), možemo ocjeniti da bi Nb-Ti supravodič u slušaju torusa ($B_{\max} = 7,24 \text{ T}$) imao kritičnu vrijednost gustoće struje ($\approx 0,6 \cdot 10^5 \text{ A/cm}^2$) upola manju od ($B_{\max} = 4,75 \text{ T}$) one za otvorenu zavojnicu ($\approx 1,2 \cdot 10^5 \text{ A/cm}^2$), a pri istoj temperaturi tekućeg helija 4,2 K.

U skladu s Amperovim zakonom između struje kroz supravodič i cijevi magnetskog toka (za $B > B_{c1}$) postoji jaka interakcija, koja se često naziva Lorentzovom silom. Gibanjem tih cijevi magnetskog toka, pod djelovanjem Lorentzove sile, oslobodila bi se Jouleova toplina, temperatura bi postala iznad kritične za dotični par vrijednosti B-J i konačno bi supravodič prešao u normalno stanje. Posebna klasa, tzv. »neidealni supravodiči II vrste«, čija kristalna struktura



Slika 6. Ovisnost kritične gustoće struje o jakosti magnetske indukcije za Nb-44% Ti supravodič, za nekoliko temperatura

sadrži defekte i nehomogenosti koji sprečavaju slobodno gibanje cijevi magnetskog toka, zbog toga je pogodna za transport velikih struja uz jaka magnetska polja.

Međutim, i u slučaju $J < J_c$ dolazi do »otkidanja« pojedine grupe cijevi magnetskog toka od centara (defekti, nehomogenosti) koji su ih zadržavali i gibanja do nekoga drugog centra na koji se ponovno »zakvače«. To su po prirodi fluktuacije koje lokalno zagrijevaju supravodič, odnosno imaju za posljedicu stvaranje jedne elektromotorne sile uzduž strujnog toka, te se to manifestira kao otpor. U svakom je slučaju u primjeni potrebno supravodič stabilizirati odvođenjem tako lokalno razvijene topline.

Iz prirode same pojave očito je da će se to više Jouleove topline razvijati što je jače magnetsko polje i (ili) gustoća struje kroz supravodič i što je temperatura okoline bliža kritičnoj temperaturi. Kada je primarno proizvesti što jača polja, o gubicima zbog razvijene topline neće se previše voditi briga. Međutim u slučaju spremnika energije ti gubici mogu bitno umanjiti efikasnost samog spremnika. Zato treba očekivati da bi se u tom slučaju odabrale niže vrijednosti J i B .

Visokotemperaturni supravodiči (VSV)

To je naziv za grupu keramičkih materijala koji pokazuju svojstvo supravodljivih prijelaza na temperaturama znatno višim od donedavno rekordnih 23 K. Od otkrića tog fenomena prošlo je tek nekoliko godina, no u svijetu se vrlo intenzivno radi na razvoju primjenljivih VSV. Trenutni je status sljedeći [5]:

- dominiraju tzv. YBaCuO-spojevi (itrij-barij-bakarski oksid). Izvještavane su temperature supravodljivog prijelaza i do 125 K (ThBaCaCuO).
- primjena VSV za proizvodnju jakih magnetskih polja, kao i za prijenos električne energije, zahtijeva (1) vrlo visoku vrijednost kritičnog magnetskog polja H_c ; (2) visoku vrijednost kritične struje I_c ($10^5 - 10^6$) A cm^{-2} te (3) praktično proizvedeni VSU kabel, odnosno žicu.
- keramički YBaCuO i drugi VSV materijali udovoljavaju samo zahtjevu 1. Zahtjevu 2 uspjeli su udovoljiti jedino VSV u obliku tankog filma. Zadovoljavajući kabel ili žica od VSV materijala, nije još načinjen.

S obzirom na velik istraživački napor, potaknut značajnim mogućim primjenama visokotemperaturnih supravodiča, može se očekivati da će on rezultirati praktičnim VSV kabelom (žicom), s dovoljno visokom vrijednošću kritične struje, te da će stoga biti tehnički moguće načiniti VSV magnetski spremnik energije. Za primjenu bi krucijalni uspjeh bio pomak sa supravodljive tehnologije tekućeg helija (4,2 K) na tehnologiju tekućeg dušika (77 K).

5. STUPANJ DJELOVANJA MAGNETSKOG SPREMNIKA ENERGIJE

Pri definiranju stupnja djelovanja spremnika energije treba uzeti u obzir činjenicu da osim gubitaka pri

konverziji i rekonverziji energije postoje gubici u samom spremniku, koji su općenito funkcija vremena spremanja. Uzrok tih gubitaka je uglavnom Jouleova toplina koja se razvija u supravodiču te toplina koja izvana prodire u supravodički sistem. Za odvođenje te topline troši se rad koji je zbog nepovoljnog termodinamičkog stupnja daleko nadmašuje.

Ne postoji konvencija definicije koeficijenta korisnog djelovanja tog tipa spremnika energije. Čini se plauzibilnim definirati ga kao omjer, energije koja se može dobiti iz spremnika (E_s) naspram energiji koja je utrošena pri spremanju (E_u), a pritom gubitke nadoknađujući trošenjem energije iz spremnika. Ako snagu koja se troši za održavanje supravodljivog stanja (ukupna rashladna snaga) označimo sa $P(E_s)$, možemo pisati:

$$E'_s = \eta_s E_u - \frac{P(E_s) t}{\eta_v}, \quad (16)$$

gdje su E'_s — energija pohranjena u magnetskom spremniku; η_s — stupanj djelovanja procesa spremanja energije; η_v — stupanj djelovanja procesa vađenja energije iz spremnika. Radi jednostavnosti zanemareno je da se i proces spremanja energije odvija konačno vrijeme, nekom konačnom snagom.

Kako je $E_s = \eta_v E'_s$ imamo konačno:

$$\eta(t) = \frac{E_s}{E_u} = \eta_u \eta_s - \frac{P(E_s) t}{E_u}. \quad (17)$$

Koeficijenti η_v i η_s imaju vrijednosti blizu 1, pa je moguće ocijeniti njihov umnožak s vrijednošću 0,95 i nazvati ga »početnom« vrijednosti stupnja korisnoga djelovanja magnetskog spremnika energije η_0 .

Vremenski zavisani $\eta(t)$ bit će dominantno funkcija gubitaka u magnetskom spremniku. Oni se iskazuju kao snaga potrebna za održavanje supravodičkog magneta na radnoj temperaturi, dakle kao snaga hlađenja i stabilizacije supravodiča. Ti gubici na nivou radne temperature supravodiča nisu veliki, no uvećani su približno za 3 reda veličine, u slučaju klasičnih supravodiča, na nivou 300 K. Ako je za odvođenje topline W pri niskoj temperaturi T_c potrebno na temperaturi ambijenta T_0 utrošiti rad W , možemo definirati omjer W/Q kao faktor koji govori o efikasnosti tog procesa. Teorijski najefikasniji hladnjak jest obrnuti Carnotov ciklus [9].

$$\frac{W}{Q} = \frac{T_0}{T_c} - 1 \quad (18)$$

Za pojedine u kriogenici značajne temperature teorijske vrijednosti $\frac{W}{Q}$ prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Teorijske vrijednosti faktora $\frac{W}{Q}$ kao funkcija temperature T_c uz temperaturu okoliša $T_0 = 300$ K

T_c (K)	120	77	20	4,2	1
$\frac{W}{Q}$	1,5	2,9	14	70	299

Realni hladnjaci hladeći na 4 K postižu samo oko 10% teorijske (Carno) efikasnosti pa bi faktor W/Q u tablici 1 trebalo uvećati na toj temperaturi za faktor 10. Na temperaturi tekućeg dušika (77 K) efikasnost hladnjaka je veća, otprilike 40% teorijskog maksimuma, te bi korekcijski faktor za $T_c = 77$ K trebao iznositi oko 2,5.

Procjena stupnja djelovanja magnetskog spremnika energije

Za ocjenu je potrebno poznavati snagu generiranja Jouleove topline u samom supravodiču, snagu prodiranja topline iz toplijeg okoliša, te praktični omjer $\frac{W}{Q}$ rashladnog sistema. Prva dva parametra vrlo su neodređena, ovise o izvedbi, izboru supravodiča i radne točke na B - T - J plohi, primjenjenoj izolaciji i dr. Efikasnost rashladnih sistema također varira, no unutar poznatog intervala.

Postoje, međutim, već izvedeni, ili u gradnji, veliki supravodički magneti kod kojih su ti parametri poznati, te nam mogu poslužiti za procjenu stupnja djelovanja, premda treba naglasiti da se ne radi o spremnicima energije, niti je njihov energetska kapacitet blizu 10 000 MWh.

Kao primjere ćemo uzeti dva velika SV magneti s poznatim parametrima. Zatim ćemo pretpostavivši istovjetnost glavnih parametara ocijeniti promjenu vrijednosti stupnja korisnoga djelovanja u slučaju hipotetske primjene visokotemperaturnog supravodiča (VSV) umjesto klasičnih (SV).

1. SV magnet (NbTi) komore na mjehuriće — CERN [10]. Magnet je oblika zavojnice 4×4 m, jakosti magnetske indukcije 3,5 T u kojem je spremljeno $E'_s = 800$ MJ = 222 kWh. Gubici na radnoj temperaturi (4,2 K) — $\dot{Q} = 900$ W, snaga rashladnog sistema (na 300 K) $\dot{W} = 360$ kW = $P(E'_s)$.
2. Projekt SV magnet (Nb₃Sn) za veliki fuzijski reaktor-Tokamak [11] oblika torusa presjeka $11,2 \times 7,3$ m, radijusa glavne osi torusa 6,75 m. Pri jakosti magnetske indukcije od 6 T, spremljeno je $E'_s = 60 000$ MJ = 16,6 MWh u $3 500$ m³ aktivnog volumena. Gubici na radnoj temperaturi (4,2 K) — $\dot{Q} = 7,49$ kW, snaga rashladnog sistema procjenjuju se sa $\dot{W} = 5,7$ MW = $P(E'_s)$.
3. Pretpostavljeni VSV magnetski spremnik gustoće energije jednake onoj u primjeru 2. ($E'_s/V = 4,74$ kWh/m³), koji radi na temperaturi tekućeg dušika (77 K). Računajući s istim gubicima na radnoj temperaturi kao u primjeru 2. ($\dot{Q} = 2,14$ W/m³) uz pomoć relacije (18) i pretpostavljene 40%-tne efikasnosti rashladnog sistema imamo $\dot{W} = 15,5$ W/m³.

Na temelju relacije (17) lako je odrediti stupanj djelovanja odabranih magnetskih spremnika i pripadnih karakterističnih vremena za koje on postaje jednak 0,5 ($T_{1/2}$), te za koje je sva spremljena energija utrošena na gubitke u SV-VSV spremniku. Rezultate prikazuje tablica 3.

Tablica 3. Vrijednost stupnja djelovanja i karakteristična vremena 2 SV i pretpostavljenog VSV magnetskog spremnika energije

$\eta(t)$ -stupanj djelovanja magnetskog spremnika	$T_{1/2}$ -vrijeme za koje $\eta(t)$ padne na 0,5	T -vrijeme za koje $\eta(t)$ postaje nula
$\eta_1(t) = 0,95 - 1,62 t(\text{h})$	0,27 h	0,55 h
$\eta_2(t) = 0,95 - 0,34 t(\text{h})$	1,31 h	2,8 h
$\eta_3(t) = 0,95 - 0,0033 t(\text{h})$	137,6 h	290 h

6. ZAKLJUČAK

Ne ulazeći u diskusiju vrlo velikih tehničkih problema izvedbe SV magnetskog spremnika energije, pokazuje se, zbog vrlo nepovoljnog W/Q omjera i niske efikasnosti rashladnih sistema na temperaturi tekućeg helija, ograničenost primjenljivosti (SV) magnetskih spremnika energije. Izabrani primjeri svakako ne reprezentiraju dobro hipotetski veliki (SV) spremnik i svakako bi njegova efikasnost bila veća. Odabirom nižih vrijednosti gustoće struje i manjih polja mogli bi se gubici u supravodiču znatno smanjiti. Ostaje međutim dotok topline iz okoliša koji se ne može eliminirati ($0,2 - 1$ W/m²) jer bi veliki magnetski (ukopani) spremnik trebalo mnogobrojnim mehaničkim vezama uprijeti na čvrstu okolinu. Mehanička struktura bila bi znatan vodič topline.

Visokotemperaturni SV spremnik bi naprotiv — ako se u praktičnoj produkciji prikladnih vodiča to ostvari, i uz pretpostavku da su volumni gubici na radnoj temperaturi slične vrijednosti kao u klasičnih SV — mogao biti efikasan spremnik energije. Za jednodnevni ciklus spremanja (24 h) moglo bi se uz spomenute pretpostavke računati s približno 85%-tnim stupnjem djelovanja.

LITERATURA

- [1] H. POŽAR, »Snaga i energija u elektromagnetskim sistemima«. Informator, Zagreb 1983.
- [2] M. FERRIER, »Stockage d'énergie dans un enroulement supraconductor, Low temperatures and Electric Power«. Pergamon Press, Oxford, 1970.
- [3] W. E. KELLER, »Superconducting Magnetic Energy Storage«, LSL-78-81, Sept. 1978.
- [4] W. E. KELLER, »The Use of Superconductive Technology for Energy Storage and Power Transmission for Large Power Systems and Power Parks«, Los Alamos Scientific Laboratory 1978.
- [5] K. FITZGERALD, »Superconductivity: Fact vs. Fancy«, IEEE Spectrum, May 1988.
- [6] M. BAĆE, V. KNAPP, »Mogućnosti i ograničenja supravodičkog spremnika energije«, XXV Jugoslavenska konferencija ETAN-a, Mostar 1981.
- [7] J. A. EDWINSTER, Theory and problems of Electromagnetics, Mc Hraw-Hill, New York 1979.

[8] V. A. AL'TOR, V. B. ZENKEVICH, M. G. KREMLER, V. V. SYCHER, »Stabilization of Superconducting Magnetic System«, Plenum Press, New York and London, 1977.

[9] B. A. HANDS, »Cryogenic Engineering«, Academic Press 1986.

[10] H. BRECHNA, »Superconducting Magnet Systems«, Springer Verlag 1973.

[11] N. ASAMI, K. IOKI, T. SATOW, M. TONAKA, O. OGINO, K. SAKO, »Toroidal Magnet Design for a Tokamak Experimental Fusion Reactor,« Proceedings of a Technical Committee Meeting and Workshop, Madison, 10 - 21 October 1977., IAEA 1978.

HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS AND DEGREE OF MAGNETIC ENERGY STORAGE EFFICIENCY

Storage losses are analyzed and the degree of efficiency in relation to working magnet temperature is determined. Conclusions are drawn concerning storage applications.

SUPRALEITER FÜR HOHE TEMPERATUREN UND DER GRAD DER NÜTZLICHEN WIRKUNG DER ENERGIEBEHALTER

Hier analysiert man die Verluste im Behälter und bestimmt den Grad der nützlichen Wirkung in Abhängigkeit von der Arbeitstemperatur des Magnets. Es wurden Beschlüsse über die Brauchbarkeit des Behälters dargelegt.

Naslov pisca:

Dr. Mile Baće, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet Zagreb
41000 Zagreb, Unska 17
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1991-04-29

LITERATURA

[1] H. POZAR, »Suvaj i drugi tipovi u elektromagnetizmu«, Izdavač: Informator, Zagreb 1972.

[2] M. FERREIR, »Storage efficiency in superconducting magnets«, Proceedings of the 1978 International Conference on Superconductivity, Oxford, 1978.

[3] W. E. KELLER, »Superconducting Magnetic Energy Storage«, IEEE Trans. AP-26, Sept. 1978.

[4] W. E. KELLER, »The Use of Superconductive Technology for Energy Storage and Power Transmission for Large Power Systems and Power Poles«, Los Alamos Scientific Laboratory 1978.

[5] K. HINGORALD, »Supersobudivost,« Fiz. vs. Franc. IREB Specium, May 1988.

[6] M. BAĆE V. KRAJČIĆ, »Magnetni i superkonduktivni supravodički spremnik energije«, XXV Jugoslavenski kongresna ETAN-a, Mostar 1981.

[7] J. A. EDWINSTER, »Theory and problems of Electro-magnets«, Mc Graw-Hill, New York 1972.

1. Magnet (MT) koristi se za pohranu energije u obliku magnetske energije. U ovom slučaju, energija se pohranjuje u magnetskom polju, a ne u materijalnoj materiji. Ovo omogućuje pohranu energije bez gubitaka, jer nema otpora u superkonduktivnim materijalima. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika.

2. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika.

3. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika. U ovom radu, analiziramo gubitke u magnetskom polju i određujemo stepen korisnosti magnetskih energijskih spremnika.

MALA HIDROELEKTRANA DUBRAVA 2 × 340 kW

Franjo Černohous, Zagreb

UDK 621.311.21

PREGLEDNI RAD

Prikazane su značajke male hidroelektrane Dubrava koja koristi hidroenergetski potencijal lijevoga drenažnog jarka.

Ključne riječi: mala hidroelektrana, drenažni jarak, proizvodna jedinica, zatvarač.

1. UVOD

Derivacijska HE Dubrava, u sklopu koje je locirana MHE Dubrava, smještena je u cijeloj svojoj dužini u prostornoj aluvijalnoj dolini rijeke Drave. Usporno jezero bilo je moguće ostvariti jedino tako da se rijeka omeđi nasipima, a nasipi u cijeloj svojoj dužini od 26,8 km leže na vrlo propusnim naslagama. Asfalt-betonskom podlogom postignuta je vodonepropusnost nasipa, ali je za rješenje problema procjeđivanja ispod nasipa došlo u obzir jedino njegovo smanjenje pomoću vodoravnog zastora, te odvodnim jarcima duž nasipa. Desni odvodni jarak ulijeva se u staro korito Drave nizvodno od brane, a lijevi u odvodni kanal nizvodno od strojarnice. Zbog procesa kolmatacije procjeđivanje u jarke se s vremenom smanjuje. Praćenjem ovog procesa od trenutka probnog punjenja jezera HE Čakovec u lipnju 1982. godine pa do zaključno s 1987. godinom utvrđeno je da se procjeđivanje znatno smanjilo, ali i da postoji trend ustaljenja procjednih količina. To iskustvo o ustaljenju procjednih količina kod HE Čakovec omogućilo je da se razmišlja o energetskom korištenju ovih voda i kod HE Dubrava, ali samo na ušću lijevoga odvodnog jarka u odvodni kanal hidroelektrane, jer se ovdje ostvaruje znatan pad zbog razlike nivoa između vodostaja u jarku i vodostaja u odvodnom kanalu.

Idejni projekt MHE Dubrava završen 1988. godine daje tipsko rješenje male hidroelektrane koje će se primijeniti i kod MHE Čakovec.

2. NAMJENA, RAZLOZI I DRUŠTVENA OPRAVDANOST IZGRADNJE MHE

Poznato je da potrošnja električne energije bilježi stalan porast uz sve manje mogućnosti izgradnje hidroenergetskih izvora. Izgradnjom MHE na lokaciji strojarnice HE Dubrava supstituira se električna energija za vlastiti potrošak hidroelektrane i na taj se način adekvatno povećava proizvodnja za potrebe

EES-a. Iz gospodarske analize proizlazi da je investicija rentabilna, pa i društveno opravdana.

3. OSNOVNI PODACI O OBJEKTU, KONCEPCIJA TEHNIČKOG RJEŠENJA, TEHNIČKI OPIS I NAČIN RADA

3.1. Osnovni podaci

3.1.1. Drenažni jarak

Dužina uz jezero	10,75 km
Dužina uz derivacijski kanal	3,0 km
Ukupna dužina	13,75 km
Uzdužni pad	1,0 ‰
Protok	12,0 m ³ /s
Kota gornje vode	136,50 m n.m.

3.1.2. Objekt strojarnice

Rješenje strojarnice prilagođeno je odabranim tipskim proizvodnim jedinicama, jednostavno je i po konstrukciji i po načinu izvedbe.

Objekt strojarnice sastoji se od dovoda vode na turbine, difuzorskog dijela i zgrade strojarnice. Zgrada strojarnice predviđena je kao jednostavna armirano-betonska konstrukcija smještena iznad privodnih komora, s ravnim krovom i poklopcima koji se skidaju za vrijeme remonta. U zgradi strojarnice smještene su proizvodne jedinice.

3.1.3. Elektrostrojarska oprema

Proizvodna jedinica (dvije)	Kaplan s vertikalnim vratilom, s regulacijom protoka
Nazivni protok	$Q_n = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$
Maks. protok	$Q_{\text{max}} = 6,6 \text{ m}^3/\text{s}$
Maks. neto-pad	$H_{n_{\text{max}}} = 6,75 \text{ m}$
Min. neto-pad	$H_{n_{\text{min}}} = 4,25 \text{ m}$
Maks. snaga turbine kod Q_n i $H_{n_{\text{max}}}$	$P_T = 370 \text{ kW}$

Brzina vrtnje	$n_n = 306 \text{ min}^{-1}$
Generator:	asinhroni
Nazivna snaga	$P = 340 \text{ kW}$
Nazivni napon	$U_n = 380 \text{ V}$
Faktor snage	$\cos \varphi = 0,7$
Brzina vrtnje	$n = 306 \text{ min}^{-1}$
Srednja god. proizvodnja	$W_{\text{god.}} = 3,81 \text{ GWh}$

Isporučilac turbine je »Jugoturbina«, Karlovac, generatora »Rade Končar«, Zagreb, a hidromehaničke opreme »Elektrokovinar«, Laško.

3.2. Konceptija tehničkog rješenja

MHE Dubrava koristi se vodom lijevoga drenažnog jarka ukupne dužine 13,75 km s instaliranim protokom $12 \text{ m}^3/\text{s}$. Dovod vode na strojarnicu ostvaren je kao produžetak lijevoga drenažnog jarka do same strojarnice.

Dovod vode na turbine sastoji se od tri dijela: prijelaznog dijela dovodnog kanala, protočnih traktova proizvodnih jedinica opremljenih rešetkama i zatvaračima i od privodnih komora u kojima su smještene turbine.

Difuzorski dio strojarnice riješen je kao jednostavna komora pravokutnog oblika, koja se produžava u odvod vode prema profilu odvodnog kanala HE Dubrava. Radi što manjeg ukopa predviđeni su skraćeni di-

fuzori zvonastog tipa. Na kraju komora predviđeni su utori za nizvodne gredne remontne zapornice. Za odvod vode mimo strojarnice predviđena je uz blok strojarnice građevina glavnog ispusta s bočnim preljevom.

3.3. Tehnički opis postrojenja

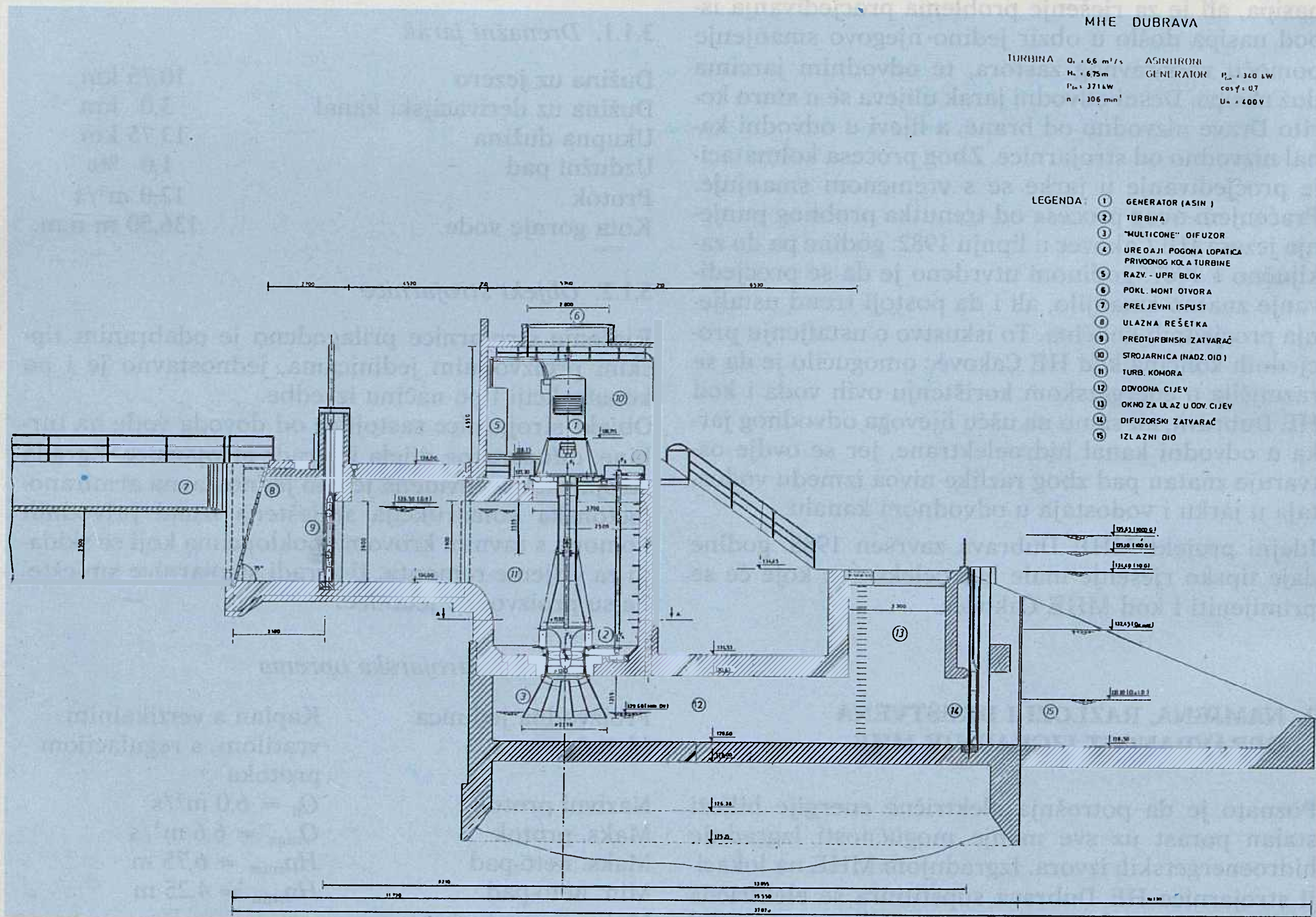
Postrojenje male hidroelektrane smješteno je pri ušću lijevoga drenažnog jarka u odvodni kanal HE Dubrava, 30 m uzvodno od mosta preko odvodnog kanala HE Dubrava.

Objekt MHE sastoji se od prelaznog dijela kanala, preljevnog ispusta, glavnog ispusta s ugrađenim zatvaračem, strojarnice s opremom dviju proizvodnih jedinica i izlaznog dijela strojarnice (slika 1).

Protočni trakt svake proizvodne jedinice opremljen je na ulaznoj strani rešetkom i zatvaračem, a na difuzorskim odvodima predviđeni su utori za zapornicu koja se koristi u vrijeme remontnih pregleda i radova na difuzorskom dijelu turbine.

Rešetka je predviđena sa štapovima debljine 10 mm i razmakom osi štapova 60 mm. Nagib rešetke je 75° . Rešetka se čisti ručno.

Pločasti kotrljajući zatvarač na ulaznoj strani predviđen je s elektromotornim i ručnim pogonom i spušta se samo u slučaju potrebe pražnjenja trakta proizvodne jedinice.



Slika 1. Uzdužni presjek postrojenja MHE Dubrava

Pločasta, klizna zapornica na difuzorskom odvodu predviđena je za ulaganje i vađenje u/iz mirne vode korištenjem auto-dizalice. U podignutom položaju držat će se zaklinjena (s gornje strane) i zaključana u uzvodnoj vodilici iznad otvora difuzorskog odvoda. Proizvodnu jedinicu sačinjavaju turbina tipa Kaplan s vertikalnim vratilom i asinhroni generator s vertikalnim vratilom. Generatorsko i turbinsko vrtilo spojeno je krutom spojkom, prirubnički. Jedinica ima četiri ležaja.

Turbinski rotor je predviđen s četiri fiksne lopatice, a stator sa 16 zakretnih lopatica. Položaj rotorskih lopatica može se korigirati u stanju mirovanja proizvodne jedinice, bez prisutne vode.

Difuzor turbine je trostruki »multicone«, a završava u odvodnoj cijevi, kroz koju se i doprema za montažu i spoj s turbinom.

Opremu turbine čine: mehanizam za zakretanje statorskih lopatica, postrojenje za opskrbu vodom za podmazivanje gumenih ležajeva, oprema za mjerenje, indikaciju i dojavu brzine vrtnje (i prekoračenja odgovarajuće brzine) i oprema upravljanja i zaštite proizvodne jedinice (uključivo upravljanje zatvaračem i mjerenje razine gornje vode GV ispred rešetke).

Opremu generatora čine otpornički termometri za signalizaciju prekoračenja odgovarajućih temperatura u statorskom namotu i ležajevima. Hlađenje generatora se osigurava prisilnim strujanjem okolnog zraka kroz unutrašnjost generatora korištenjem osovinskog ventilatora. Generatori su šticeeni prekostrujnom zaštitom, prenaponskom i podnaponskom zaštitom, zaštitom od povrata energije i termičkom zaštitom.

Protočni trakt glavnog ispusta opremljen je zatvaračem jednakih dimenzija i izvedbe, kao i zatvaračem na ulaznoj strani protočnog trakta proizvodnih jedinica, s time da je on normalno (dok rade proizvodne jedinice i održava se željena razina gornje vode) spušten, a podiže se automatski i u određenim koracima, tako da se održava željena razina GV uz minimalno potrebno propuštanje vode kroz ovaj ispust. Na MHE se predviđa mjerenje razine GV za potrebe indikacije (lokalno), zapisa (u strojarnici HE Dubrava) i automatske regulacije protoka kroz proizvodne jedinice i glavni ispust.

Radom male hidroelektrane i glavnog ispusta osigurava se održavanje konstantne razine GV na željenoj vrijednosti. Maksimalno moguća količina vode propušta se uglavnom kroz proizvodne jedinice, a eventualni višak vode dodatno se ispušta kroz glavni ispust.

Kada MHE ne radi, glavni ispust se posve otvara.

Za potrebe određivanja protoka kroz malu elektranu osiguran je iz MHE prenos podataka snage na stezaljkama generatora, položaja statorskih lopatica turbine i otvora (položaja) zatvarača na glavnom ispustu.

Upravljanje je izvedeno s mogućnostima lokalnog ručnog upravljanja svakim elementom i automatskim upravljanjem po kriteriju održavanja konstantne razine GV, uz napomenu da u ovom režimu po-

stoji mogućnost daljinske komande starta i stopa proizvodnih jedinica.

S proizvodnim jedinicama razina GV održava se u granicama odstupanja ± 1 cm od normalnog uspora i položaj rotorskih lopatica turbina treba tako prilagoditi da se osigura minimalno propuštanje (općenito i kod sporijih i manjih promjena dotoka) vode mimo proizvodnih jedinica.

Ako dotok premašuje mogućnost gutanja proizvodnih jedinica u radu, razinu GV treba održavati pokretanjem zatvarača na glavnom ispustu.

Pritom granica odstupanja vodostaja za aktiviranje pokretanja ovoga zatvarača može biti jednaka kao za proizvodne jedinice, ali s vremenskim kašnjenjem koje će omogućiti provedbu pokušaja povećanja protoka kroz proizvodne jedinice. Jednokratna promjena položaja zatvarača podesiva je u određenim granicama.

Uloga bočnog preljeva (na koti normalnog uspora) je da omogući otjecanje viška vode kojega se kratkotrajno ne može (zbog tromosti) izregulirati opisanim načinom regulacije.

U strojarnici MHE nalaze se ormari izvoda generatora, opremljeni s dva sloga strujnih transformatora i sklopkom (za odvajanje u beznaponskom stanju, ručni pogon) u energetsom krugu, te opremom mjerenja i zaštite, ormar s opremom upravljanja i signalizacije proizvodnih jedinica i ormar razvoda vlastite potrošnje MHE (napajan sa sabirnica vlastite potrošnje HE Dubrava).

MHE Dubrava je priključena na sabirnice postrojenja 0,4 kV vlastite potrošnje HE Dubrava (slika 2).

3.4. Način rada

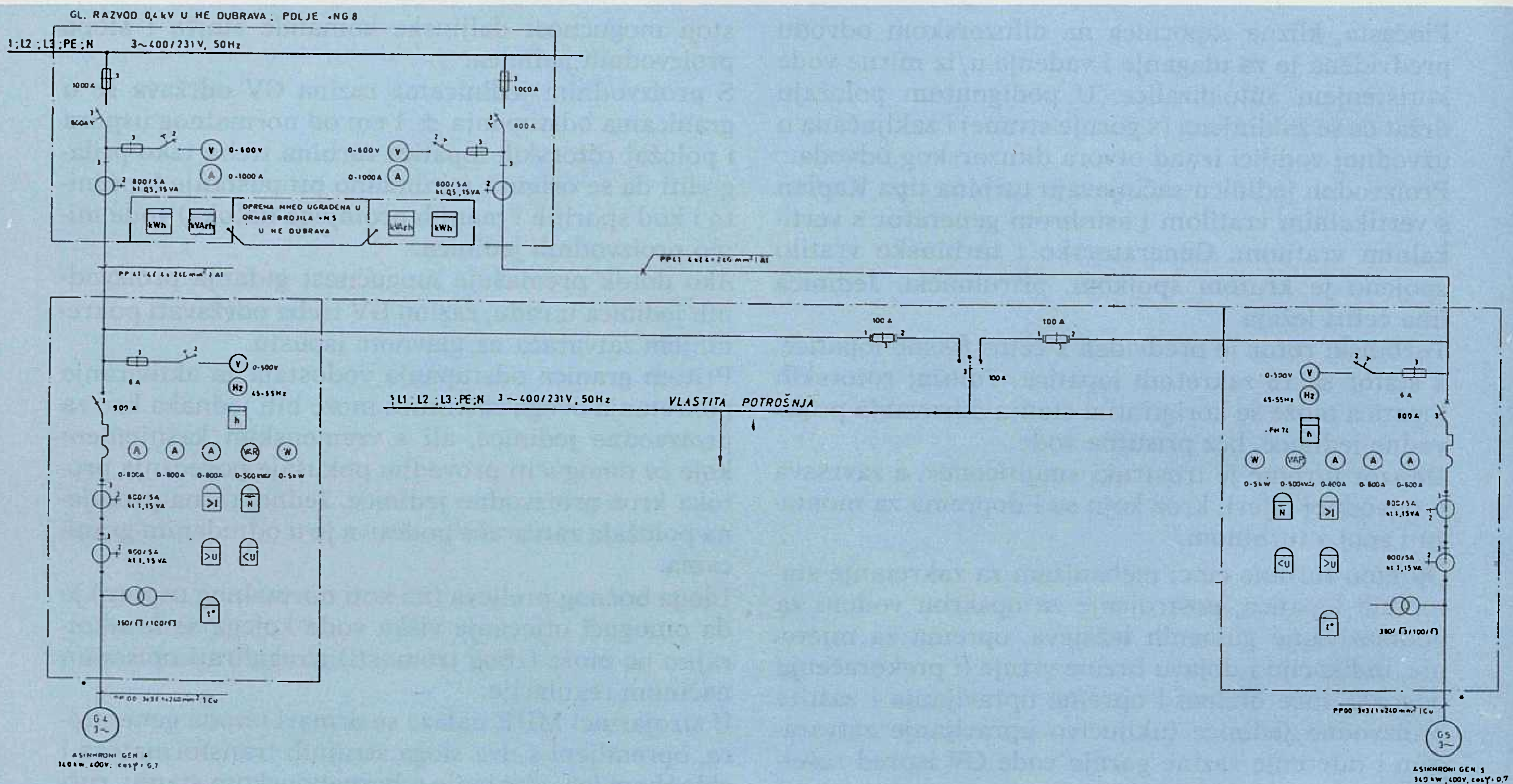
MHE Dubrava zbog specifičnog karaktera vodotoka na kojem se nalazi (umjetni vodotok, s neznatnim oscilacijama protoka u toku godine) predviđena je da radi kao protočna hidroelektrana i da opskrbljuje s električnom energijom vlastiti potrošak HE Dubrava. Oscilacije u proizvodnji električne energije ovisit će samo o režimu rada HE Dubrava, odnosno o razini vode u odvodnom kanalu HE Dubrava. Tako će minimalna proizvodnja MHE biti u vrijeme velikih voda Drave, kada se kroz strojarnicu HE Dubrava stalno propušta 500 m³/s, a vodostaji u odvodnom kanalu su prosječno najviši u toku godine.

4. ORGANIZACIJA PRIPREME I GRAĐENJA

Organizacija gradilišta i potrebni pripremni radovi izvedeni su u skladu s potrebama gradnje takve veličine i vrste objekta uz maksimalno korištenje građevinske mehanizacije.

Građevinski materijal potreban za građenje korišten je iz lokalnih izvorišta.

Da bi se omogućilo građenje MHE, skrenuta je voda iz drenažnog jarka u nizvodno izveden pomoćni jark. Na taj način je omogućena gradnja građevinskog dijela MHE bez djelovanja vode koja dotiče drenažnim jarkom. Na samoj lokaciji strojarnice



Slika 2. Osnovna električna shema MHE Dubrava

zbog visinske razlike osi turbina i razina vode u drenažnom jarku i vode u odvodnom kanalu HE Dubrava bilo je potrebno izvesti temeljenje objekta u tlu pod djelovanjem podzemne vode. Nakon analiziranja varijanti temeljenja odabran je način izvedbe donjega temeljnoga dijela strojarnice metodom zdenca. Taj način primijenjen je za dio strojarnice od kote 125,15 m n.m. do kote 131,20 m n.m. Na preostalom dijelu strojarnice iznad ovog najdubljeg dijela izvodila se daljnja gradnja u suhom prema projektu. Nakon izgradnje glavnog ispusta i brzotoka u nastavku tog ispusta, prestala je funkcija pomoćnog jarka, pa je voda skrenuta u glavni ispust. Nakon ugradnje elektrostrojarske opreme usmjeren je tok vode na turbine i počeo je probni pogon. Do danas je u pogonu jedna proizvodna jedinica.

5. ZAKLJUČAK

Izgradnja MHE Dubrava na lijevom drenažnom jarku ostvaruje se zajedno s izgradnjom HE Dubrava, što se u literaturi preporuča kao najpovoljnije rješenje. Na taj se način iskorištenjem raspoloživog hidroenergetskog potencijala drenažnog jarka dobiva električna energija ne samo za potrebe vlastite potrošnje HE Dubrava već i dodatna energija adekvatna snazi MHE za potrebe EES-a R Hrvatske.

LITERATURA

- [1] Prijedlog studije energetskeg korištenja vode drenažnog kanala hidroelektrane Čakovec, HE Čakovec, 1985.

- [2] Osnovni projekt male hidroelektrane Čakovec, »Elektroprojekt« Zagreb, 1988.
- [3] Idejni projekt male hidroelektrane Dubrava, »Elektroprojekt« Zagreb, 1988.
- [4] Ponudbena dokumentacija za MHE Dubrava i MHE Čakovec, »Elektroprojekt« Zagreb, 1988.
- [5] Predugovor za isporuku i montažu opreme za male hidroelektrane, »Elektroprivreda Zagreb«, — »Rade Končar«, Zagreb, 1988.

THE DUBRAVA HYDROELECTRIC 2 × 340 kW POWER PLANT

Characteristics of the small Dubrava hydroelectric power plant that uses hydro energy from a left drainage channel are presented.

DAS KLEINE WASSERKRAFTWERK DUBRAVA 2 × 340 kW

Hier wird über die Merkmale des kleinen Wasserkraftwerkes Dubrava berichtet, welches das hydroenergetische Potential des linken Drainagegrabens benutzt.

Naslov pisca:

Franjo Černohous, dipl. inž.
41000 Zagreb, Trsatska 34
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1991-05-09

MJERNI TRANSFORMATORI — KOMPONENTA SISTEMA ZAŠTITE

Mr. Miroslav Poljak — Boris Bojanić, Zagreb

UDK 621.314.22.08

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Opisane su osnovne karakteristike i način specificiranja strujnih i naponskih transformatora za zaštitu s posebnim osvrtom na zahtjeve definirane novim IEC standardima.

Takoder su dane procjene nekih bitnih karakteristika Končarevih mjernih transformatora s aspekta zaštitnih sistema.

Ključne riječi: strujni transformator za zaštitu, naponski transformator za zaštitu, kapacitivni naponski transformator, zaštita, visokoimpedantna zaštita.

1. UVOD

Bitan je preduvjet za ispravan rad zaštite u elektroenergetskom sistemu da mjerni transformatori što je moguće točnije transformiraju struje i napone sistema u uvjetima normalnog pogona i u uvjetima kvarova. Prema IEC i JUS definiciji, mjerni transformator namijenjen je za prijenos informacijskog signala mjernim instrumentima, brojilima i zaštitnim i kontrolnim uređajima.

Cjelokupni sistem zaštite u mrežama za prijenos i distribuciju može se podijeliti na četiri podsistema:

- a) mjerni transformatori za mjerenje struje i napona,
- b) podsistem za prijenos signala od mjernih transformatora do zaštitnih i kontrolnih uređaja,
- c) podsistem zaštite i kontrole,
- d) softver za upravljanje podsistemom zaštite i kontrole.

Za korisnike i projektante zaštite naročito je važno da spomenute podsisteme mogu međusobno kombinirati po »unaprijed određenim pravilima«, i to bez ograničenja. Tako s aspekta zaštite za mjerne transformatore nedvosmisljena i »unaprijed određena pravila« predstavljaju IEC standardi 185 (44–1), 186 (44–2, 44–5).

2. PODJELA STRUJNIH TRANSFORMATORA ZA ZAŠTITU

Prema dosadašnjem standardu IEC i JUS strujni transformatori za zaštitu specificirani su na osnovi složene pogreške (5 ili 10 %) pri graničnoj struji točnosti; npr. 5P20. znači da je dozvoljena pogreška transformatora 5% pri dvadesetorostrukoj nazivnoj struji.

Razvojem zaštitnih sistema i uvođenjem novih tehnologija pojavila se potreba redefiniranja klasa strujnih transformatora za zaštitu.

Radna grupa IEC TC 38 predložila je Nacionalnim komitetima IEC-a promjenu postojećeg standarda. Prijedlog je konačno usvojen 1989. godine i sada ima snagu IEC standarda. Prema tom prijedlogu uvedene su četiri nove klase sa sljedećim osnovnim karakteristikama:

1. TPS-niskoreaktantni transformator koji se koristi za rad visokoimpedantne zaštite, pri čemu je naročito bitno točno poznavanje omjera prijenosa transformatora, odnosno broj zavoja sekundarnog namota.
2. TPX-transformator koji je veoma sličan transformatorima klase P. Zahtjevi klase točnosti postavljeni su prema maksimalnoj trenutnoj pogrešci u specificiranom radnom ciklusu. Nazivni faktor predimenzioniranja praktično je određen vremenskom konstantom primarnog kruga (mreže).
3. TPY-transformator kojemu remenentni tok ne prelazi 10% toka zasićenja. Zahtjevi klase točnosti postavljeni su prema maksimalnoj trenutnoj pogrešci u specificiranom radnom ciklusu. Nazivni faktor predimenzioniranja određen je vremenskim konstantama primarnog i sekundarnog kruga te trajanjem beznaponske pauze u slučaju dvostrukog radnog ciklusa. Pri prijelazu iz zasićenog stanja u remenentno struja u sekundarnom krugu mnogo je veća nego kod transformatora klase P, TPS i TPX.
4. TPZ-transformator sa zanemarivim remenentnim tokom prvenstveno se koristi za rad zaštitnih sistema sa strujno-naponskim pretvaračima koji konvertiraju mjerne veličine. Kako je u ovom slučaju interesantna samo izmjenična komponenta sekundarne struje, zahtjevi klase točnosti postavljeni su prema maksimalnoj trenutnoj pogrešci izmjenične komponente struje greške. Sekundarna struja nakon dolaska transformatora u zasiženje veća je nego za transformator klase TPY.

Zbog značajnih promjena u klasifikaciji strujnih transformatora za zaštitu navode se kompletni poda-

ci za specifikaciju tih transformatora koji su veoma značajni za proizvođača i naručioca. Osim toga, dane su skraćene definicije ili matematička interpretacija pojmova za koje autori pretpostavljaju da su manje poznati korisnicima mjernih transformatora.

Tablica 1. Podaci za specifikaciju strujnih transformatora za zaštitu

Br.	Naziv/Oznaka	P	TPS	TPX	TPY	TPZ
1.	Nazivna mehanička čvrstoća	X	X	X	X	X
2.	Klasa izolacije	X	X	X	X	X
3.	Najviši napon opreme U_m	X	X	X	X	X
4.	Nazivni stupanj izolacije	X	X	X	X	X
5.	Uvjeti pogona (okoline)	X	X	X	X	X
6.	Nazivna frekvencija	X	X	X	X	X
7.	Nazivna(e) primarna(e) struja(e) I_{pr}	X	X	X	X	X
8.	Nazivna(e) sekundarna(e) struja(e) I_{sr}	X	X	X	X	X
9.	Nazivna trajna termička struja I_{cth}	X	X	X	X	X
10.	Nazivna kratkotrajna termička struja I_{th}	X	X	X	X	X
11.	Nazivna dinamička struja I_{dyn}	X	X	X	X	X
12.	Nazivna snaga S_n	X	—	—	—	—
13.	Oznaka klase točnosti	X	—	—	—	—
14.	Granični faktor točnosti F_t	X	—	—	—	—
15.	Nazivni omjer transformacije (mjerodavan za točnost)	X	X	X	X	X
16.	Nazivni radni teret R_b	—	X	X	X	X
17.	Nazivni faktor simetrične struje kratkog spoja K_{ssc}	—	X	X	X	X
18.	Vremenska konstanta primarnog kruga T_p	—	—	X	X	X
19.	Vremenska konstanta sekundarnog kruga T_s	—	—	—	X	—
20.	Specificirani radni ciklus	—	—	X	X	—
21.	Faktor dimenzioniranja	—	X	—	—	—
22.	Granična uzbudna struja I_{al}	—	X	—	—	—
23.	Nazivni ekvivalentni sekundarni uzbudni napon U_{al}	—	X	—	—	—
24.	Otpor namota R_{ct}	—	X	—	—	—

X — podaci koji se navode pri specficiranju transformatora
 — — podaci koje nije potrebno navoditi pri specficiranju transformatora

Pojašnjenja nekih od upotrijebljenih pojmova:

1. Maksimalna trenutna pogreška

$$\hat{\varepsilon} = \frac{100}{\sqrt{2} I_{psc}} \hat{i}_e \quad (1)$$

I_{psc} — efektivna vrijednost simetrične struje kratkog spoja

\hat{i}_e — trenutna struja greške, razlika između trenutnih vrijednosti sekundarne struje pomnožene s nazivnim omjerom transformacije i trenutne primarne struje.

2. Faktor predimenzioniranja

Omjer između ukupno teorijski spregnutog magnet-skog toka i tjemene vrijednosti izmjenične komponente tog toka uz pretpostavku da nazivna vremenska konstanta sekundarnog kruga zadržava konstantnu vrijednost u cijelom specficiranom radnom ciklusu.

3. Specificirani radni ciklus

Način isključenja kratkog spoja u mreži koji može biti jednostruk ili dvostruk. Pri jednostrukome ne-

ma automaskog ponovnog isključenja, poznato je vrijeme potrebno da se prekine struja kratkog spoja i eventualno vrijeme unutar kojega se zahtijeva specificirana točnost. Za dvostruki radni ciklus potrebno je još poznavati vrijeme trajanja beznaponske pauze.

4. Nazivni faktor simetrične struje kratkog spoja

$$K_{ssc} = \frac{I_{psc}}{I_{pr}} \quad (2)$$

5. Nazivni ekvivalentni sekundarni uzbudni napon

$$U_{al} \geq K K_{ssc} (R_{ct} + R_b) I_{sr} \quad (3)$$

Faktor dimenzioniranja K ovisan je o tipu zaštite i definira ga korisnik. Isto tako korisnik definira graničnu uzbudnu struju I_{al} pri naponu U_{al} .

Da se analiziraju zahtjevi koji zaštita postavlja na strujne transformatore, releji se mogu klasificirati u skladu s tehnologijom njihove izrade:

1. Elektromehanički releji

2. Statički releji, i to:

- analogni
- digitalni
- bazirani na mikroprocesorskoj tehnologiji.

Procjenjuje se [6] da je 1980. godine na tržištu bilo 40% elektromehaničkih releja, 40% statičkih-analognih i 20% statičkih digitalnih, a da će 1995. godine elektromehanički potpuno iščeznuti, 20% bit će statičkih-analognih, 50% statičkih-digitalnih i 30% onih koji se baziraju na mikroprocesorskoj tehnologiji. Kakve zahtjeve pojedini tipovi releja zajedno s prijenosnim sistemom postavljaju na nazivu snagu strujnih transformatora, pokazano je u tablici 2.

Tablica 2. Zahtijevana nazivna snaga strujnih transformatora za različite tipove releja

Tip releja	Relej [VA]	Med. trans. [VA]	Ožičenje [V]*	Str. trans. [VA]
elektromehanički	10–30	1–5	1 A: 0.5 5 A: 12	1 A: 12–36 5 A: 23–47
analogni-statički	1–3	1–5	1 A: 0.5 5 A: 12	1 A: 3–0 5 A: 13–14
digitalni-statički	0.1–0.5	0.1–0.5	1 A: 0.5 5 A: 12	1 A: 1–2 5 A: 13–14
mikroprocesorski	0.1–0.5	nije potreban	1 A: 0.5 5 A: 12	1 A: 1 5 A: 13

* Za prijenosni sistem pretpostavljeno je da se koristi dvožilni kabel 50 m duljine $\varnothing = 2.3$ mm.

2.1. Transformatori klase P

Do danas su se za zaštitu gotovo isključivo koristili transformatori klase P. Razvojem modernije zaštite parametri koji opisuju te transformatore (tablica 1) postali su nedovoljni da se procijeni rad zaštitnih uređaja u uvjetima kvara. Naime, transformatori koji imaju istu nazivnu snagu (S_n) i granični faktor točnosti (F_t) mogu se ponašati pri istim uvjetima kvara potpuno različito, ovisno o unutrašnjoj impedanciji sekundarnog namota. Evidentno je također iz tablice

2. da moderniji tipovi zaštite znatno reduciraju zahtjeve u pogledu nazivne snage transformatora. Posebno ističemo da se postojeći transformatori klase P mogu koristiti kao transformatori klase TPX. Korištenje tih transformatora za klasu TPY i TPZ nije moguće, a izričito je zabranjeno koristiti ih kao transformatore klase TPS koj je namijenjena za visokoimpedantnu zaštitu. Međutim, većinom je moguća tvornička prepravka transformatora klase P praktično u bilo koju od navedenih klasa TP, imajući, naravno, na umu specifične zahtjeve svakog od pojedinačnih slučajeva (struja kratkog spoja, vremenska konstanta mreže, nazivni teret, specificirani radni ciklus).

Za korištenje transformatora klase P kao klase TPX dovoljno je od podataka transformatora poznavati otpor namota i napon zasićenja (napon koljena).

Za dosadašnje izvedbe »Končarevih« strujnih transformatora otpori namota na temperaturi 75 °C mogu se procijeniti pomoću jednadžbe (4).

$$R_{ct} \approx k_1 \times N_2 \times F_t \times I_{sr} + k_2 \times \sqrt{Z_b \times N_2 \times F_t \times I_{sr}} \quad (4)$$

N_2 — broj zavoja sekundarnog namota

Z_b — impedancija nazivnog tereta transformatora $Z_b = S_n / I_{sr}^2$

F_t i I_{sr} kao u tablici 1.

Konstante k_1 i k_2 ovise o presjeku žice sekundarnog namota, a njihove granične vrijednosti dane u tablici 3.

Tablica 3. Granične vrijednosti konstanti k_1 i k_2

Nazivna sek. struja [A]	Donja granica		Gornja granica	
	k_1	k_2	k_1	k_2
1	$2 \cdot 10^{-6}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$	$3.1 \cdot 10^{-5}$	$8.8 \cdot 10^{-3}$
5	$2.1 \cdot 10^{-7}$	$7.1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$

Točnost izraza (4) procjenjuje se na oko 15%, a ovisi o broju slojeva sekundarnog namota i obliku presjeka jezgre transformatora. Otpori namota većine do sada proizvedenih transformatora približno su jednaki gornjim graničnim vrijednostima.

Druga bitna karakteristika, napon zasićenja (koljen) transformatora u slučaju omskog tereta, s dovoljnom točnošću može se procijeniti iz izraza (5).

$$U_z \approx 0.8 \times F_t I_{sr} \times (R_b + R_{ct}). \quad (5)$$

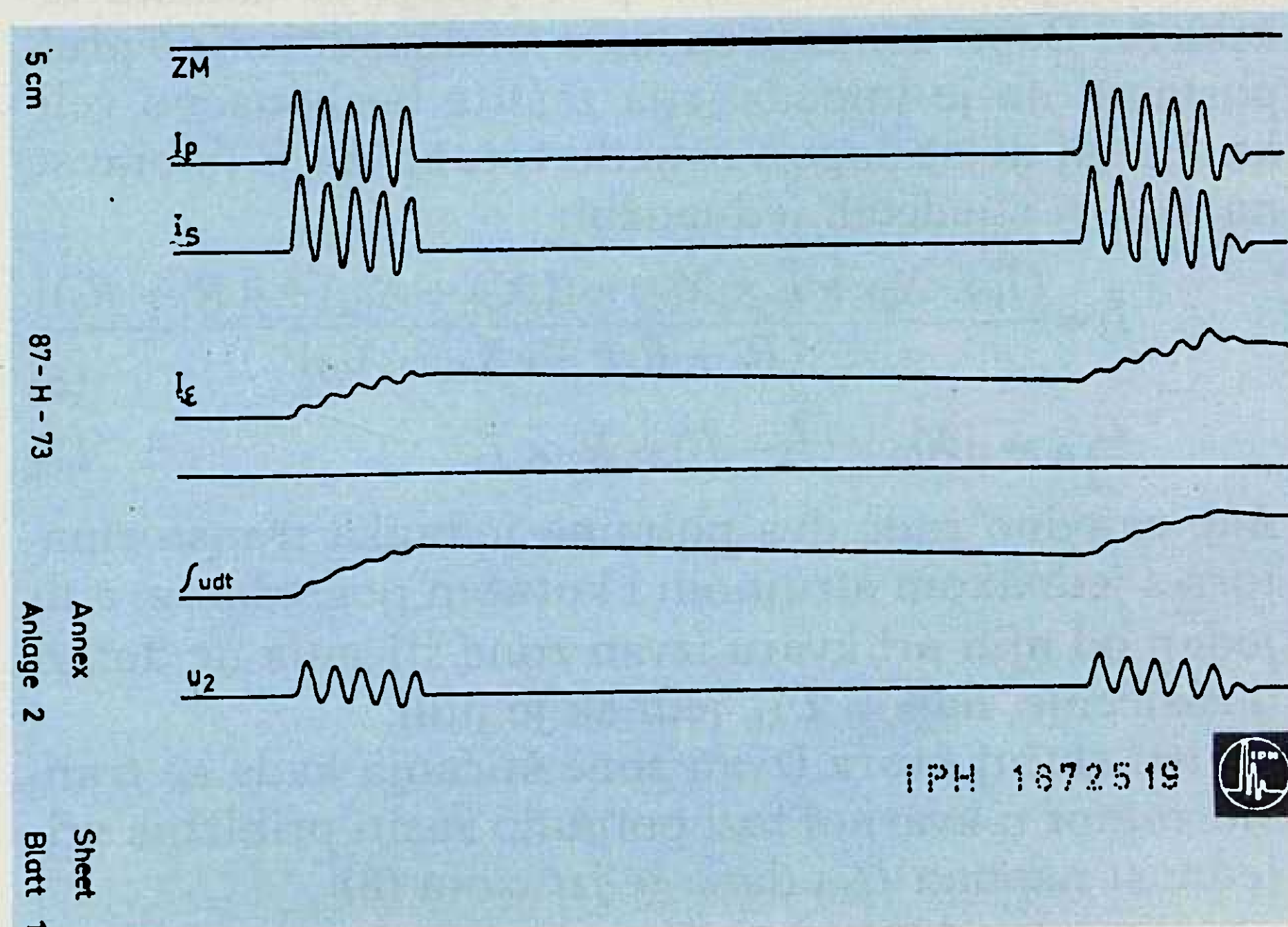
2.2. Transformatori klase TP

Kako se transformatori klase TPX, TPY i TPZ ponašaju u uvjetima kratkog spoja u mreži relativno je dobro obrađeno u mnogim radovima, bilo da se pretpostavljaju linearni odnosi u transformatoru [1], [2] ili se u obzir uzima zasićenje njegove jezgre [2], [7]. Točnost takvih proračuna moguće je verificirati mjerenjem na gotovim transformatorima i/ili njihovim modelima.

Rezultati mjerenja transformatora »RK« AGU-420 prijenosnog omjera 2500/1 s stvarnom strujom krat-

kog spoja u laboratoriju IPH-Berlin prikazani su na slici 1.

Mjerenjem je u potpunosti verificiran postojeći model dan u [2], [7]. Razlike između rezultata mjerenja i proračuna manje su od 10% od maksimalno dozvoljene struje greške, odnosno oko 1% od sekundarne struje, pa se s popriličnom sigurnošću može reći da proračun daje vjerne podatke i s aspekta zaštitnog sistema.



Slika 1. Rezultati ispitivanja transformatora AGU-420, 2 500/1 A klase TPY, $R_b = 12 \Omega$ sa strujom kratkog spoja 37.5 kA ef. u laboratoriju IPH-Berlin

- I_p — Primarna struja (struja kratkog spoja)
- I_s — sekundarna struja
- I_e — struja greške
- $\int u dt$ — integral sekundarnog napona (magnetski tok)
- u_2 — sekundarni napon

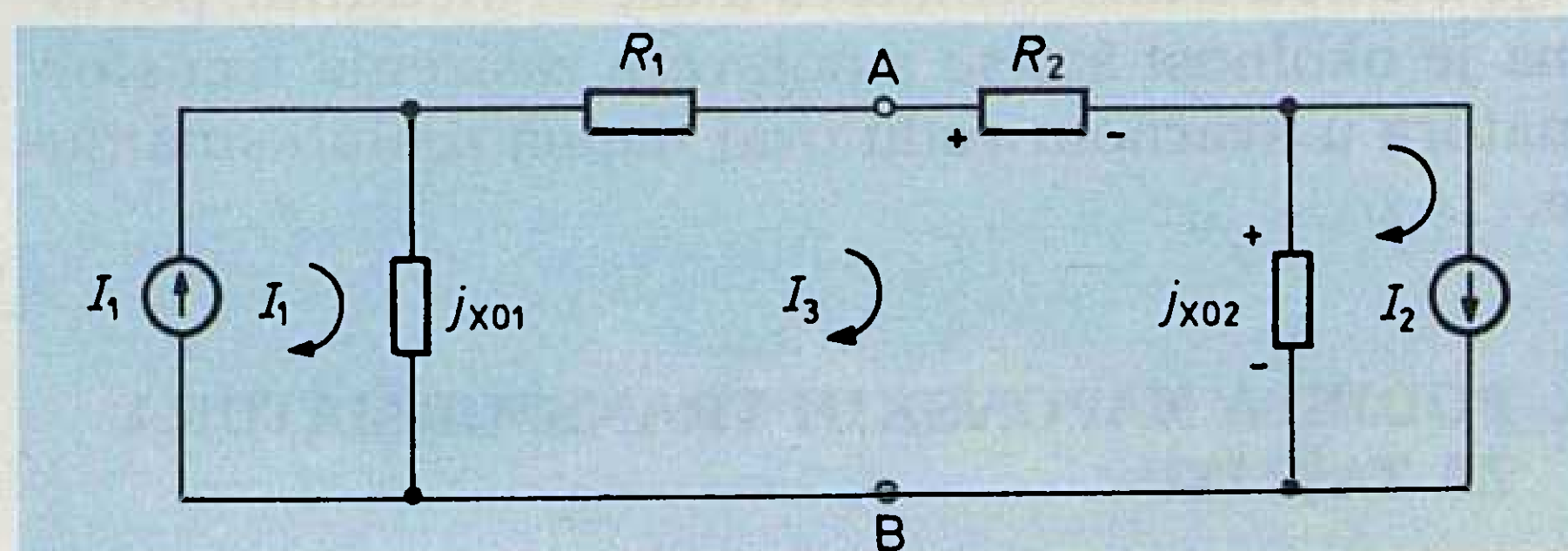
Ponašanje transformatora klase TPS, namijenjenih za rad visokoimpedantne zaštite, opisuje se nazivnim ekvivalentnim sekundarnim uzбудnim naponom U_{al} (u ovom slučaju praktično isto što i napon zasićenja), graničnom uzбудnom strujom I_{al} , otporom namota i faktorom dimenzioniranja (tablica I) i pritom mora biti zadovoljena relacija (3).

Mjerenjem na gotovim transformatorima provjerava se da struja magnetiziranja ne prelazi zadanu vrijednost i_{al} pri naponu U_{al} , kao i da se omjer broja zavoja sekundarnog i primarnog namota ne razlikuje, od teorijske vrijednosti za više od 0.25%.

Za bolje razumijevanje rada strujnih transformatora kada napajaju visokoimpedantnu zaštitu može nam poslužiti slika 2.

Na slici 2. dane oznake imaju sljedeće značenje:

- I_i — strujni izvor, čija struja odgovara sekundarnoj struji strujnog transforma-



Slika 2. Nadomjesna shema dvaju strujnih transformatora pri radu visokoimpedantne zaštite

tora, a imaju fazni pomak nula za kvar van zone šticeanja (kao na slici), $i = 1, 2$,

R_i — otpor sekundarnog kruga strujnog transformatora (otpor namota i otpor spojnih vodova,

X_{0i} — reaktancija sekundarnog kruga transformatora

$$X_0 \approx U_{al}/I_{al}.$$

Visokoimpedantna zaštita priključuje se između točaka A i B, pri čemu je za našu analizu dovoljno pretpostaviti da je impedancija zaštite beskonačno velika. Uz taj uvjet napon između točaka A i B dobije se na osnovi sljedećih jednadžbi:

$$\vec{I}_3 = \frac{(\vec{I}_1 \times X_{01} + \vec{I}_2 \times X_{02}) \times [(X_{01} + X_{02}) + j(R_1 + R_2)]}{(R_1 + R_2)^2 + (X_{01} + X_{02})^2} \quad (6)$$

$$\vec{U}_{AB} = jX_{02} \times (\vec{I}_3 - \vec{I}_2) + R_2 \times \vec{I}_3. \quad (7)$$

Ako zajedno rade dva potpuno jednaka transformatora s jednakom strujnom i kutnom pogreškom, a ni jedan od njih pri kvaru izvan zone šticeanja ne dolazi u zasićenje, napon U_{AB} jednak je nuli.

Za isti slučaj kvara izvan zone šticeanja kada se transformator u kvarnoj fazi potpuno zasiti približna vrijednost napona U_{AB} dana je izrazom (8).

$$|U_{AB}| \approx I_K \times R_i. \quad (8)$$

I_K je struja kratkog spoja nezasićenog transformatora svedena na sekundarnu stranu, a ovaj napon mora biti manji od napona podešenja releja.

U slučaju kvara unutar zone šticeanja struja I_3 jednaka je nuli, a napon U_{AB} jednak je:

$$|U_{AB}| \approx I_K \times X_0, \quad (9)$$

što je zapravo napon otvorenog strujnog transformatora, i on naravno mora biti veći od napona podešenja releja.

Veoma interesantan rezultat dobije se uz pretpostavku da strujni transformatori nisu identični, što je u praksi redovito. Pretpostavimo da se brojevi zavoja transformatora međusobno razlikuju za 0.5%, što je dozvoljeno novim IEC standardom. Tada se približno može računati da se njihova strujne pogreške razlikuju za isti posotak. Uz daljnju pretpostavku da su im kutne pogreške jednake, napon između točaka A i B za kvarove izvan zone šticeanja jednak je:

$$|U_{AB}| \approx 0.0025 \times I_K \times X_0. \quad (10)$$

Za realne parametre transformatora ovaj napon može biti veći od napona podešenja releja i na taj način uzrokovati nestabilnost zaštite. Naročito problemi mogu biti izraženi ako se strujne pogreške transformatora međusobno više razlikuju, što je prilično vjerojatno kod transformatora klase P. Međutim, povoljna je okolnost što se s pojavom zasićenja transformatora u kvarnom vodu ovaj napon realno smanjuje.

3. PODJELA NAPONSKIH TRANSFORMATORA ZA ZAŠTITU

Klasifikacija naponskih transformatora za zaštitu u osnovi je mnogo jednostavnija nego kod strujnih

transformatora. Različiti zahtjevi koje zaštita postavlja na te transformatore nisu rezultat standardom definiranih klasa točnosti, nego proizlaze iz bitno različitih fizikalnih i konstrukcijskih karakteristika naponskih transformatora. U tom smislu naponske transformatore dijelimo na induktivne i kapacitivne. U tablici 4. dani su podaci za njihovu specifikaciju uz napomenu da se prvih šest podataka iz tablice 1. ujedno zahtijeva i za naponske transformatore.

Tablica 4. Podaci za specifikaciju naponskih transformatora za zaštitu

Br.	Naziv/Oznaka	Induktiv. transf.	Kapacitiv. transf.
1.	Nazivni primarni napon(i) U_{pr}	X	X
2.	Nazivni sekundarni napon(i) U_{sr}	X	X
3.	Nazivni faktor napona/trajanje	X	X
4.	Nazivna granična termička snaga	X	X
5.	Nazivni teret S_n	X	X
6.	Klasa točnosti	X	X
7.	Kapacitet mreže	X	X
8.	Nazivni kapacitet transformatora C_N	—	X

Slično kao kod strujnih transformatora, tehnologija izrade releja bitno utječe na nazivnu snagu naponskih transformatora bez obzira na tip transformatora, a praktično i bez obzira na nazivni sekundarni napon (tablica 5).

Tablica 5. Zahtjevna nazivna snaga naponskih transformatora za različite tipove releja

Tip releja	Relej [VA]	Med. trans. [VA]	Napon. trans. [VA]
elektromehanički	10 — 30	1 — 5	11 — 35
analogni-statički	1 — 3	1 — 5	2 — 8
digitalni-statički	0.1 — 0.5	1 — 5	2 — 6
mirkoprosorski	0.1 — 0.5	nije potreban	0.1 — 0.5

Evidentno je iz tablice 5. da moderna zaštita dozvoljava redukciju nazivne snage naponskih transformatora u odnosu na dosadašnje uobičajene izvedbe približno za faktor 10. To je osnovni razlog da se danas za mjerenje napona u elektroenergetskim postrojenjima sve više koriste visokonaponska djelila.

3.1. Kapacitivni naponski transformatori

Kapacitivni naponski transformatori (KNT) sastoje se od kapacitivnog djelila na čiji se sredjonaponski kondenzator spaja induktivni dio. Takav sklop osjetljiv je na ferorezonantne pojave, pa se u pravilu KNT oprema dodatnim uređajem za suzbijanje tih pojava. Končarevi KNT su u tu svrhu opremljeni RLC filtrom koji na nazivnoj frekvenciji tvori paralelni rezonantni krug priključen trajno ili samo u slučaju pojave ferorezonancije na posebno izveden niskonaponski namot. Kao druga varijanta koristi se posebno konstruirana prigušnica koja se također priključuje na poseban namot.

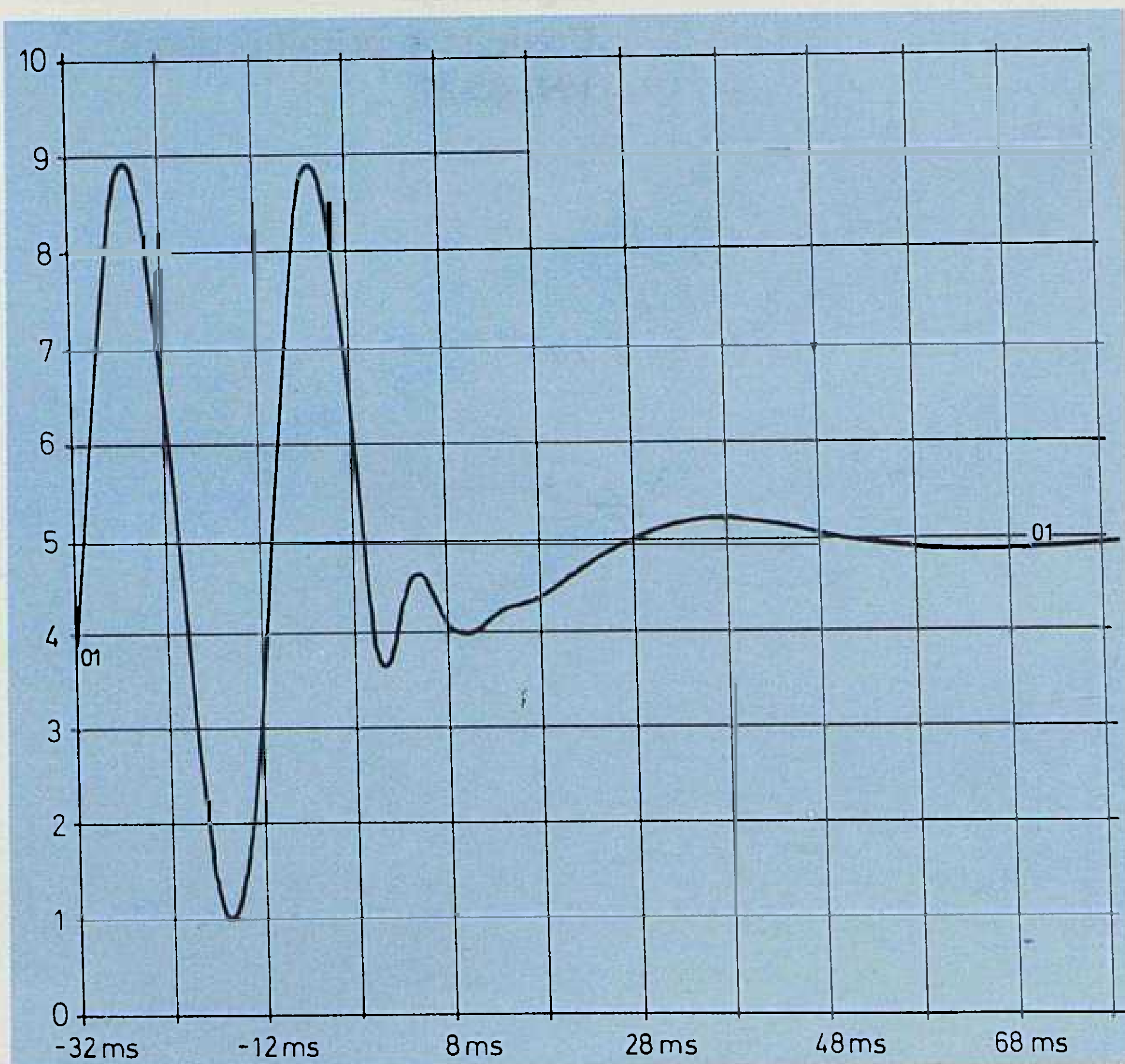
S aspekta zaštite KNT je interesantan i problematičan u slučajevima kratkih spojeva na njegovoj primarnoj strani. Naime, tada, zbog energije sadržane u kapacitivnim i induktivnim komponentama transformatora, sekundarni napon nije vjerna slika napona mreže. Općenito se može reći da je amplituda odziva KNT veća što je manji pogonski kapacitet transformatora, ali da u tom slučaju pojava duže traje, što s gledišta zaštite može biti nepovoljnije.

Osim iznosa sekundarnog napona nakon određenog vremena od nastanka kratkog spoja (10% tjemene vrijednosti, 20ms), što se IEC standardom postavlja kao zahtjev na KNT, veoma je s gledišta zaštite važan sadržaj harmonika u odzivu transformatora.

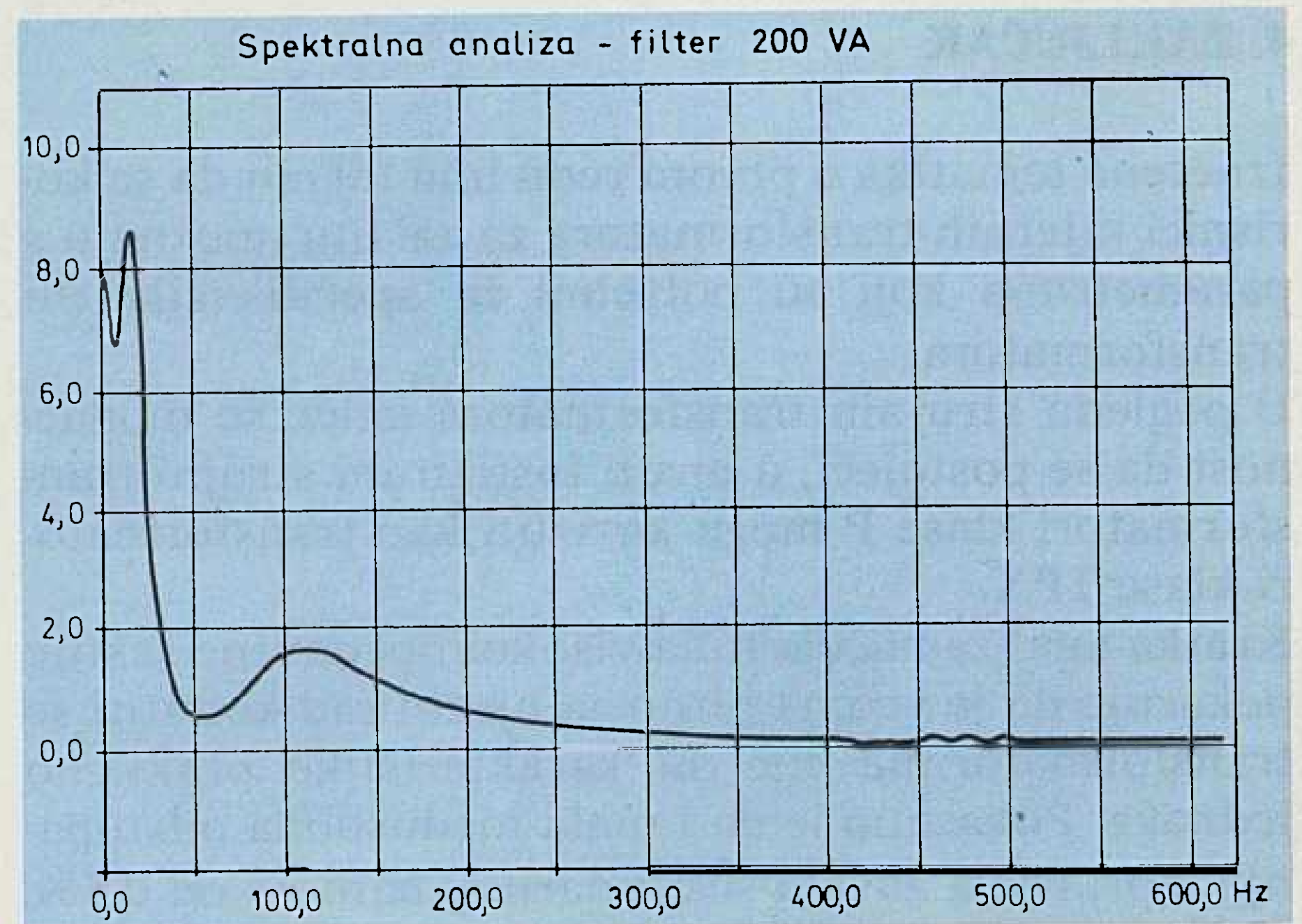
Rezultati mjerenja i istraživanja odziva transformatora VCU-72.5 kada kratki spoj nastaje u trenutku prolaza primarnog napona u okolišu nule dani su na slici 3. (transformator s RCL filterom) i slici 5. (transformator s posebnom prigušnicom). U oba primjera transformator je bio opterećen nazivnim teretom od 200 VA. Spektralna analiza odziva dana je na slikama 4. i 6. Evidentno je sa slike 4. da za slučaj priključnog RLC filtra dominantne frekvencije odziva su oko 15 i 120 Hz, dok za slučaj kada je transformator umjesto RLC filtra ima samo prigušnicu za gušenje ferorezonancije, praktično se može govoriti samo o istosmjernoj komponenti odziva.

3.2. Induktivni naponski transformatori

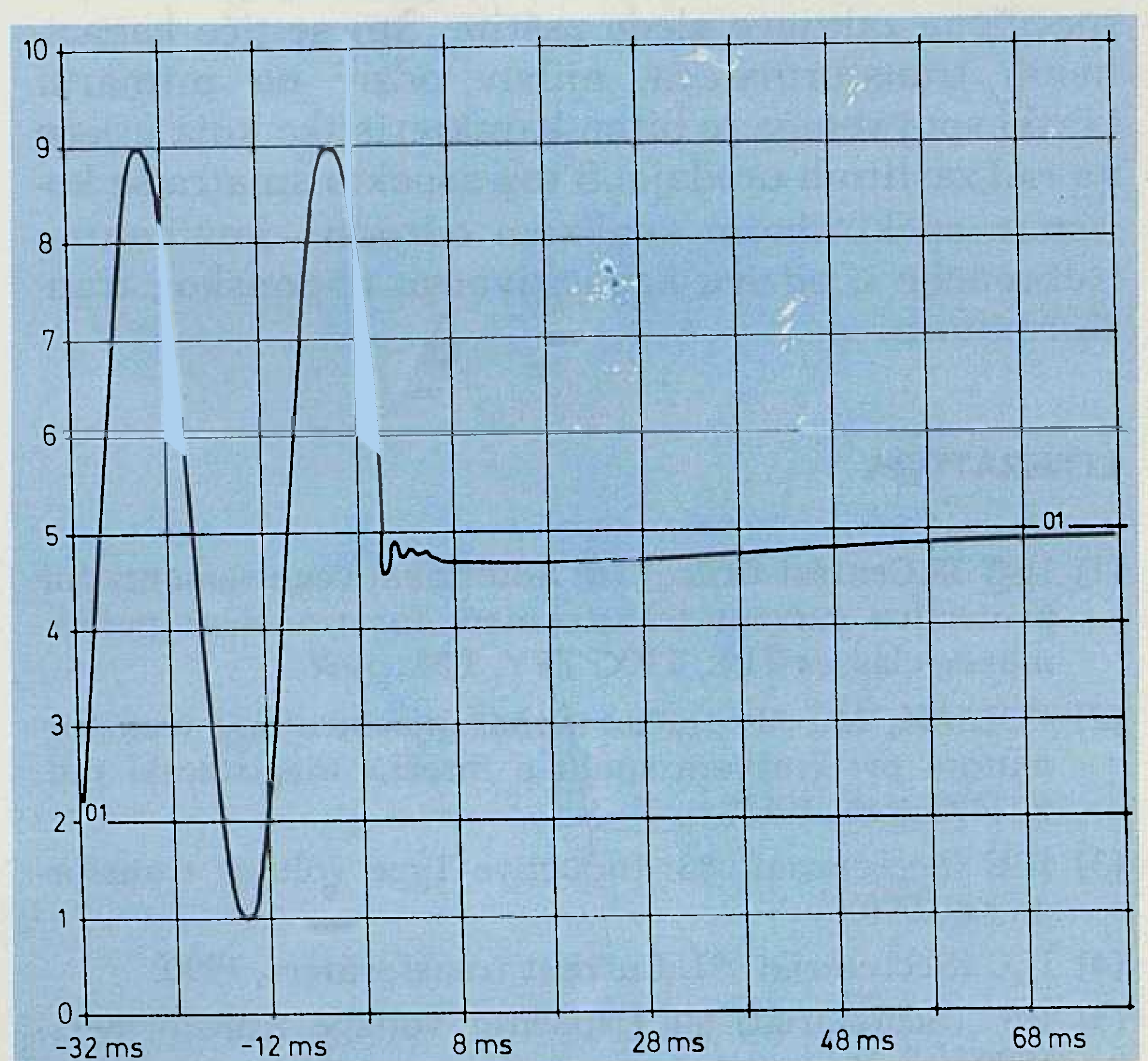
U današnjim važećim standardima na induktivne naponske transformatore ne postavljaju se nikakvi zahtjevi u pogledu odziva pri kratkom spoju između njegova visokonaponskog priključka i zemlje. Smatra se zadovoljavajućim [6] ako tada sekundarni napon transformatora padne na nulu 5 do 10 ms nakon nastanka kratkog spoja.



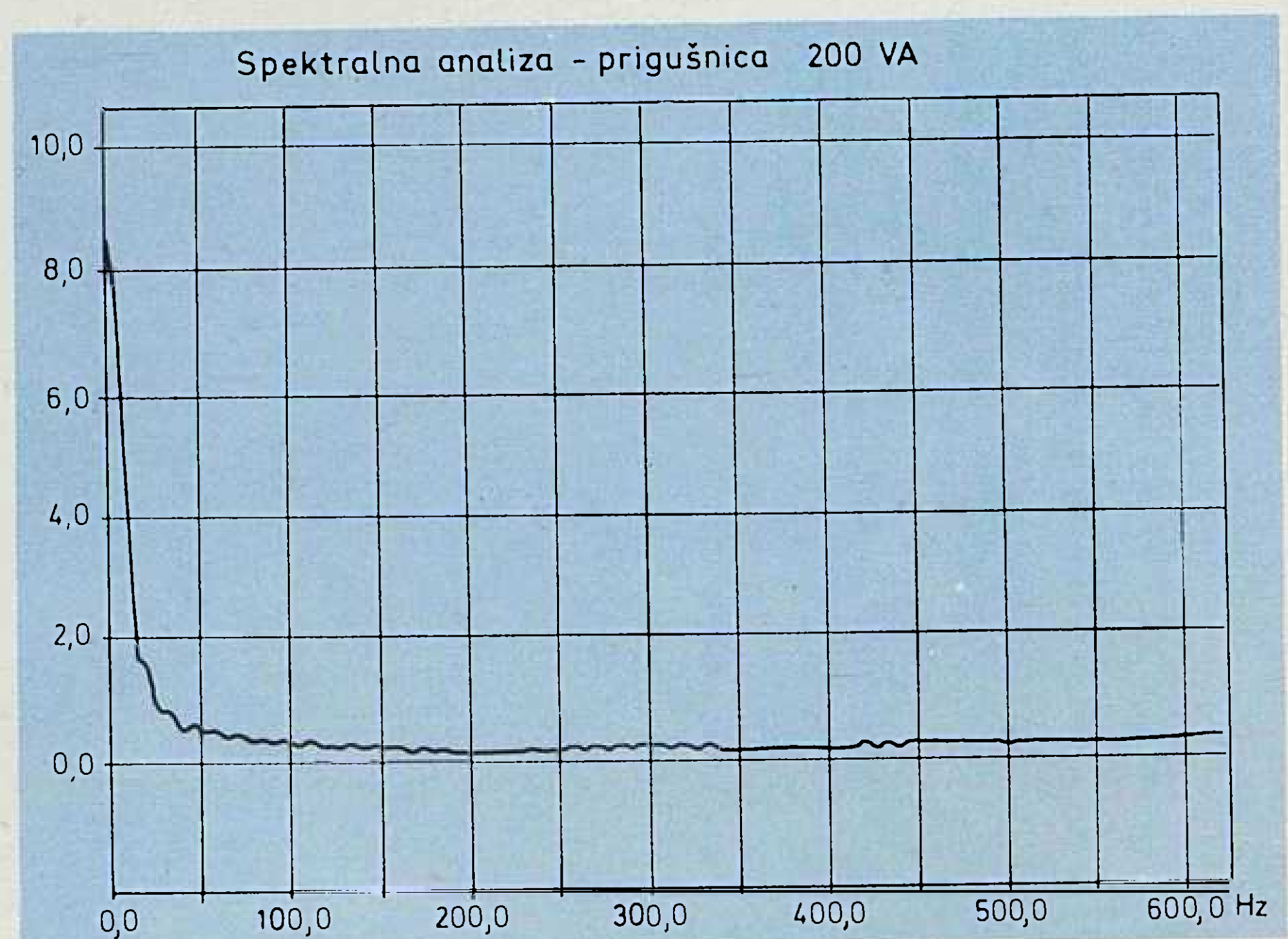
Slika 3. Odstavak KNT-a opremljenog posebnim trajno priključenim RLC filtrom za gušenje ferorezonancije



Slika 4. Spektar odziva sa slike 3.



Slika 5. Odstavak KNT-a opremljenog prigušnicom za gušenje ferorezonancije



Slika 6. Spektar odziva sa slike 5.

4. ZAKLJUČAK

Iznesena tematika u prvom redu ima taj cilj da se korisnici mjernih transformatora za zaštitu upoznaju s parametrima koji su potrebni za specifikaciju tih transformatora.

U pogledu strujnih transformatora ističe se mogućnost da se postojeći, u mreži instalirani strujni transformatori klase P mogu koristiti kao transformatori klase TPX.

Kratka analiza načela rada visokoimpedantne zaštite pokazuje da je veoma bitno za njezin rad koristiti se transformatorima čije su karakteristike praktično jednake. Pokazano je da i mala međusobna odstupanja, npr. broja zavoja sekundarnog namota od 0.5%, mogu ugroziti stabilnost zaštite za kvarove izvan zone štíćenja.

U pogledu naponskih transformatora treba naglasiti da induktivni transformatori ne postavljaju nikakve specifične zahtjeve glede zaštite. Što se tiče kapacitivnih transformatora, njihov odziv na primarni kratki spoj veoma je bitna karakteristika koja utječe na rad zaštitnih uređaja. S tog aspekta smatra se korisnim spektralnom analizom odrediti dominantne frekvencije u odzivu kapacitivnoga naponskog transformatora.

LITERATURA

- [1] IEC 38(Central Office) 78: Additional requirements for protective current transformers for transient performance classes TPS, TPX, TPY, TPZ, 1986.
- [2] POLJAK, M.: »Proračun ponašanja strujnog transformatora pri kratkom spoju u mreži,« magistarski rad, ETF-Zagreb, 1988.
- [3] IEC (Secretariat) 88: Inductive Type voltage transformers, 1990.
- [4] IEC (Secretariat) 87: Current transformers, 1990.
- [5] IEC (Secretariat) 90: Capacitor voltage transformers, 1990.

- [6] KORPANAY, N. MINKNER, R.: »Analysis of the new IEC drafts for 185 (44–1) and 186 (44–2) instruments transformers in relation to the requirements of modern protection systems«, Revue Generale de L'Electricite, No 4, 1990
- [7] POLJAK, M. KOLIBAŠ, N.: »Computation of current transformer transient performance«, IEEE Power Delivery, Volume 3, No 4, 1988.
- [8] BBC, Beispiele zur Berechnung von Stromwandlerleistungen für Schutzrelais, Brošura CH-EC 55-10 D

MEASURING TRANSFORMERS – COMPONENTS OF THE PROTECTION SYSTEM

The basic characteristics as well as the manner of specification for current and voltage transformers are described including a review of the requirements defined by new IEC standards. Significant characteristics of Končar measuring transformers are assessed regarding protection systems.

MESSTRANSFORMATOREN – EINE KOMPONENTE DES SCHUTZMASSNAHME – SYSTEMS

Hier beschreibt man die Grundmerkmale und die Art der Bestimmung der Strom und Spannungstransformatoren für die Schutzmassnahme mit einem besonderen Rückblick auf die Ansprüche die durch neue IEC Standards definiert wurden. Es werden ebenfalls Schätzungen einiger wesentlichen Merkmale der Končar Messtransformatoren vom Aspekt der Schutzmassnahme gemacht.

Naslov pisaca:

Mr. Miroslav Poljak, dipl. inž.
Končar — Institut za
elektrotehniku,
41000 Zagreb, Baštijanova bb
Jugoslavija

Boris Bojanić, dipl. inž.
Končar — Mjerni
transformatori,
41090 Zagreb, Samoborska bb,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1991-05-24

ISPITIVANJE UZEMLJENJA ELEKTROENERGETSKIH POSTROJENJA U HRVATSKOJ

Josip Kučak, Zagreb

UDK 621.316.993:621.3.053

STRUČNI RAD

Na osnovi iskustava u ispitivanju i mjerenju na uzemljivačima elektroenergetskih postrojenja, te uz osvrt na inozemne propise, zaključuje se da je potrebna revizija naših tehničkih propisa za elektroenergetska postrojenja iznad 1 000 V (1974), čime se mogu postići znatne uštede u izgradnji.

Ključne riječi: elektroenergetska postrojenja, ispitivanje, mjerenje uzemljenje.

1. UVOD

Sigurnost i pravilan rad pogona, te sigurnost zaposlenog osoblja i okoline jedan je od osnovnih zahtjeva postojeće tehničke regulative o elektroenergetskim postrojenjima u slučaju pojave dozmenih kratkih spojeva. Ispravnost izvođenja uzemljivača i uzemljenja, odnosno zaštite od opasnih napona dodira, koji se kod dozemnih kratkih spojeva mogu pojaviti, temeljni je preduvjet ostvarenja takve sigurnosti.

Pri pojavi dozemnog kratkog spoja uzemljivač elektroenergetskog postrojenja poprima povišen potencijal prema referentnoj zemlji. Visina i raspodjela tog potencijala unutar i izvan postrojenja poprima povišen potencijal prema referentnoj zemlji. Visina i raspodjela tog potencijala unutar i izvan postrojenja, trajanje kratkog spoja, uklopno stanje mreže i veličina struje dozemnog kratkog spoja faktori su koji izravno utječu na spomenutu sigurnost ljudi i pogona. Proračunima i teorijskim razmatranjima nemoguće je predvidjeti sve moguće utjecaje na nekom konkretnom uzemljivaču. Zbog toga je potrebno nakon izvedbe uzemljivača, te periodično tijekom eksploatacije provesti mjerenja i utvrditi da li je, u kolikoj mjeri i zbog čega ugrožena sigurnost ljudi i okoline prilikom pojave dozemnoga kratkog spoja. Kod novih objekata mjerenja daju i odgovore o ispravnosti projektiranja i izvođenja uzemljivača, pa predstavljaju fizičku provjeru projektiranih veličina.

Tijekom eksploatacije periodička ispitivanja uzemljivača otkrivanju njegove promjene u tlu i izvan tla.

2. METODE MJERENJA

Mjerenje otpora rasprostiranja odnosno impedancije razgranatog uzemljivača prema Pravilniku o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1 000 V [1] izvodi se izmjeničnim naponom metodom mjerenja struje i napona.

Princip $U-I$ metode sastoji se u tome da se narinu-ćem izmjeničnog napona industrijske frekvencije između ispitivanog i pomoćnog uzemljivača uvede u ispitivani sistem uzemljenja ispitna struja I_{mj} , koja prouzroči mjerljivo podizanje potencijala (metoda se također naziva i »current-injection method«, prema angloameričkoj literaturi). Pritom udaljenost između ispitivanog i pomoćnog uzemljivača ne smije biti manja od oko 5 km (što ovisi prije svega o veličini uzemljivača, pa je propisima ova udaljenost određena s minimalnom peterostrukom najvećom protegnutošću uzemljivača, dakako, ovo je dovoljno samo u jednostavnijim slučajevima). Veličina unutarnjeg otpora voltmetra kojim se mjeri napon između uzemljivača i naponske uzemljivačke sonde, mora biti najmanje deseterostruka u odnosu prema veličini otpora rasprostiranja sonde.

Pri određivanju napona uzemljivača i napona dodira i koraka mogu nastati iskrivljene vrijednosti mjerenja zbog stranih napona i napona smetnji svake vrste (npr. induktivni utjecaj dugačkih mjernih vodova, induktivni utjecaj krugova ispitne struje zbog susjednih sistema u pogonu).

Prema stranoj literaturi [2] i [4] navedena su četiri primjera u praksi opravdanih metoda za eliminaciju utjecaja smetnji:

a) Metoda titranja

Ova metoda je izvediva u postrojenju gdje postoji agregat za vlastitu potrošnju ili za nužno napajanje, čija frekvencija pri ispitivanju odstupa od frekvencije mreže (50 Hz) za nekoliko desetina herca. Od ispitne struje izazvani naponi geometrijski se zbrajaju s eventualnim naponima smetnje U_s , čiji se iznosi i fazni položaj pri dovoljno kratkom trajanju mjernog ciklusa može smatrati konstantnim. Zbog asinhronne superpozicije njiše se kazaljka voltmetra između maksimalne i minimalne vrijednosti U_1 i U_2 . S ispitnom strujom za izazvani napon tada vrijedi:

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad \text{za } 2U_s < U_1 \quad (1)$$

$$U = \frac{U_1 - U_2}{2} \quad \text{za } 2U_s > U_1 \quad (2)$$

$$U = \frac{U_1}{2} \quad \text{za } 2U_s = U_1 \quad (3)$$

b) Vektorsko mjerenje

Dulji naponski mjerni vodovi moraju biti, pomogućnosti, vođeni okomito na ispitni vod. Ako to iz prostornih razloga nije moguće, može se udio napona što ga u mjernomvodu inducira ispitna struja eliminirati mjeračem vektora.

c) Deblokiranje istosmjernih struja

Ako naponi smetnji pokazuju visoke udjele istosmjernog napona, može biti potrebna upotreba voltmetra, kod kojeg se istosmjerni napon deblokira.

d) Metoda promjene polariteta

Ovdje se koristi izmjenični napon frekvencije 50 Hz mrežnog transformatora. Utjecaj napona smetnje eliminira se promjenom polariteta ispitne struje, koja se sastoji u sljedećem:

- izmjeri se napon uzemljivača U_1 i mjerna struja I_1 kod jednog smjera mjerne struje
- okrene se smjer mjerne struje za 180° električkih i izmjeri se napon U_2 i mjerna struja I_2
- prekine se tok mjerne struje i izmjeri napon smetnje U_s i struja smetnje I_s .

Na temelju vektorskih odnosa vrijede sljedeći izrazi za mjerni napon i mjernu struju:

$$U_m = \sqrt{\frac{U_1^2 + U_2^2}{2}} - U_s^2 \quad (4)$$

$$I_m = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2}{2}} - I_s^2 \quad (5)$$

Impedancija ispitivanog uzemljivača tada iznosi:

$$Z = \frac{U_m}{I_m} \quad (6)$$

3. NAČIN ISPITIVANJA

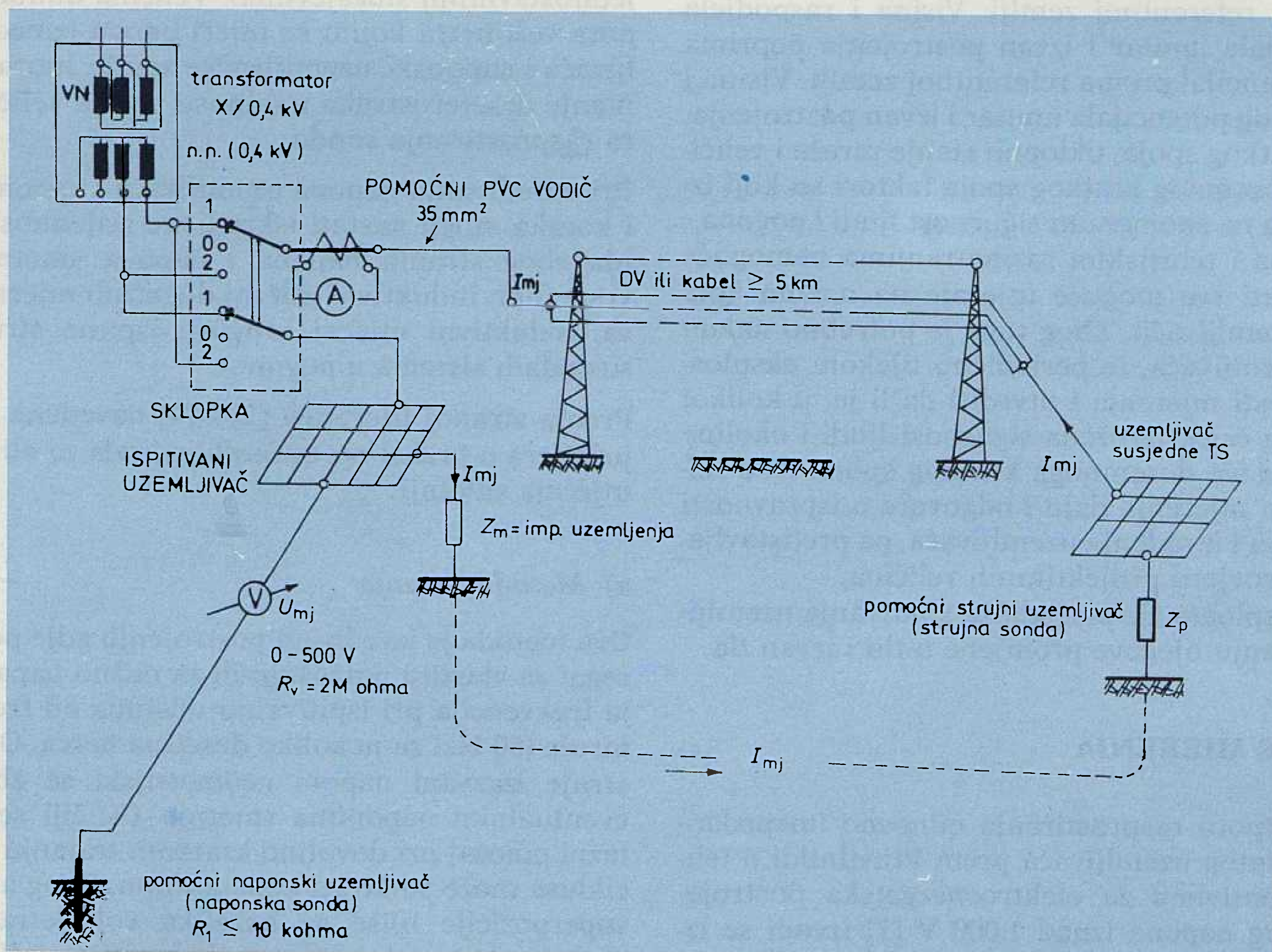
Principijelna shema mjerenja uzemljivača $U-I$ metodom promjenom polariteta prikazana je na slici br. 1.

Prema shemi mjerenja pri ispitivanju uspostavlja se sljedeći mjerni krug:

- ispitivani uzemljivač – izvor – mjerni uređaj – vod mjerne struje – pomoćni uzemljivač – zemlja – ispitivani uzemljivač.

Kao vod mjerne struje uzima se redovito dalekovod ili kabel, pri čemu treba voditi brigu o tome da se jedan dio mjerne struje vraća putem zaštitnog užeta ili plašta kabela. Redukcioni faktor $[r]$ voda mjerne struje može se odrediti mjerenjem ili računskim putem, a za vod bez zaštitnog užeta i kabele bez armature $r = 1$.

Primjena navedene $U-I$ metode opisane u poglavlju 2, s otklanjanjem utjecaja stranih napona i napona



Slika 1. Principijelna shema mjerenja UI metodom na uzemljivaču

smetnji metodom promjene polariteta, prihvatljiva je u praksi iz više razloga:

- redovito postoji mogućnost korištenja mrežnog energetskog transformatora kao izvora mjerne struje
- na niskonaponskoj strani transformatora redovito se postižu mjerne struje od 50 A naviše, što omogućuje mjerljivo podizanje potencijala
- ovisno o postignutoj vrijednosti mjerne struje može se koristiti izmjenični napon 220 ili 380 V.

Za priključak elektronskog voltmetra radi snimanja potencijala uzemljivača koristi se koaksijalni kabel koji se polaže sve do udaljenosti prestanka porasta potencijala, te elektronski voltmetar unutarnjeg otpora $2 \text{ M}\Omega$ s pogreškom mjerenja manjom od 1%. Mjerenje struje obavlja se pomoću mjernoga strujnog transformatora kl. 0,2 i apermetrom točnosti 1%.

Uz opisani strujni krug ispitne struje prema slici 1. mjere se naponi dodira i koraka prema odredbama VDE 0141, jer naši propis [1] ne određuju ne opsijuju načine mjerenja.

Mjerenje se obavlja elektronskim voltmetrom unutarnjeg otpora $1 \text{ k}\Omega$ što predstavlja nadomjesni otpor ljudskog tijela. Način mjerenja napona dodira potanko je opisan u [2]. Mjerne elektrode za oponašanje imaju dodirnu površinu ukupno 400 cm^2 , a na tlo su pritisnute minimalnim pritiskom od 500 N.

Pri mjerenju napona dodira elektrode se postavljaju na mjesto stajanja na udaljenosti 1 m od dijela postrojenja izloženog dodiru. Za oponašanje ruku upotrebljava se šiljasta elektroda. Naponi koraka mjere se na razmaku noga – noga od 1 m.

4. ODREĐIVANJE STRUJE MJERODAVNE ZA PODIZANJE POTENCIJALA

4.1. Utjecajni faktori za dimenzioniranje postrojenja

Prilikom dimenzioniranja uzemljivača, mjerodavna struja za termički proračun jest, svakako, ukupna struja jednopolnog kratkog spoja — jer ova i protječe kroz užad uzemljivača od mjesta kratkog spoja pa do mjesta grananja u zaštitnu užad i u zemlju.

Jedno je od pitanja pri dimenzioniranju uzemljivača, koja je to struja jednopolnog kratkog spoja mjerodavna, početna ili tranzijentna, za termičku opteretivost. Poznato je naime da je u blizini izvora početna struja do 20% veća od tranzijentne, da bi daleko od izvora ove dvije struje bile praktično jednake.

VDE propisi [2] izričito naglašuju da je mjerodavna početna izmjenična struja jednopolnoga kratkog spoja.

Naši propisi [1] u članu 103 za mreže s direktno uzemljenim zvjezdištem, iako na vrlo nejasan način, određuju da se uzemljivač dimenzionira s obzirom na struju dozemnog kratkog spoja koja protječe kroz uzemljenje 0,25 sek nakon nastanka kratkog spoja — dakle uzemljivač se mora dimenzionirati za tranzijentnu struju jednopolnoga kratkog spoja. Mnogi pogrešno shvaćaju ovu odredbu kao vrijeme mjerodav-

no za određivanje napona dodira prema članu 111. propisa [1] — kao da se propisom generalno može odrediti koliko je vrijeme iskapčanja greške.

Poznavajući polazne podatke o raspodjeli i vrijednostima struja jednopolnog kratkog spoja, može se odrediti koji dio teče kroz uzemljivač u zemlju te podiže njegov potencijal prema referentnoj zemlji.

No prije toga je potrebno razmotriti kako propisi, naši i strani, određuju da se ova struja računa i kako bi se ona mogla točno izračunati.

Točan proračun dijela struje kvara koja se zatvara kroz uzemljivač u zemlju može se izvršiti prema [6] i [7], objavljenima na našem jeziku, ili prema navodima u [4] i [5], objavljenima u stranim časopisima.

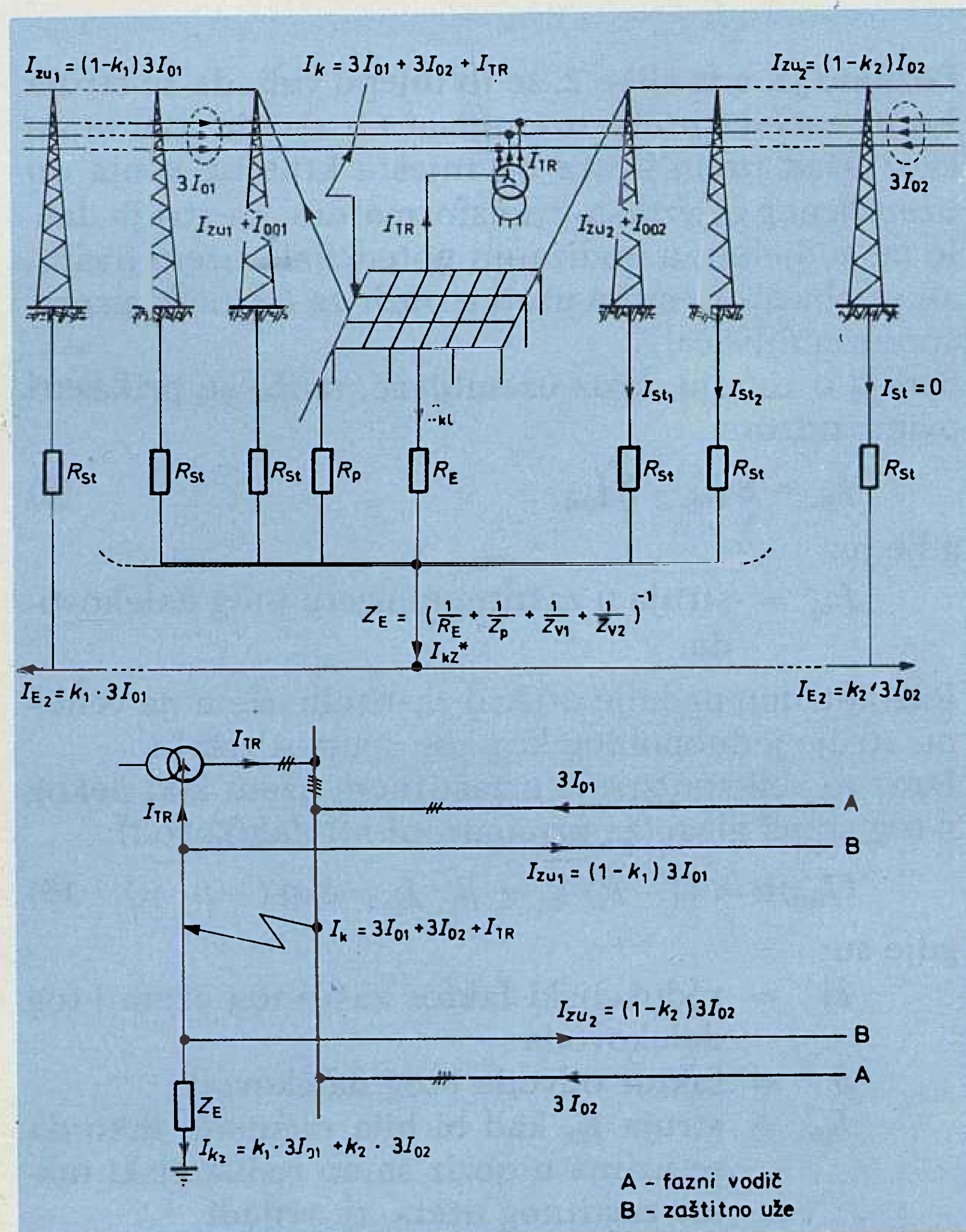
Prikaz raspodjele struje jednopolnog kratkog spoja za jednostavan slučaj (2 voda i jedan transformator u postrojenju) dan je na slikama 2. i 3. Potrebno je dakle razmatrati dva slučaja:

- kratki spoj u postrojenju,
- kratki spoj u neposrednoj blizini postrojenja.

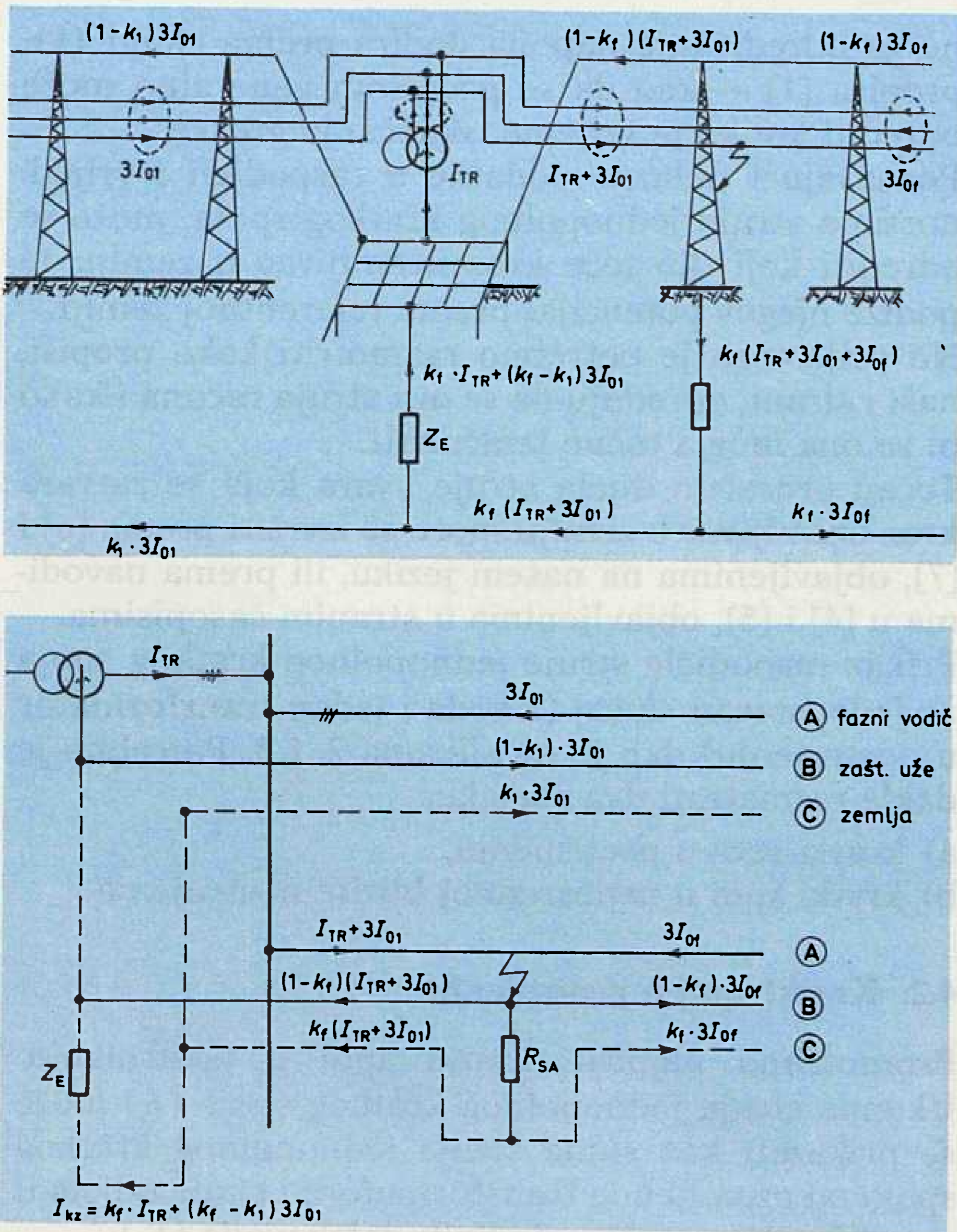
4.2. Kratki spoj u postrojenju

Promotrimo najprije kratki spoj u postrojenju. Ukupna struja jednopolnog kratkog spoja (I_k) može se prikazati kao suma struja jednopolnog kratkog spoja od uzemljenog transformatora i sume udjela u struji kratkog spoja pojedinih dalekovoda (I_{kj}):

$$I_k = I_{TR} + \sum_j I_{kj}. \quad (7)$$



Slika 2. Raspodjela struje jednopolnog kratkog spoja za slučaj kvara u postrojenju — princip i nadomjesna shema za slučaj ulaza 2 voda



Slika 3. Raspodjela struje jednopolnog kratkog spoja za slučaj kvara u blizini postrojenja — princip i nadomjesna shema

Poznato je, a iz slike 2. se to lijepo vidi, da se struja I_{TR} ne zatvara preko uzemljivača u zemlju, već samo kroz užad uzemljivača od mjesta kratkog spoja do uzemljenog zvjezdišta transformatora. Ta struja dakle ne sudjeluje u podizanju potencijala uzemljivača, ali se obavezno mora uzeti u obzir za termički proračun uzemljivača!

Struja u zemlju, kroz uzemljivač, može se prikazati ovim izrazom:

$$I_{kz} = \sum_j I_{kj} - \sum_j I_{zuj}, \quad (8)$$

gdje je:

$$I_{zuj} = \text{struja u zaštitnom užetu } j\text{-tog dalekovoda.}$$

Razmotrimo nadalje utjecaj zaštitnih užeta na veličinu struje jednopolnog kratkog spoja u zemlji.

Izraz za veličinu struje u zaštitnom užetu kod nekog n -tog stupa glasi (za promatrani j -ti dalekovod):

$$(I_{zuj})_n = (1 - k_j) I_{kj} + \beta_j \cdot I_{kzo} \cdot \exp(-n \cdot \gamma_j), \quad (9)$$

gdje su:

$$k_j = \text{redukcijski faktor zaštitnog užeta } j\text{-tog dalekovoda}$$

$$\beta = \text{faktor odvoda } j\text{-tog dalekovoda}$$

$$I_{kzo} = \text{struja } I_{kz} \text{ kad bi bila računata tako da se uzima u obzir samo redukcijski faktor zaštitnog užeta, tj. vrijedi}$$

$$I_{kzo} = \sum k_j \cdot I_{kj}$$

$$\gamma_j = \text{konstanta odvoda } j\text{-tog dalekovoda — zapravo prijenosna konstanta voda.}$$

Iz izraza (9) vidimo da se struja u zaštitnom užetu sastoji od dvije komponente. Prva komponenta određena je ukupnom strujom jednopolnoga kratkog spoja u faznim vodičima tog dalekovoda i redukcijskim faktorom zaštitnog užeta, definiranog poznatim izrazom:

$$k = 1 - (Z_{ag} / Z_{gz}), \quad (10)$$

gdje su Z_{ag} i Z_{gz} nulte impedancije zamki između vodiča i zaštitnog užeta, odnosno zaštinog užeta i zemlje (podrobnije o tome npr. u [7]).

Ta komponenta predstavlja takozvanu induciranu komponentu struje u zaštitnom užetu (nastaje zbog međuinduktivnog djelovanja zaštitnog užeta i faznih vodiča kroz koje protječe struja kvara). Iz izraza (9) vidi se da se ta komponenta smatra jednakom duž cijelog voda.

Druga komponenta predstavlja struju odvoda zaštinog užeta; iz eksponencijalne ovisnosti o broju stupova (dakle udaljenosti od stanice) lako zaključujemo da njena vrijednost s udaljenošću od stanice pada, dok je kod stanice najveća. Njena apsolutna vrijednost ovisi prije svega o faktoru odvoda β , koji predstavlja omjer ekvivalentne vodljivosti pojedina dalekovoda prema ukupnoj vodljivosti uzemljenja sistema i za kojeg izraz glasi (prema [9]):

$$\beta = \frac{\frac{1}{Z_v} - \frac{1}{2R_{st}}}{\frac{1}{R_z} + \sum_j \left(\frac{1}{Z_{vj}} - \frac{1}{2R_{stj}} \right)}, \quad (11)$$

a onda i o konstanti odvoda γ za koju se može primijeniti izraz (9):

$$\gamma = \text{Arch} \left(1 + \frac{Z_{uz}}{2R_{st}} \right), \quad (12)$$

gdje su:

Z = valna impedancija dalekovoda, koja se za slučaj kratkog spoja u postrojenju može računati prema (9):

$$Z_v = 2R_{st} \frac{Z_{uz}}{Z_{uz} + 4R_{st}}$$

R_{st} = otpor uzemljenja stupa dalekovoda

R_z = otpor rasprostiranja uzemljivača stanice.

Iz ovog kratkog prikaza vidljivo je da je točno računanje struje odvoda dosta komplicirano; dapače, i nepouzdana je jer se upotrebljavaju mnogi pretpostavljeni podaci (otpor uzemljenja stupa, npr.) i zbog toga što se lokalne prilike (homogenost tla, vlažnost, otpori uzemljenja) stalno mijenjaju, pa je teško pronaći optimalnu vrijednost.

Zbog svega toga ni današnji propisi VDE [2], niti preporuke Međunarodnog tehničkog komiteta CIGRE [4] ne uzimaju u obzir struju odvoda, već računaju samo s induciranom komponentom.

Pri tome se čini stanovita greška, no ona se može zamariti a da točnost proračuna bude zadovoljavajuća; dapače, rezultat predstavlja dodatnu sigurnost jer je tako izračunata struja I_{kz} nešto veća od stvarne vrijednosti.

Prema tome, kod kratkog spoja na sabirnicama u postrojenju, struju kroz uzemljivač postrojenja odredit ćemo kao vektorski zbroj umnožaka trostrukih nul-tih struja u vodičima i pripadajućih faktora redukcije zaštitnih užeta:

$$I_{kz} = I_{kzo} = \sum_j k_j \cdot I_{kj} \quad (13)$$

4.3. Kratki spoj u neposrednoj blizini postrojenja

U drugom slučaju, kod kratkog spoja izvan postrojenja (bliski kratki spoj — rjeđi slučaj, vidi sliku 3), struja kroz uzemljivač postrojenja određuje se uz zanemarenje nadomjesnih impedancija voda između (bliskog) bolesnog čvorišta i zamišljenog mjesta kvara:

$$I_{kz} = k_{max} \cdot I_{TR} + \sum_j (k_{max} - k_j) \cdot I_{kj} \quad (14)$$

gdje su:

- k_j — redukcijski faktor zaštitnog užeta voda »j«
- k_{max} — najveći redukcijski faktor zaštitnih užeta za sve vodove neposredno priključene na postojenje
- I_j — struja kratkog spoja u vodičima voda »j«
- I_{TR} — struja kratkog spoja iz neposredno priključenih (blok) transformatora
- I_{kz} — struja kvara kroz uzemljivač postrojenja.

Za dimenzioniranje uzemljivača promatrane stanice, s obzirom na napone dodira i koraka, mjerodavna je veća od ovih dviju struja (koje se javljaju kod kratkog spoja ili u postrojenju ili u blizini na jednom od priključenih dalekovoda).

Maksimalna struja kroz uzemljivač postrojenja određuje se kao veća od izračunatih vrijednosti struja jednopolnog kratkog spoja u postrojenju odnosno izvan postrojenja (bliski kratki spoj).

5. ISKUSTVA DOSADAŠNJIH ISPITIVANJA

S razvojem postrojenja i proširenjem mreža nazivnog napona od 10 do 400 kV pojavljivali su se i problemi utjecaja elektroenergetskog postrojenja na okolinu.

U svom dugogodišnjem djelovanju (od 1953. god.) Institut za elektroprivredu Zagreb bavio se ispitivanjima složenih uzemljivača elektroenergetskih postrojenja i određivanjem njihova utjecaja na okolinu kod najnepovoljnijeg zemljospoja.

U tu svrhu osim mjerenja ukupne impedancije uzemljivača, na temelju koje se određuje maksimalni referentni potencijal uzemljivača prema neutralnoj zemlji, obavljana su još sljedeća mjerenja:

- mjerenje raspodjele potencijala oko uzemljivača
- iznošenje potencijala izvan ograde postrojenja
- kontrola napona dodira i koraka unutar i izvan ograde postrojenja
- određivanje utjecaja elektroenergetskog postrojenja na PTT-postrojenje.

Od niza ispitivanja u Hrvatskoj, od Slavonije do Dalmacije, navest ćemo samo neka važnija ispitivanja.

5.1. Prije puštanja u rad HE Orlovac [8] bili su izmjereni previsoki naponi dodira na kućanskim aparatima obiteljskih kuća, locirani neposredno uz ogradu rasklopišta 220 kV, te na samoj vanjskoj ogradi postrojenja. Za uklanjanje pojave opasnog napona dodira u kućama bila su predložena dva rješenja: ili rušenje stambenih kuća ili preseljenje napojne TS 10/0,4 kV u zonu snimljenog potencijala od 50 do 60%, radi smanjenja potencijalne razlike, a time i napona dodira. Kao jeftinije rješenje naručilaj je prihvatio preseljenje trafostanice u predloženu zonu potencijala.

5.2. Nakon izgradnje novog postrojenja TLM »Boris Kidrič« u Ražinama 1973. god. [9] otkriven je enormno visok napon dodira na vodovodnoj slavini u AMS Pomoć i informacije na južnoj strani jadranske magistrale. Predložena je sanacija umetanjem izolacijskog umetka u metalnu vodovodnu cijev u zemlji. Kasnije je sam naručilac ustanovio da je do iznošenja opasnog potencijala došlo putem napuštenog kabela 35 kV, odnosno njegova plašta, koji je došao u dodir s vodovodnom cijevi. Prekidom plašta na napuštenom kabelu riješeno je iznošenje opasnih napona dodira.

5.3. Pri ispitivanju uzemljenja TS 110/20 kV Lovran [10] konstatirano je vrlo visoko podizanje potencijala nul-vodiča u distributivnoj mreži 0,4 kV, što je posredno dovelo do previsokog napona dodira na kućanskim aparatima u stambenim objektima neposredno lociranim uz TS 110 kV Lovran. Preporukom za sanaciju predviđeno je odustajanje od nulovanja kao zaštite od opasnoga dodirnog napona odvajanjem nul-vodiča od uzemljenja. Druga predložena mogućnost sanacije bila je da se u zoni ugroženih obiteljskih kuća postavi posebna TS 10/0,4 kV, predviđena samo za njihovo napajanje električnom energijom. Ponovna mjerenja opasnih napona u niskonaponskoj mreži Lovrana metodom visokog napona potvrdila su u potpunosti mjerenja iz [10]. Naručilac je sanaciju izveo ugradnjom zaštitnih strujnih sklopki prema prvom predložnom rješenju.

5.4. Pored niza izvršenih ispitivanja uzemljivača elektroenergetskih postrojenja od 10 do 400 kV na cijelom teritoriju Republike ahrvatske, poseban je izazov bilo ispitivanje uzemljivača trafostanica 30/10 kV grada Zagreba, radi prelaska mreža 30 kV s pogona s izoliranim na pogon sa zvjezdištem uzemljenim preko malog otpora.

Za ispitivanje mreža 30 kV grada Zagreba, napajanih iz TS 110/30 kV Jarun [11], Resnik i TE-TO [12], korišteni su DV 110 kV i to Jarun — Rakitje II i Resnik — Zagreb sjever, uzemljen na prijelazu u kabel kod Kamenitog Stola.

Primjenom opisane metode promjenom polariteta iz poglavlja 2d, zaključeno je da je vod Resnik — Kame-

niti Stol neprikladan kao naponska sonda, jer su mjereni naponi smetnje bili reda veličine mjernog napona [12]. Kontrolna ispitivanja metodom visokog napona [13] potvrdile su sumnje iz [12], a time i pouzdanost navedene metode.

Od ispitivanja utjecaja elektroenergetskog postrojenja na PTT-postrojenja, vrijedno je navesti mjerenja u okolici trafostanica Melina i Krasica [14]. Na temelju izmjerenih potencijala određene su zaštitne mjere prema zonama utjecaja. Ovakova mjerenja su se opravdala, jer su naručiocu donijela velike financijske uštede.

5.5. Složena mjerenja na uzemljivačima mreža 35 i 10 kV grada Osijeka provedena su prema elaboratima [15] i [16].

Rezultati mjerenja korišteni su kao osnova za odluku o uzemljivanju navedenih mreža preko malog otpora.

6. OSVRT NA PROPISE I PREPORUKE

Naši propisi za elektroenergetska postrojenja iznad 1 000 V iz 1974. god. [1], praktično su zastarjeli nakon dvije godine, već 1976. god., kada je Njemačka u suglasnosti sa Švicarskom i Austrijom izdala nove odredbe [2].

Najveća su mana naših propisa dozvoljene veličine napona dodira i koraka, koje su znatno manje u odnosu na odredbe VDE.

Prema prijedlogu novog Pravilnika [17] dozvoljeni naponi dodira i koraka ovise o vremenu trajanja kvara (t) u sekundama i određeni su sljedećim izrazima:

$$\begin{aligned} U_d &= 1000 \text{ V} && \text{za } t \leq 0,075 \text{ s} \\ U_d &= \frac{75}{t} \text{ V} && \text{za } 0,075 < t \leq 1,15 \text{ s} \\ U_d &= 65 \text{ V} && \text{za } t > 1,15 \text{ s.} \end{aligned}$$

Prijedlog je u skladu sa VDE [2], s time što je odredbama VDE izostavljen napon koraka. Tako npr. po novom prijedlogu Pravilnika [17] za vrijeme isključenja kvara od 0,1 s dozvoljeni napon dodira i koraka iznosi 750 V, dok prema važećem u [1] oni iznose:

- unutar postrojenja napon dodira i koraka maks 320 V
- izvan postrojenja napon dodira max 150 V, koraka maks 170 V.

Značajno povećanje dozvoljenih napona dodira i koraka, znatno pojeftinjuje izradu složenih uzemljivača. Prijedlog Pravilnika [17] osim toga navodi obavezne vrste mjerenja i njihovu periodičnost kod različitih uzemljenih objekata tijekom eksploatacije.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovi vlastitih iskustava, predviđenih promjena u propisima i uočenim pogrešnim pristupima projektiranju preporučuju se sljedeće mjere:

- a) usvajanje Pravilnika [17] i postupanje prema njemu,
- b) za projektiranje uzemljivača, naročito složenih sistema uzemljenja proračun bazirati na osnovi stvarnih vrijednosti specifičnog električnog otpora tla, izmjerenih metodom geolektričnog sondiranja, a ne na osnovi podataka iz literature.
- c) određivanje stvarne struje jednopolnog kratkog spoja, odnosno njezina dijela koji se zatvara kroz uzemljivač i djeluje na podizanje potencijala uzemljivača.

Dosljedna primjena predloženih mjera vrlo je značajna za smanjenje cijene koštanja pri izgradnji složenih uzemljivača elektroenergetskih postrojenja.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V, Sl. list SFRJ br. 4/74. i 13/78.
- [2] VDE 0141/7. 76. — Odredbe za uzemljenja u postrojenjima izmjenične struje nazivnih napona iznad 1 kV (Prijevod sa njemačkog, DITH Zagreb 1977.)
- [3] VDE 0102 Teil 1/11. 71. — Leitsätze für die Berechnung der Kurzschlussströme; Drehstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV
- [4] — Station Earthing — Safety and Interference Aspects — Electra No 71, July 1980.
- [5] — Safe Substation Grounding — Part 1 — IEEE Transactions, Vol. PAS — 97, No 11/1978.
- [6] A. MILIČEVIĆ: »Uvod u proračun uzemljenja elektroenergetskih objekata«, časopis Energija br. 9–10/1977.
- [7] B. MARKOVIĆ: »Zaštitno uže na vodovima 110 i 220 kV«, Elaborat Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1963.
- [8] J. KUČAK i J. MUŽNY: »Mjerenje na uzemljivaču HE Orlovac«, Protokol o ispitivanju br. 2681/1973. — IE Zagreb
- [9] J. KUČAK: »Mjerenja na uzemljivaču novo izgrađene elektrolize TLM BORIS KIDRIČ — Ražine«, Protokol o ispitivanju br. 2730/1973. — IE Zagreb
- [10] D. MIHALIC: »Ispitivanje uzemljenja 110/20 kV Lovran — Analiza utjecaja dozemnog kratkog spoja na okolinu«, Elaborat Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1983.
- [11] J. KUČAK: »Uzemljenje zvjezdišta mreže 30 kV Jarun, aktualizacija studije iz godine 1975. II dio: Uzemljivači postrojenja«, Elaborat Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1982.
- [12] J. KUČAK: »Uzemljenje zvjezdišta mreža 30 kV napajanih iz TS 110/30/10 kV Resnik i TE-TO, aktualizacija studije iz godine 1975«, Elaborat Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1985.
- [13] M. JUNG i J. KUČAK: »Visokonaponska ispitivanja i mjerenje potencijala uzemljivača nekih TS 30/10 kV u mrežama Resnik i TE-TO«, Elaborat Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1986.
- [14] M. JUNG i J. KUČAK: »Mjerenje i ispitivanje utjecaja struja jednopolnih kratkih spojeva na PTT postrojenja u okolici TS Melina i TS Krasica«, Elborat Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1982.

- [15] J. KUĆAK: »Istraživanje uzemljivača mreže 35 kV grada Osijeka, uzemljenje preko malog otpora, napajanje iz TS 110/35 kV Osijek 1 i TS 110/35/10 kV Osijek 3«, Elaborat Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1983.
- [16] J. KUĆAK: »Ispitivanja u mreži 10 kV s uzemljenom neutralnom točkom napajanje iz TS 110/10 kV Osijek 3«, Elaborat Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1988.
- [17] Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V (Prijedlog . . . 1989 g.)

TESTING THE GROUNDING OF CROATIAN POWER SYSTEM SUBSTATIONS

Based on experience in the testing and measuring of the grounding systems of power system substations as well as a review of foreign regulations, it is concluded that revisions in Yugoslav technical regulations for substations over 1000 V (1974) are needed which could significantly reduce construction costs.

ÜBERPRÜFUNG DER ERDUNG DER ELEKTROENERGETISCHEN ANLAGEN IN KROATIEN

Auf Grund der Erfahrung bezüglich Überprüfung und Messung auf den Erdern der elektroenergetischen Anlagen und mit einem Rückblick auf die ausländischen Vorschriften kommt man zum Schluss, dass eine Revision unserer technischen Vorschriften für die elektroenergetischen Anlagen über 1000 V (1974), womit man im Ausbau bedeutend sparen kann, notwendig ist.

Naslov pisca:

Josip Kućak, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
Zagreb
41000 Zagreb, Proleterskih
brigada 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1991-05-24



MAŠINOIMPEX

Poduzeće za vanjsku trgovinu
41000 Zagreb, Varšavska 9

Phone 041/457-111
Fax 041/424-090, 426-269
Telex 21177, 21254 MAEX YU

ASTRA MAŠINOIMPEX je poduzeće za vanjsku trgovinu, specijalizirano za export i import kompletnih objekata, postrojenja, opreme, repromaterijala, strojeva, dijelova i alata za sve grane industrije; obavlja i vanjskotrgovinsko zastupanje i posredovanje u prometu roba i usluga, turističku i ugostiteljsku djelatnost u poslovanju s inozemstvom, inancijski inženjering, marketing i konzultersku djelatnost u vanjskotrgovinskom poslovanju.

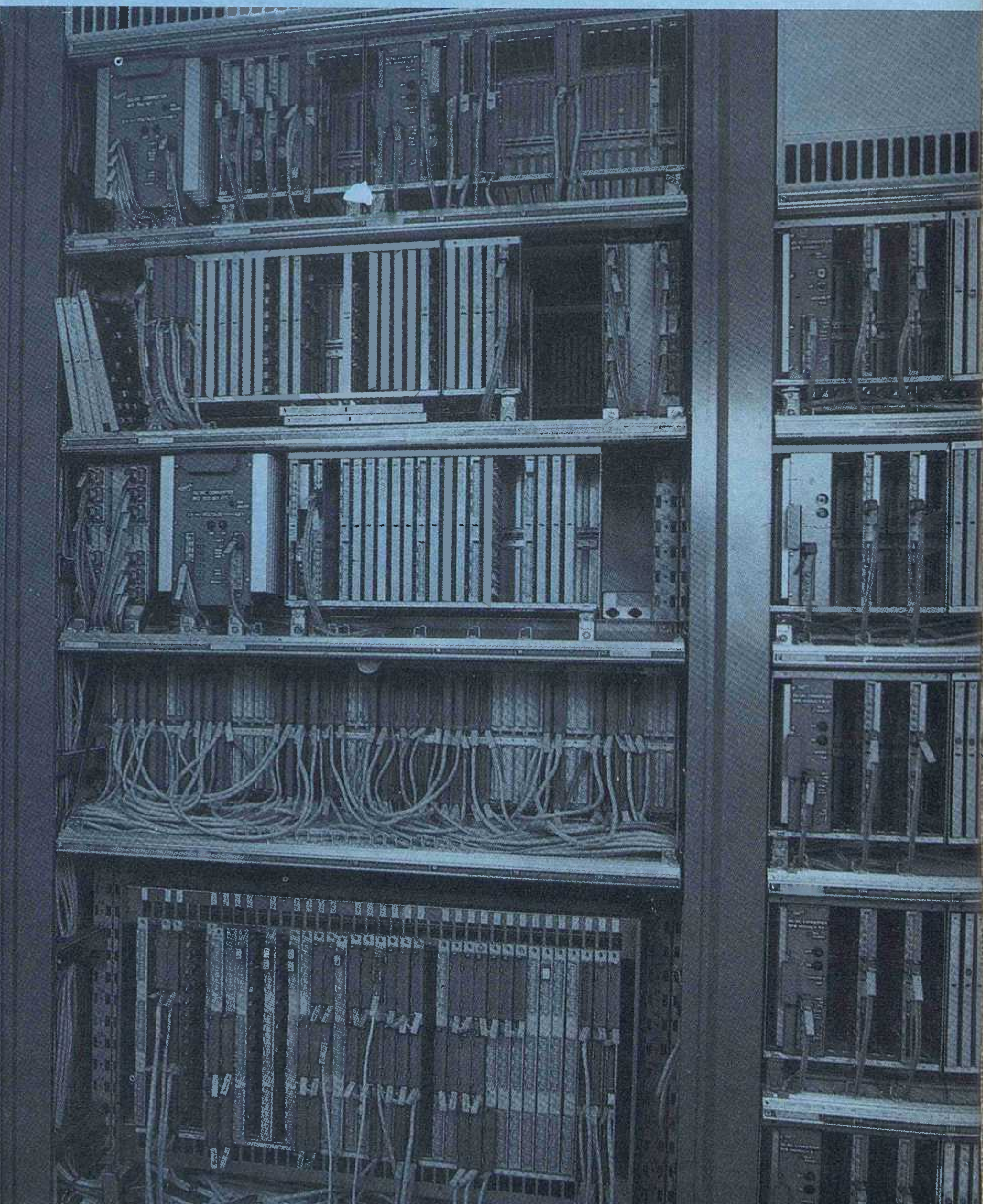
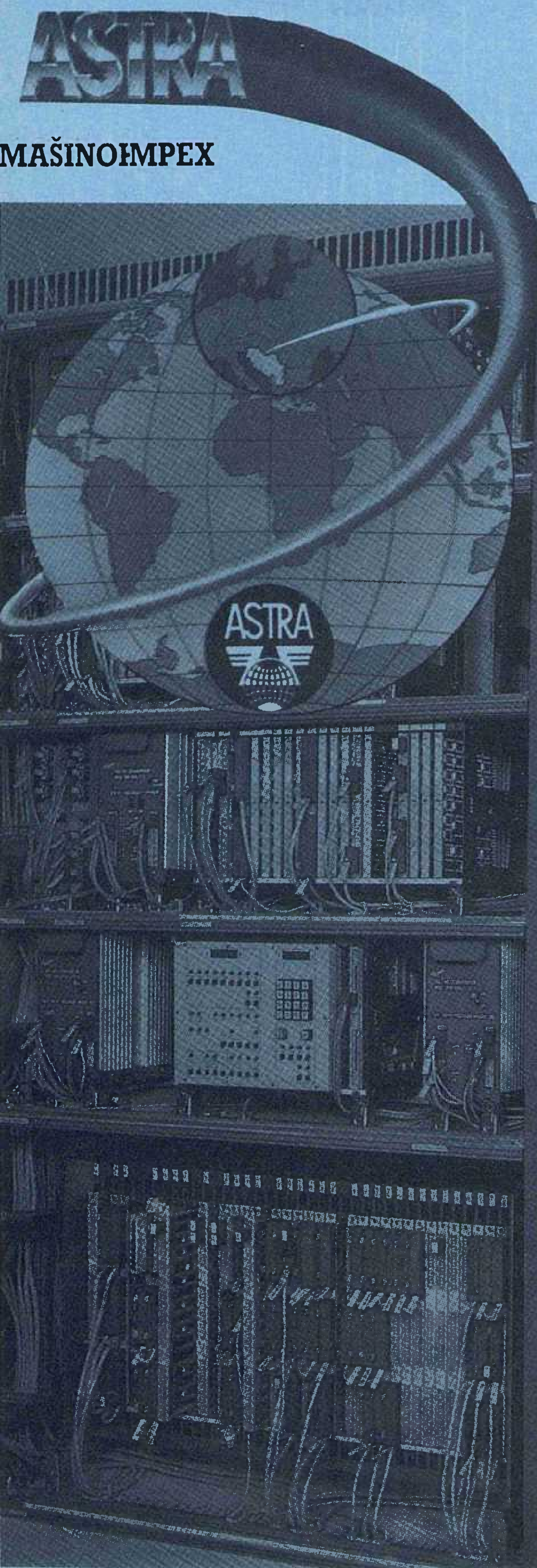
Zbog nedostatka prostora nemoguće je nabrojiti sve važnije izvozne reference ASTRA MAŠINOIMPEXA u mnoge

države svijeta: plasman domaćih telefonskih i telegrafskih međugradskih centrala, postrojenja i opreme za prehrambenu i kemijsku industriju, strojeva i elektrostrojogradnje, strojeva za obradu drveta, tekstilnu i kožarsku industriju, automatskih alatnih strojeva i alata, proizvoda metaloprerađivačke industrije, stakla, keramike, porculana, kože, gume, tekstila i druge robe.

ASTRA MAŠINOIMPEX istodobno ima i značajnu ulogu u uvozu postrojenja, moderne opreme i repromaterijala potrebnog domaćoj proizvodnji. Našim posredstvom u Jugoslaviji su izgrađeni i modernizirani mnogi privredni objekti: rafinerije i petrokemijska postrojenja, kemijske i tekstilne tvornice, postrojenja za dobivanje i preradu obojenih metala, tvornice papira, stakla, za preradu plastičnih masa, oprema za željeznička transportna poduzeća, poštanske telefonsko telegrafске organizacije i

radioteleviziju, oprema za energetske objekte itd.

Osnovna značajka poslovnog programa ASTRA MAŠINOIMPEXA sastoji se u različitim modalitetima čvrstog partnerstva s brojnim domaćim izvoznim orijentiranim proizvođačima i tradicionalnoj povezanosti kroz privrednu suradnju s uglednim inozemnim partnerima. U našem poslovanju posebnu aktivnost usmjerujemo na složenije i više oblike privredne suradnje: kooperacije i osnivanje pojedinih kapitalnih dioničarskih i mješovitih društava za izgradnju infrastrukturnih objekata i tvornica atraktivnih proizvoda po najsuvremenijim svjetskim tehnologijama. Naša uloga u osnivanju mješovitih društava sastoji se u povezivanju stranih i domaćih ulagača-osnivača na temelju osmišljenih poslovnih programa, te realizacija svih vanjskotrgovinskih i izvoznih uvoznih zadataka.



S ASTRA MAŠINOIMPEXOM NA INOZEMNOM TRŽIŠTU POSTIŽETE CILJ U SVAKOJ TRŽIŠNOJ KOMBINACIJI

PRORAČUNAVANJE PRIJELAZNOG PRENAPONA OKLOPA METALOM OKLOPLJENIH PLINOM SF₆ IZOLIRANIH POSTROJENJA

Proračunavanje parametara i ograničenja primjene (II dio)

Dr. Salih Čaršimamović, Osijek

UDK 621.316.91. 621.3.015.38
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazan je postupak proračuna parametara koaksijalnih sabirnica metalom oklopljenih plinom SF₆ izoliranih postrojenja. Proračun prijelaznih pojava uz dobijene parametre, koji se vrši u vremenskoj domeni, pretpostavlja primjenu modalne analize, što za slučaj metalom oklopljenih postrojenja predstavlja znatno zamršeniju zadaću nego u slučaju nadzemnih vodova.

Ključne riječi: metalom oklopljena plinom SF₆ izolirana postrojenja, vrlo brze prelazne pojave, uzemljenje, prijelazni prenapon postrojenja.

1. UVOD

Rasprostiranje elektromagnetskog vala na višefaznim sustavima jest četverodimenzionalna pojava (tri dimenzije prostora i jedna vremena), što rješenje zadaje čini gotovo nemogućim. Do sada razvijeni, široko primjenjivani pristupi [1, 2] zadaću rasprostiranja vala svode na tzv. putni val, pri čemu on postaje dvodimenzionalan s uvođenjem serijske impedancije i shunt-admitancije umjesto polja u smjerovima poprečnih prostornih dimenzija u odnosu na smjer rasprostiranja vala ili protoka energije. Cjelovito rješenje polja [3]. ostvareno u novije vrijeme za sada ima uglavnom teorijsku važnost. Sabirnice metalom oklopljenog postrojenja su koaksijalne geometrije i smanjenih dimenzija. Zbog skin-efekta i efekta blizine parametri sabirnica metalom oklopljenog postrojenja imaju jače izraženu frekventnu ovisnost, što je u modeliranju elemenata metalom oklopljenog postrojenja potrebno uključiti. Frekventno ovisni parametri sabirnica metalom oklopljenog postrojenja tj. matrica serijskih impedancija i matrica poprečnih admitancija jesu ulazni podaci za sve modele koji se koriste pri simuliranju prelaznih pojava.

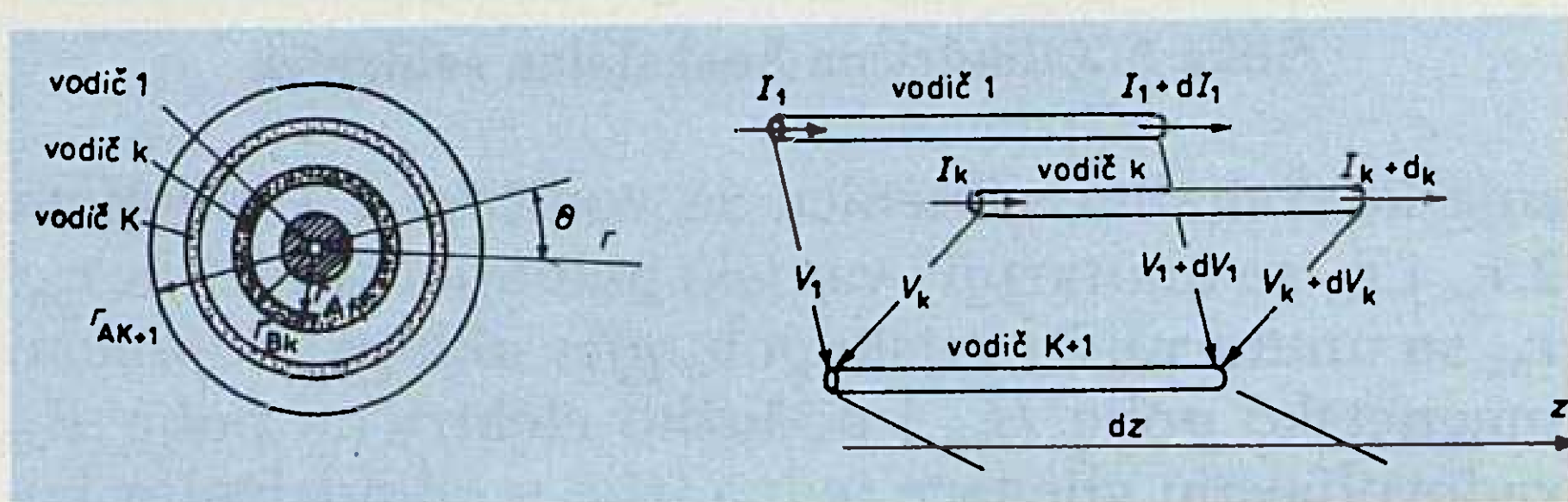
2. IMPEDANCIJA I ADMITANCIJA

Da bi proračunali parametre koaksijalnih struktura numeričkim metodama, valja prvo sračunati odgovarajući problem elektromagnetskih polja iz čijih se numeričkih rješenja izvode parametri. Pri proračunavanju elektromagnetskih polja moraju se uvesti sljedeće pretpostavke:

- promatrani sustav sastavljen je od beskonačno dugih metalnih vodiča paralelnih međusobno i s površinom zemlje

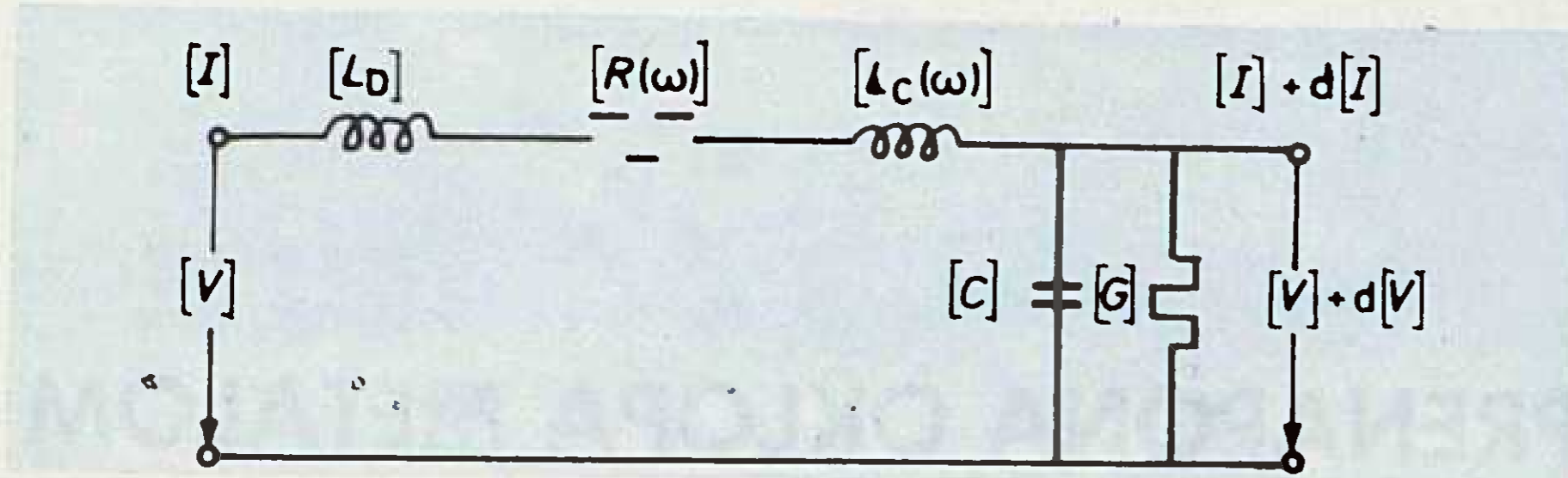
- sustav je izotropan, linearan i homogen po dužini; svi vodiči i dielektrici imaju konstantne dielektričnost ϵ_r , permeabilitet μ_r i vodljivost δ
- zapreminski naboji su konstantni unutar vodiča i zemlje. Naboji su smješteni samo na površini vodiča i zemlje
- pomačne kapacitivne struje u vodičima i zemlji su zanemarive
- razmatrane frekvencije manje su od onih koje odgovaraju dužini vala u usporedbi s poprečnim dimenzijama sustava koaksijalnih vodiča.

Na osnovi tih pretpostavki elektromagnetska polja se razdvajaju u statička električna polja iz kojih se računaju matrice poprečnih admitancija i kvazistacionarna magnetska polja iz kojih se računaju matrice serijskih impedancija. Iz toga se mogu uspostaviti jedinstvene relacije između veličina polja E , H i veličina strujnog kruga U i I . Elektromagnetska polja u sustavu mogu se predstaviti električnim mrežama s raspodijeljenim parametrima. Slika 1. prikazuje poprečni presjek i podužnu sekciju koaksijalnog vodiča beskonačne dužine dz . Zemlja se koristi kao referentni vodič.



Slika 1. Poprečni presjek i podužna sekcija vodičkog sustava

V_1 i V_k su naponi vodiča u odnosu na referentni napon zemlje, i I_1 , I_k su struje kroz vodiče. Strujni krug koji predstavlja sustav u frekvencijskom domenu dan je na slici 2. Sve promjenljive veličine dane su u vektorskoj formi, a svi parametri u matricnoj formi



Slika 2. Strujni krug vodičkog sustava

po jedinici dužine. $[R/\omega]$ i $[L_c/\omega]$ predstavljaju gubitke snage i magnetske energije nagomilane u vodiču. $[L_D]$ je količina magnetske energije nagomilane u dielektriku. $[C]$ i $[G]$ predstavljaju električnu energiju nagomilanu u dielektriku i gubitke snage u dielektriku.

Jednadžbe prijenosne linije koje odgovaraju oznakama sa slike 2. jesu:

$$-\frac{d[V]}{dz} = ([R/\omega] + j\omega[L/\omega])[I] = [Z/\omega][I] \quad (1)$$

$$-\frac{d[I]}{dz} = ([G] + j\omega[C])[V] = [Y/\omega][V] \quad (2)$$

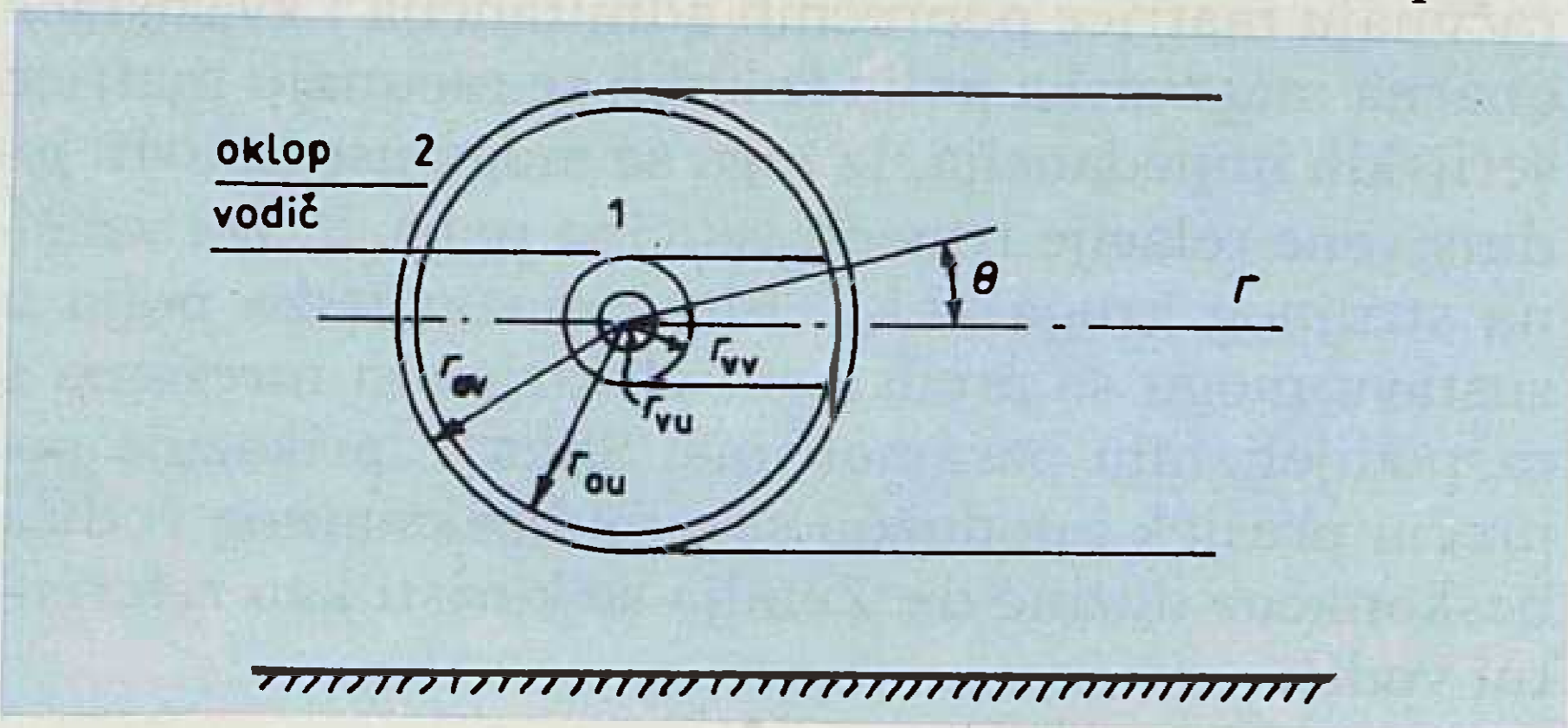
$$[V] = [V_1, V_2, \dots, V_k]^T \quad (3)$$

$$[I] = [I_1, I_2, \dots, I_k]^T \quad (4)$$

$$[Z/\omega] = [R/\omega] + j\omega[L/\omega] = [R/\omega] + j\omega([L_c/\omega] + [L_D]) \quad (5)$$

$$[Y/\omega] = [G] + j\omega[C]. \quad (6)$$

U većini slučajeva $[Z/\omega]$ je nelinearna funkcija od ω , dok se $[Y/\omega]$ može pojednostavljeno izraziti kao $j\omega[C]$ uz zanemarenje $[G]$. $[Z]$ matrica koaksijalnih sabirnica izračunava se iz magnetskog polja unutar i oko sabirnica. Elektromagnetsko polje koaksijalnog sustava jest dvodimenzionalno i linearno. Da bi se izdvojilo magnetsko polje sustava, pomične kapacitivne struje u dielektriku se zanemaruju. Kao posljedica, elektromagnetsko polje postaje kvazistacionarno i pobuđeno isključivo strujom vodiča. Slika 3. prikazuje



Slika 3. Cilindrična koaksijalna sabirnica

koaksijalnu sabirnicu sa vodičem 1 i oklopom 2. r_{vu} i r_{vv} su unutarnji i vanjski polumjer vodiča, a r_{ou} i r_{ov} su unutarnji i vanjski polumjer oklopa. Poprečno magnetsko polje H_{po} i podužno električno polje E_{uz} zadovoljavaju sljedeće jednadžbe u cilindričnim koordinatama:

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{d(rH)}{dr} \right) = j\omega\sigma\mu H \quad (7)$$

$$E = \frac{1}{r\sigma} \frac{d(rH)}{dr}. \quad (8)$$

Rješenje električnog polja E unutar oklopa je:

$$E/r = \frac{1}{\sigma p_{okl}} (C_{Iokl} I_0(r/p_{okl}) - C_{Kokl} K_0(r/p_{okl})) r_{ou} \leq r r_{ov} \quad (9)$$

$$C_{Iokl} = \frac{1}{2\pi C_{Dokl}} \left(\frac{I_{Aokl}}{r_{ou}} K_1(r_{ov}/p_{okl}) + \frac{I_{Bokl}}{r_{ov}} K_1(r_{ov}/p_{okl}) \right) \quad (10)$$

$$C_{Kokl} = \frac{-1}{2\pi C_{Dokl}} \left(\frac{I_{Aokl}}{r_{ou}} I_1(r_{ov}/p_{okl}) + \frac{I_{Bokl}}{r_{ov}} K_1(r_{ou}/p_{okl}) \right) \quad (11)$$

$$C_{Dokl} = I_1(r_{ov}/p_{okl}) K_1(r_{ou}/p_{okl}) - I_1(r_{ou}/p_{okl}) K_1(r_{ov}/p_{okl}) \quad (12)$$

$$p_{okl} = \sqrt{\frac{1}{j\omega\sigma_{okl}/u_{okl}}} \quad (13)$$

I_{Aokl} i I_{Bokl} su unutrašnja i vanjska povratna struja oklopa. p_{okl} je kompleksna dubina prodiranja struje u oklop. I_n, K_n ($n=0,1$) su modificirane Besselove funkcije n -tog reda prve i druge vrste. E na unutrašnjoj i vanjskoj površini oklopa može se izvesti kao:

$$E(r_{ou}) = Z_{Aokl} I_{Aokl} + Z_{Bokl} I_{Bokl} \quad (14)$$

$$E(r_{ov}) = Z_{okl} I_{Aokl} + Z_{Bokl} I_{Bokl}, \quad (15)$$

gdje je

$$Z_{Aokl} = \frac{1}{2\pi r_{ou} \sigma_{okl} p_{okl} C_{Dokl}} \left(I_0(r_{ou}/p_{okl}) K_1(r_{ov}/p_{okl}) + K_0(r_{ou}/p_{okl}) I_1(r_{ov}/p_{okl}) \right) \quad (16)$$

$$Z_{Bokl} = \frac{1}{2\pi r_{ov} \sigma_{okl} p_{okl} C_{Dokl}} \left(I_0(r_{ov}/p_{okl}) K_1(r_{ou}/p_{okl}) + K_0(r_{ov}/p_{okl}) I_1(r_{ou}/p_{okl}) \right) \quad (17)$$

$$Z_{okl} = \frac{1}{2\pi r_{ou} r_{ov} \sigma_{okl} C_{Dokl}}. \quad (18)$$

Posljednja tri izraza definirao je Scheldkunof [4] kao impedanciju unutrašnje površine, impedanciju vanjske površine i prenesenu impedanciju oklopa. Uz pretpostavku da je površina zemlje savršeno vodljiva i da će se koristiti kao referentna za napon vodiča i povratni put za struje vodiča, matrica serijskih impedancija sustava koaksijalnih vodiča može se općenito izvesti prema oznakama sa slike 1. kao [5]:

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_1^d & Z_2^{od} & Z_3^{od} & \dots & Z_k^{od} \\ Z_2^{od} & Z_2^d & Z_3^{od} & \dots & Z_k^{od} \\ Z_3^{od} & Z_3^{od} & Z_3^d & \dots & Z_k^{od} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_k^{od} & Z_k^{od} & Z_k^{od} & \dots & Z_k^d \end{bmatrix} \quad (19)$$

gdje je

$$Z_i^d = \sum_{k=i}^K Z_{EQk}^{-2} \sum_{k=i+1}^K Z_{Mk} / i = 1, 2, \dots, K/ \quad (20)$$

$$Z_i^{od} = \sum_{k=i}^K Z_{EQk} - Z_{Mi}^{-2} \sum_{k=i+1}^K Z_{Mk} / i = 2, 3, \dots, K/ \quad (21)$$

$$Z_{EQk} = Z_{Bk} + Z_{Dk} + Z_{Ak-1} / k = 1, 2, \dots, K-1/ \quad (22)$$

$$Z_{EQK} = Z_{BK} + Z_{DK} \quad (23)$$

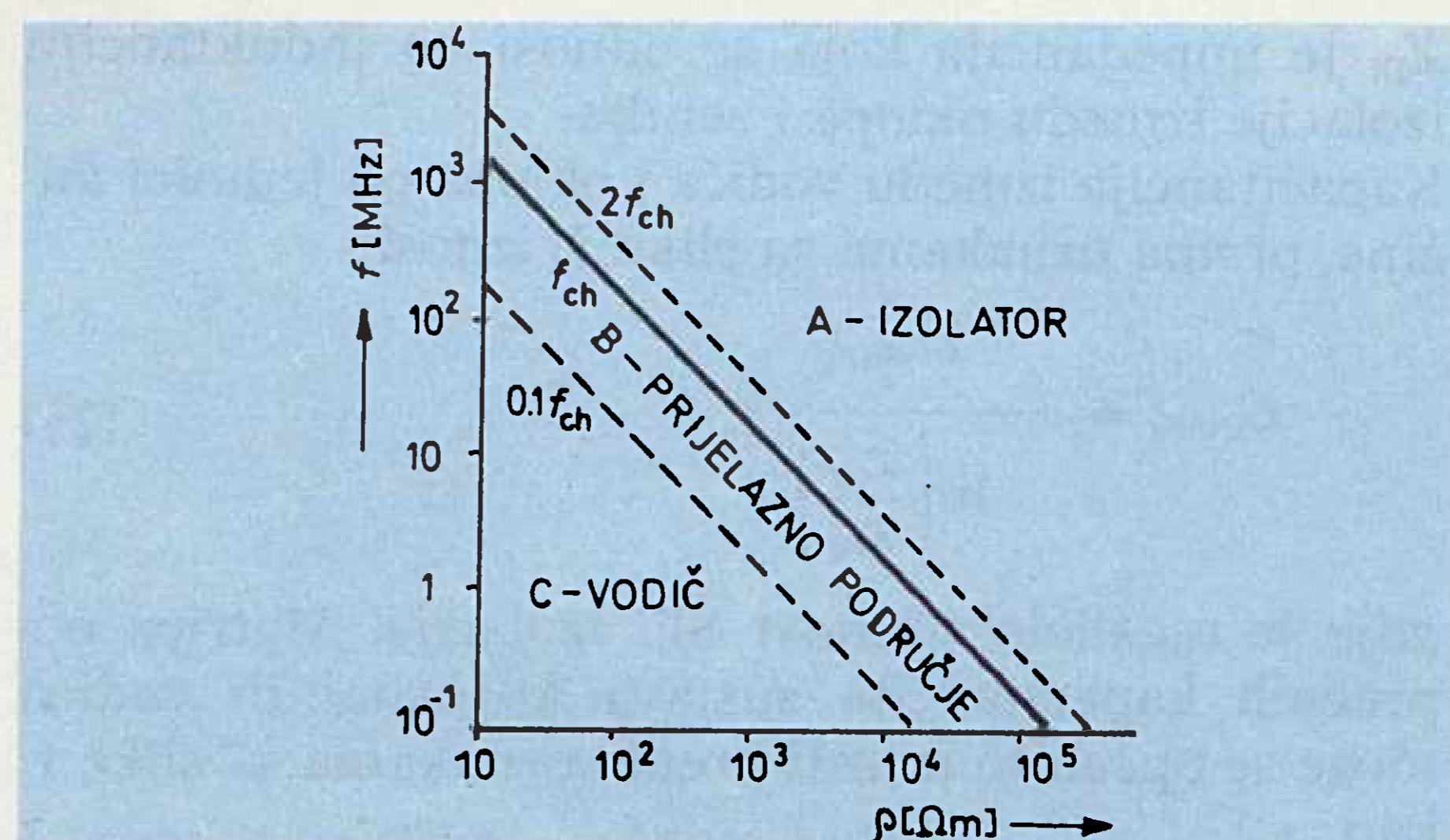
$$Z_{Di} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{r_{Ak+1}}{r_{Bk}} \right) / i = 1, 2, \dots, K/. \quad (24)$$

konstanti prostiranja i karakterističnih impedancija i admitancija. Međutim, frekventna ovisnost transformacione matrice do sada nije uključena u proračunavanje prelaznih pojava na vodovima i kabelima. Frekventna ovisnost transformacione matrice različita je u različitim područjima frekvencija. Transformacijska matrica koaksijalnih sabirnica približno je konstantna u područjima za koje je dominantna frekvencija $f_{kar} < f_{dom} < f_{krit}$ ili $f_{dom} > f_{krit}$. U području frekvencija u kojima je $f_{dom} < f_{kar}$ ili $f_{dom} = f_{krit}$ nužno je u proračunavanju prijelaznih pojava uzeti u obzir frekventnu ovisnost transformacijske matrice. Dominantna frekvencija f_{dom} , kritična frekvencija f_{krit} i karakteristična frekvencija f_{kar} mogu se jednostavno dobiti analitički [6,7]:

$$\begin{aligned} f_{dom} &= \frac{c_0}{2l\sqrt{\epsilon_{SF_6}}} \\ f_{krit} &= \frac{S_{okl}}{d^2\pi\mu_0\mu_{rok1}} \\ f_{kar} &= \frac{S_{okl}}{l\pi\mu_0\mu_{rok1}} \end{aligned} \quad (28)$$

Za frekvencije veće od kritične frekvencije f_{krit} gotovo da ne postoji nikakvo međusobno djelovanje struja između vodiča i zemlje. Drugim riječima, kritična frekvencija jest ona za koju impedancija vanjske površine oklopa, uključujući impedanciju zemnog povratnog puta, postaje mnogo veća od međusobne impedancije između unutrašnje i vanjske površine oklopa. To uvjetuje da se kroz vanjsko tvarivo oklopa ne vraća struja, nego se sva struja vodiča vraća kroz oklop. Karakteristična frekvencija je ona kod koje su napon i struja oklopa međusobno spregnuti s istim veličinama drugih faza. Budući da su vrijednosti frekvencija f_{krit} i f_{kar} reda veličine kHz, a prijelazne pojave nastale pri manipulaciji rastavljačem reda MHz, to je jasno da su uvjeti za pretpostavku o približno konstantnoj transformacijskoj matrici zadovoljeni.

Kada se simuliranje prijelaznih pojava provodi koristeći se programima za određivanje parametara koji koriste Carsonove i Pollaczekove izraze, pomaćne kapacitivne struke kroz zemlju se pretpostavljaju zanemarljivima. Stoga se pretpostavlja da je zemlja kao povratni put vodljiva. Za takvu pretpostavku može se reći da ograničava primjenu izraza koji se na njoj osnivaju do oko 1 MHz. Ponašanje zemlje kao vodiča ili izolatora mijenja se kada je vrijednost frekvencije jednaka $f_{ch} = \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0}$, tj. za vrijednosti frekvencija na kojoj gustoća vodljive struje ($i_r = E(\zeta)$) postaje jednaka gustoći kapacitivne struje ($i_c = \omega\epsilon E$). Uz pretpostavku da je $\epsilon = \epsilon_0$, moguće je nacrtati grafičku ovisnost f_{ch} o specifičnoj otpornosti zemlje, slika 7. Područje A odgovara kapacitivnom ponašanju zemlje kao povratnog puta. Područje B odgovara prijelaznom ponašanju, kada se zemlja kao povratni put ponaša i kao provodna i kao kapacitivna. Područje C odgovara provodnom ponašanju zemlje kao povratnog puta.



Slika 7. Ovisnost f_{ch} o otpornosti zemlje

- A – područje vrlo visokih frekvencija
- B – prijelazno područje
- C – područje primjenjivosti Carsonovih i Pollaczekovih izraza

Pri vrlo visokim frekvencijama ($f > 2f_{ch}$) provodna struja kroz zemlju je zanemariva i zemlja ima osobine izolatora (područje A). Za niže frekvencije ($f < 0,1 f_{ch}$), kapacitivna struja je zanemariva i zemlja ima provodne osobine. Carsonov pristup pretpostavlja da se kapacitivna struja može zanemariti, i stoga se njegovi izrazi mogu primijeniti na područje C. Granična frekvencija primjenljivosti Carsonovih i Pollaczekovih izraza ovisi o otpornosti zemlje. Ako je otpornost zemlje dovoljno niska, granična frekvencija može biti veća od 1 MHz. Teorijski, frekvencija može biti viša od 10 MHz.

5. ZAKLJUČAK

Proračunavanje vrlo brzih prijelaznih pojava u metalom oklopljenim plinom SF₆ izoliranim postrojenjima pretpostavlja cjelovit uvid u određivanje podužne impedancije i poprečne admitancije sabirnica. Frekventna ovisnost karakterističnih impedancija i admitancija je jače izražena kod koaksijalnih sabirnica u odnosu na nadzemne vodove. Uključivanje frekventne ovisnosti karakteristične impedancije i admitancije moguće je primjenom istih tehnika koje se koriste za nadzemne vodove. Najveću poteškoću u simuliranju prijelaznih pojava u metalom oklopljenim postrojenjima u vremenskoj domeni predstavlja frekventna ovisnost transformacijske matrice. Frekventna ovisnost transformacijske matrice može se pretpostaviti konstantnom u opsegu frekvencija vrlo brzih prijelaznih pojava.

U radu je ustvrđena granica primjenljivosti postojećih modela s obzirom na zanemarenje utjecaja pomaćnih struja u zemlji. Ovisnost granične frekvencije u odnosu na specifičnu otpornost zemlje upućuje da se sa većom pouzdanošću mogu provesti simuliranja za frekvencije veće od 1 MHz.

LITERATURA

- [1] J. R. CARSON, »Wave propagation in overhead wires with ground return, Bell. Syst. Techn. J. vol. 5, 1926, pp. 539 – 554

- [2] F. POLLACZEK, »Über das Feld einer unendlich langen Wechselstromdurchflossenen Einfachleitung«, E. N. T., 1926, Band 3 (Heft 9), pp. 339 – 360
- [3] L. M. WEDEPOHL and A. E. EFTHYMIADIS, »Wave propagation in transmission lines over lossy ground: a new, complete field solution« Proc. IEE, vol. 125, June 1978, pp. 505 – 510
- [4] S. A. SCHEKUNOFF, »The electromagnetic theory of coaxial transmission line and cylindrical shells«, Bell System Tech. J. vol. 13, 1934, pp. 339 – 360
- [5] A. AMETANI, »A general formulation of impedance of cables«, IEEE Trans. PAS, vol. PAS-99, May/Yune 1980, pp. 902 – 909
- [6] R. MAHMUTČEHAJIĆ, »Proračunavanje parametara kabela; I. dio, Opća formacija«, XI. simpozij o energetskim kablama, Svetozarevo, 24 – 28. listopada 1988.
- [7] R. MAHMUTČEHAJIĆ, »Proračunavanje parametara kabela; II. dio, Frekventna ovisnost parametara«, XI. simpozij o energetskim kablama, Svetozarevo, 24 – 28. listopada 1988.

NUMERICAL SIMULATION OF THE TRANSIENT OVERVOLTAGE OF THE METAL ENCLOSURES OF SF₆ GAS-ISOLATED SWITCHGEARS
Parameter determination and application constraints

Numerical simulation of the parameters of the coaxial busbars of metal-enclosed SF₆ gas-isolated switchgears is presented. Calculation of transients with the obtained parameters is realized in the time domain using modal analysis, which is much more complicated for metal enclosed substations than for overhead lines.

BERECHNUNG DER ÜBERGANGSVORSPANNUNG DER METALLUMHÜLLUNG DER MIT GAS SF₆ ISOLIERTEN ANLAGEN

Berechnung der Parameter und Beschränkung der Anwendung

Man schildert die Methode der Parameter — Berechnung der koaxialen Sammelschienen der Metallumhüllung der mit Gas SF₆ isolierten Anlagen. Die Berechnung der Übergangserscheinungen neben den gewonnenen Parametern, die in der Zeitdomäne durchgeführt wird, setzt die Anwendung der modalen Analyse voraus, was für den Fall der mit Metall umhüllten Anlagen eine bedeutend schwierigere Aufgabe ist als im Fall der überirdischen Leitungen.

Naslov pisca:

Dr. Salih Čaršimamović, dipl. inž.

**Elektrotehnički fakultet Osijek
54000 Osijek, Istarska 3
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:
1991-04-06



PROIZVODNI PROGRAM

Energetski kabeli za napone:

1 kV-s termoplastičnom izolacijom

10 kV-s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- etilen-propilena

20 kV — s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- termoplastičnog polietilena

35 kV — s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- etilen-propilena

Termoplastikom izolirani instalacijski vodovi i kabeli.

Gumom izolirani instalacijski vodovi i kabeli.

Brodski kabeli izolirani etilen-propilenom i plaštom od neoprena.

Kabeli i konektori za aerodromske instalacije.

Samonosivi kabelski snopovi Elkalex-1.

Telekomunikacijski kabeli s izolacijom i plaštom od termoplastičnih materijala.

Telefonske montažne žice.

Optički kabeli.

Specijalni vodovi i kabeli.

Rudarski kabeli.

Kabelski setovi sa konektorima.

Lakirana žica.

Aluminijska, alu-čelična i užad iz aluminijske legure.

Čelična užad za dizalice, brodove i druge namjene.

Umreživi polietilen



PLINIFIKACIJA ZAGREBA

Zajedno s programom plinifikacije Hrvatske što ga je usvojila INA, a koji je utvrđen na osnovi strategije razvoja energetike Republike, utvrđen je i program plinificiranja Zagreba do 2010. godine.

Plin kao najčistiji energent najmanje zagađuje okoliš pa je razumljivo da on u Zagrebu ima prednost pred drugim energentima.

U 1990. godini u Zagrebu je potrošeno više od 568 milijuna prostornih metara plina koji pripada Republici Hrvatskoj. Taj plin troši oko 102 tisuće potrošača, koliko ih je priključeno na više od tisuću kilometara plinske mreže i 600 redukcijskih stanica.

Utvrđeni program plinifikacije Zagreba zapravo je već počeo. Radi se na ostvarenju programa prelaska s gradskog plina na prirodni, kojim će se obuhvatiti ne samo gradsko središte, već i šire područje. U ovoj godini izgradit će se oko 40 do 50 kilometara plinske mreže. Punom realizacijom programa plinifikacije do 2010. godine predviđa se 180 tisuća potrošača koji će trošiti oko 950 milijuna prostornih metara godišnje.

I. R.

POČETAK GRADNJE MALIH HIDROELEKTRANA

Izradom studije »Katastar malih hidroelektrana u Hrvatskoj«, koju su izradili stručnjaci »Elektroprojekta« u Zagrebu, počela je realizacija plana gradnje malih elektrana. Među prvima gdje će se ostvariti taj program jest područje Gorskog kotara.

Na vodotoku rječice Čabranka, pritoka Kupa, već je sagrađena prva minihidroelektrana, a u toku je gradnja još jedne na Čabranki. Vlasništvo ove posljednje elektrane jest privatno poduzeće.

Poduzeće »Elektroprojekt« Zagreb i »Rijeka-projekt« obavila su sva potrebna ispitivanja obradivši 17 vodotočnih mjesta.

Izabrano je deset lokacija koje imaju najpovoljnije uvjete za gradnju optimalne veličine s isplativom proizvodnjom. Za te objekte izrađena je tehnička dokumentacija jasno određenim veličinama prema vodotoku, tipovi građevinskih objekata te hidromehanička i elektrostrojarska oprema, što će investitorima olakšati gradnju. Domaća industrija može proizvesti kompletnu upremu (»Končar«, Litostroj, »Đaković«, Metalna Maribor i dr). Ostvarenjem ovog programa stvorene su povoljne mogućnosti za iskorištenja vodotoka Čabranke. Za posao su zainteresirane mjesne zajednice, privatnici i poduzeća drvne industrije Gorskog kotara koja će se koristiti strujom za svoje pogone, a višak će isporučiti javnoj mreži.

I. R.

USPJEŠNA GRADNJA PLINSKE STANICE MOLVE III

Radovi oko izgradnje Centralne plinske stanice »Molve III« u Podravini organizirani su vrlo dobro. Građevni dio postrojenja u završnoj je fazi i stvoreni su uvjeti za početak montaže glavne opreme. Stručne ekipe poduzeća »Mon-

tmontaža« iz Zagreba glavni su izvođači montažnih poslova. Potkraj srpnja 1991. godine montirali su prve dvije od ukupno 28 posuda. Riječ je o apsorberima visokim po 32 i širokim 3,8 metra.

Treba istaknuti da je niz pomoćnih objekata obuhvaćen montažnim zahvatima i dobar dio je završen.

Već su montirane brojne čelične konstrukcije cijevnih mostova, električne instalacije, podzemni i nadzemni cjevovodi. Dovršavaju se radovi na izvedbi postrojenja za kemijsku i tehničku pripremu vode, kao i postrojenja za obradu otpadnih voda.

Prema dinamici obavljenih radova izvedenih do kraja kolovoza 1991. godine i prema ocjenama investitora i izvođača sredinom 1992. godine Molve III ide vjerojatno u redovnu proizvodnju. Potpunom izgradnjom CPS Molve III povećat će proizvodnju plina sa sadašnja četiri milijuna na devet milijuna prostornih metara dnevno.

INA-Naftaplin s »Končarom« — poduzeće »Montažni inženjering« — ugovorila je isporuku i montažu transformatorske stanice za potrebe CPS Molve III. Vrijednost ovog posla je 1,5 milijuna USA dolara, a rok isporuke i montaže 10 mjeseci.

I. R.

OSNOVANO PODUZEĆE ZA RADIOAKTIVNI OTPAD

Odlukom Hrvatske elektroprivrede početkom srpnja 1991. godine osnovano je Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada koje se formira radi zaštite prirode čovjekove okoline i stvaranje uvjeta za osiguranje trajnog odlaganja radioaktivnog otpada.

Novoosnovano poduzeće zasada će ovisiti o budžetskim sredstvima Hrvatske elektroprivrede, a u budućnosti bi se trebalo pretvoriti u specijalizirano poduzeće. Potencijalni korisnici usluga poduzeća bit će medicinske ustanove, razni instituti, poduzeća kemijske industrije, brodogradilišta i dr.

U pogledu radioaktivnog otpada u nuklearnoj elektrani Krško se poduzimaju razne mjere za smanjenje količina radioaktivnog otpada koji se zasada čuva u posebnim bačvama u elektrani dok se ne utvrdi lokacija trajnog uskladištenja tog radioaktivnog otpada.

I. R.

POTROŠAK GORIVA U TERMoeLEKTRANAMA

Na području Hrvatske termoelektrane za proizvodnju električne i toplinske energije koriste gorivo kameni ugljen, loživo ulje, zemni i koksni plin. TE Plomin koristi se ugljenom raških ugljenokopa.

TE Rijeka, TE Sisak, TE-TO Zagreb, EL-TO Zagreb i TE-TO Osijek orijentirali su se na korištenje loživog ulja. Zemni plin koriste sve termoelektrane u Hrvatskoj. Koksni plin kao pogonsko gorivo primjenjuje termoelektrana Rijeka. Za planiranu proizvodnju 1991. godine utvrđene su ove količine goriva: kameni ugljen 239 250 tona; loživo ulje 850 000 tona; zemni plin $404,7 \times 10^6$ prostornih metara i koksni plin $53,0 \times 10^6$ prostornih metara.

Prema podacima Hrvatske elektroprivrede, za razdoblje od siječnja do srpnja 1991. godine ostvaren je sljedeći potrošak goriva u navedenim elektranama.«

- ugljen 90 324 tone
- loživog ulja 265 340 tone
- zemnog plina $209,7 \times 10^6$ prostornih metara i
- koksnog plina $5,3 \times 10^6$ prostornih metara

Za navedeno razdoblje (I–VII. 1991. g.) ostvarena je proizvodnja 1 367,7 GWh.

I. R.

HIDROENERGETSKI POTENCIJAL VODOTOKA KORANE

U neiskorištene hidroenergetske potencijale u Hrvatskoj ubraja se i vodotok Korane. Hidrolaške značajke rijeke Korane su visokobujičaste proljetne i jesenske vode, te mogućnost proizvodnje velike količine električne energije u to vrijeme.

Korana, duga oko 134 km, desni je pritok Kupe, a utječe u nju kod Karlovca. Nakon detaljnih ispitivanja utvrđeno je moguće iskorištenje vodotoka Korane izgradnjom četiriju hidroelektrana: HE Smoljanac, HE Slunj, HE Primišlje i VES Lučica. Za prve tri hidroelektrane obavljena su potrebna ispitivanja za gradnju hidroenergetskih objekata.

Stručnjaci »Elektroprojekt« Zagreb za Vodoprivrednu-energetsku stepenicu Lučica izradili su idejni projekt. VES Lučica predstavlja jednu od planiranih stepenica u iskorištavanju vodnog potencijala Korane. Uloga VES Lučica je:

- proizvodnja električne energije u varijabilnom dijelu dnevnog dijagrama opterećenja
- transformacija velikih valova i time zaštita nizvodnih područja u okolini Karlovca od poplava i
- vodoopskrba.

Lokacija VES Lučice je na toku Korane na stacionaži 40–140. VES Lučica iskorištava pad rijeke Korane na odjeku toka od 68,35 do 40,14 km.

Opis objekta

Glavni sastavni dijelovi VES Lučica jesu: brana, akumulacijski bazen, strojarnica s dvije glavne proizvodne grupe i agregatom biološkog minimuma, temeljni ispust, preljev na kruni brane opremljen dvjema segmentnim zapornicama.

Strojarnica s pripadajućim objektima smještena je nizvodno uz betonsku branu u smjeru sjever – jug.

Dovod vode turbinama predviđen je s dva zasebna tlačna cjevovoda promjera 3,60 m. Od lijevog tlačnog cjevovoda odvaja se cjevovod promjera 1,5 m za agregat biološkog minimuma.

Strojarnica se sastoji od hale strojarnice i bloka strojarnice. Iznad podzemnoga dijela strojarnice je nadzemna hala s montažnim otvorima i montažnim prostorom.

Tip elektrane — VES Lučica jest pribransko postrojenje s dvije glavne proizvodne grupe i agregatom biološkog minimuma.

Energetski podaci o VES Lučica: snaga 43,2 MW; godišnja prosječna proizvodnja 92,0 GWh, transport energije dalekovodima 2×110 kV i 1×20 kV.

Karakteristika glavne opreme: turbine Francis, osovina agregata vertikalna; intalirani protok $Q = 100$ m³/s; konstruktivni pad 46,0 m.

Tip generatora: trofazni sinhroni, nazivna snaga 26,0 MVA, faktor snage $\cos \phi = 0,85$.

Transformatori: tip trofazni uljni za unutrašnju montažu, nazivna snaga 26,0 MVA, nazivna frekvencija 50 Hz.

Agregat biološkog minimuma: tip turbine Francis, osovina agregata vertikalna i konstruktivni pad 46 m, nazivna snaga 1,0 MW.

Generator tip trofazni sinhroni, nazivna snaga 1,25 MVA, faktor snage $\cos \phi = 0,80$

Ukupni je volumen akumulacije 295 hm³, energetske volumene akumulacije 164 hm³ dužina akumulacije 28 km, a prosječna širina akumulacije 260 m. Upravljanje elektranom: VES Lučica predviđena je kao objekt bez pogonske posade. Opremom elektrane upravlja se daljinski iz komande porječja Kupe. Daljinsko upravljanje elektranom je grupno automatsko upravljanje.

Lokalno upravljanje u elektrani predviđeno je za slučaj zaposjedanja objekta, te u vrijeme upuštanja nakon izgradnje i remonta. Lokalno upravljanje je automatsko pojedinačno i ručno pojedinačno.

I. R.

INA RADI U LIBIJI

Dioničko društvo »INA-INTCO« (Inozemni konzalting) na međunarodnoj licitaciji dobilo je još jedan posao u Libiji. Riječ je o rafineriji u Libiji Azzawyi na obali Sredozemnog mora, u blizini Tripolisa. Posao remonta obaviti će INA-ina posada sastavljena od 200 radnika stručnjaka svih profila iz područja održavanja INA-inih rafinerija i petrokemijskih postrojenja. Vrijednost ovog posla je milijun i pol USA dolara, a u rad na remontu uključiti će se i stručne ekipe glavnih kooperanata »Vatrostalna« Sisak, poduzeća ATM iz Zagreba i »Montig-energetika« iz Zagreba.

I. R.

SURADNJA REPUBLIKE HRVATSKE I ALBANIJE O ENERGETICI

Radi unapređenja i razvitka gospodarske suradnje između Republike Hrvatske i Republike Albanije 30. srpnja 1991. g. u Zagrebu je potpisan međudržavni sporazum Hrvatske i Albanije. Prema sporazumu između Hrvatske i Albanije stvorit će se uvjeti za daljnji razvitak gospodarske, te znanstveno-tehničke suradnje, razvijanja proizvodnih kooperacija, osnivanje mješovitih poduzeća, kao i drugih organizacija i povezivanje s međunarodnim udruženjima.

Od većeg broja gospodarskih djelatnosti u kojima postoje obostrani interes za suradnju važnu poziciju zauzimaju problemi iz oblasti energetike. Tu su na prvom mjestu elektroprivreda i naftna industrija. Poduzeće »INA-Naftaplin« zainteresirano je za istraživanje nafte i plina u Albaniji te na revitalizaciji i povećanju proizvodnje na starim naftnim izvorima u Albaniji. Zbog zastarjele tehnologije danas se proizvodnja nafte u Albaniji znatno smanjila. Obnovom starih bušotina, rekonstrukcijom opreme i korištenjem sekundarnih tehnoloških metoda današnja proizvodnje nafte u Albaniji mogla bi se povećati za još milijun tona godišnje. Nadalje, INA je ponudila Albaniji izgradnju kompletnih benzinskih crpka. Poslije potpisivanja sporazuma o suradnji Hrvatske i Albanije, INA-Naftaplin uputili su u Albaniju grupu stručnjaka radi istraživanja rezervnih naftnih izvora. Otvara se i velika mogućnost suradnje hrvatske i albanske elektroprivrede u izgradnji proizvodnih jedinica. Naime, u Albaniji je planirana gradnja hidroelektrane i triju blokova termoelektrana na ugljen. Hrvatsko-slovenske tvrtke u stanju su preuzeti sve poslove u vezi s izgradnjom takvih proizvodnih jedinica.

I. R.

INVESTICIJE NJEMAČKIH ELEKTROPRIVREDNIH PODUZEĆA U UREĐAJE ZA ZAŠTITU OKOLIŠA

Prema izvještaju VDEW u Frankfurtu na Majni, njemačka su elektroprivredna poduzeća od 1983. do 1989. godine investirala u zaštitu okoliša 23,6 milijarde DEM. To je okruglo jedna četvrtina svote od 99,29 milijardi DEM koju su ta poduzeća investirala u modernizaciju javne opskrbe električnom energijom. Tri četvrtine ove svote, tj. 18,5 milijardi DEM, utrošeno je za održavanje čistoće zraka, i to za odsumporavanje, čišćenje od dušičnih oksida i prašine. Za pročišćavanje voda izdala su elektroprivredna poduzeća 1,93 milijardi DEM, za zaštitu od buke 470 milijuna DEM, a na uklanjanje otpadaka 2,69 milijardi DEM.

ETZ, god. 112 (1991), br. 3

Mrk.

SURADNJA RUMUNJSKE I TURSKE U ENERGETICI

Prilikom posjete rumunjskog premijera Petre Romana Turskoj razmatrana je mogućnost da Rumunjska gradi u Turskoj hidroelektrane koje bi Turska otplaćivala dobavom električne energije Rumunjskoj. Osim toga bi Rumunjska sudjelovala u gradnji plinovoda, a otplata bi se vršila dobavom zemnog plina.

ETZ, god. 112 (1991), br. 5

Mrk.

EdF RAZMATRA PREGRADNJU ISLUŽENIH NUKLEARNIH ELEKTRANA

Državno elektroprivredno poduzeće Francuske Electricité de France (EdF) ispituje mogućnost da odslužene nuklearne elektrane s grafitom kao moderatorom pregradi u elektrane s plinskim turbinama koje bi radile u kombiniranom kružnom procesu. Brzi porast izvoza električne energije iz Francuske traži osiguranje za domaće potrebe. EdF predviđa da će za tri godine biti apsorbiran čitav postojeći višak energije, pa treba naći nove izvore za pokrivanje vrhova. Upravo su plinske turbine prikladne za takav slučaj.

ETZ, god. 112 (1991), br. 5

Mrk.

LAGANI PORAST POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U ITALJI

Godine 1990. porastao je potrošak električne energije za 2,9% na ukupno 235 400 GWh. Porast je nešto manji nego prethodne godine kad je iznosio 3,7%. Razlog je niža industrijska proizvodnja u zadnjem kvartalu 1990. Prema podacima državnoga elektroprivrednog poduzeća ENEL, porasla je nešto proizvodnja, bez industrijskih elektrana, u 1990. za 3% tj. na 200 700 GWh. Neto-uvoz porastao je za 2,8% (34 700 GWh). U zemlji je proizvedeno 34 600 GWh u hidroelektranama, što je od prethodne godine 6,5% manje. Tome

je pridonijelo vrlo sušno ljeto. Daljnjih 167 800 GWh, što je porast od 5,7% proizvele su termoelektrane naftom, plinom i ugljenom. Ostalih 3 100 GWh, porast 2,5%, dobivene su elektrane koje rade pomoću geotermičke energije.

ETZ, god. 112 (1991), br. 5

Mrk.

NOVI MAGNETNI MATERIJAL KOJI MNOGO OBEĆAVA

Nova legura samarija i željeza, koja se dobije sinterovanjem praška navedenih elemenata u atmosferi dušika obećava da će biti dobar materijal za permanentne magnete. Ova je legura razvijena u irskom Trinity-College u Dublinu u sklopu istraživačkog programa Evropske zajednice. Prema dosadašnjim mjerenjima svojstva novoga magnetskog materijala bitno premašuju danas poznati materijal rađen na bazi elemenata neodim-bor-željezo. Osim toga, novi magnetni materijal lakše se oblikuje, a čini se da će biti i jeftiniji. Evropski će se proizvođači osloboditi japanskih i američkih licenci za neodimske materijale, a nove će moći izvoziti.

ETZ, god. 112 (1991), br. 5

Mrk.

NADOGRADNJA BRANE MAUVOISIN

Jedna od najviših brana u svijetu, brana hidroelektrane Mauvoisin, u švicarskom kantonu Wallis, bit će nadograđena. Visoka je 237 m, a bit će povišena za još 13,5 m, što neće predstavljati neku tehničku poteškoću. Gradnja će stajati 50 milijuna CHF. Tim će se zahvatom omogućiti povećanje akumuliranja vode od 180 milijuna m³ na 210 milijuna m³, a površina akumulacijskog jezera bit će povećana za 20 ha. Slivno područje akumulacije je 50% pod glečerima i dobavlja godišnje 250 milijuna m³ vode. Svrha je ove gradnje da se dobije što više zimske energije kojom Švicarska oskudijeva. Zbog toga se u zimskoj sezoni godine 1989/90. moralo uvesti 1,9 milijardi kWh.

ETZ, god. 112 (1991), br. 5

Mrk.

DOPRINOS NUKLEARNIH ELEKTRANA ČISTOĆI ZRAKA

Doprinos nuklearnih elektrana čistoći zraka vrlo je velik. Nuklearne elektrane u Njemačkoj proizvele su 1990. godine 152,6 milijardi kWh. Da je tolika energija proizvedena u klasičnim termoelektranama, zrak bi bio opterećen s dodatnih 150 milijuna tona ugljik-dioksida. Njemačka je 1990. imala 21 nuklearnu elektranu ukupne instalirane snage 22 385 MW. Proizvodnja u nuklearkama u zapadnom dijelu Njemačke porasla je samo za 1,4%, dok je u istočnom pala zbog zaustavljanja dviju nuklearki.

ETZ, god. 112 (1991), br. 5

Mrk.

NOVI LAKOVODNI REAKTORI

Već će 1993. godine biti pripravna za tržište nova generacija lakovodnih reaktora s vodom pod tlakom. Reaktor je razvijen u kooperaciji francuske tvrtke Framatom i njemačke Siemens KWU. Obje su se tvrtke odlučile na evolucioni razvojni put njihovih nuklearnih tehnika, jer ne vide prednosti revolucionarnog koncepta. Oni žele objediniti i usvojiti najbolje karakteristike francuskih i njemačkih reaktora i primijeniti najnovija dostignuća sigurnosne tehnike. U novorazvijenim reaktorima još će konzekventnije biti primijenjen već do sada prokušani višestepeni sigurnosni koncept i time još više poboljšana pouzdanost uređaja.

Elektrizitätswirtschaft, god. 89 (1990), br. 24

Mrk.

ISKORIŠTENJE ENERGIJE NUKLEARNIH VALOVA

Iz niza različitih mogućnosti iskorištenja morskih valova čini se da su potpuno napuštene konstrukcije prema kojima bi se električna energija dobivala na taj način da valovi podižu i spuštaju plovila učvršćena za morsko dno. Na tom su principu pravljene projekti i pokusi od 1982. do 1989. u Velikoj Britaniji, ali zatim potpuno napušteni. Danas se razvijaju samo modeli vezani za čvrsto kopno. Energija vala raste s kvadratom njegove visine pa npr. val visina 1,5 m može imati snagu 36 kW po metru duljine, a kod velikog nevremena i 700 kW/m.

Zanimljiva je elektrana koja iskorištava energiju morskih valova sagrađena u Norveškoj u mjestu Toftestallenu kraj Bergana. Ona radi prema projektu System Tapchan, što je kratica od riječi »tapered channel«, a znači ljevasto suženi kanal. U živoj stijeni usječen je kanal u obliku lijevka širok 50 m na početku, da se nakon 90 m suzi na 3 m. Taj se dio naziva kolektor. U njemu se koncentriraju valovi različitih smjerova i frekvencija.

Na kolektor se nastavlja konverter, kanal također dug 90 m, konstantne dubine. Na početku je širok 3 m, a na završetku samo 0,2 m. Gornji rubovi ovog kanala uzdižu se 3 m iznad srednjeg nivoa mora. U kanalu se kinetička energija valova pretvara u potencijalni. Visina vala se zbog suženja kanala povećava, pa se voda preko rubova slijeva u bazen površine 5 500 m². Na taj način je nivo vode u bazenu 3 m iznad površine mora, pa na konvencionalni način voda teče kroz turbine natrag u more. Instalirana snaga elektrane iznosi 350 kW, a godišnja proizvodnja 2 GWh.

Prednosti su ovog sistema u tome što nikakvi pokretni dijelovi nisu u kontaktu s valovima, a pretvorba kinetičke energije u potencijalnu nastaje u pasivnim armiranobetonskim dijelovima. Na taj način uređaji mogu podnijeti i teško nevrijeme.

Norvežani smatraju takvu elektranu dopunom dizelskoj elektrani u smislu uštede goriva. Njezina ekonomičnost ovisi ponajprije o klimi područja gdje je podignuta.

U međuvremenu se razmišlja o nešto većoj elektrani, snage 1,5 MW, za Tasmaniju.

Elektrizitätswirtschaft, god. 90 (1991), br. 5

Mrk.

TVRTKA S NAJVEĆIM ISKUSTVOM U GRADNJI VJETROELEKTRANA

Danska tvrtka Vestas — Danish Wind Technology A/S svjetski je najpoznatija u gradnji vjetroelektrana. Proizvodnja je

počela 1979. godine pa su od tada stečena bogata iskustva. Premda je tvrtka u bivšu DR Njemačku prodala samo jedan uređaj snage 200 kW, smatra da će sada nakon ujedinjenja, u sljedećih 5 godina, isporučiti 200 vjetroelektrana, a do godine 2 000 još toliko.

Naime, njemačka istočna obala smatra se vrlo pogodnom za rad takvih postrojenja. Tvrtka Vestas ugovorila je dobavu od 342 vjetroelektrane za najveći park koji se gradi sjeverno od Los Angelesa. Treba primijetiti da je danska tvrtka već do sada isporučila 2 200 vjetroelektrana u SAD. Uz Ameriku i Indiju kao kupac ima veliko značenje. U Danskoj se osnivaju veliki parkovi vjetrenjača u vlasništvu elektroprivrede, ali ima i mnogo privatnih pojedinačnih koje rade paralelno priključene na javnu električnu mrežu. Jedna od najvažnijih komponenta vjetroelektrane jest upravljački sistem koji se od 1984. bazira na mikrokompjutoru. Tvrtka Vestas izradila je oko 3 000 takvih sistema. Velika se važnost također polaže oblikovanju krila vjetrenjače u čemu Vestas ima značajan know-how prema drugim proizvođačima.

Elektrizitätswirtschaft, god. 90 (1991), br. 5

Mrk.

SOLARNA ENERGIJA ZA DOMAĆINSTVA

Kad je u Njemačkoj objavljen tzv. »Program 1000 krovova«, prema kojemu se subvencionira ugradnja fotovoltaičkih ćelija na krovove obiteljskih kuća, javio se neočekivano velik interes građana (vidi Energija, god. 40 (1991), br. 1). Mnogi su tražili tada savjet u elektroprivredi i kod elektrotehničkih stručnjaka, ali ih je 90% odustalo zbog velikih troškova, unatoč državnoj pomoći.

I pod takvim uvjetima uređaj je neekonomičan. K tome treba još dodati i administrativne poteškoće. Kao bolje rješenje preporuča se ugradnja solarnih kolektora za pripremu tople vode. Za domaćinstvo od 4 člana dovoljno je 6 do 8 m² površine kolektora. I ova investicija može biti dotirana od države. Uređaj se amortizira za 3 do 6 godina.

Za privatne osobe fotovoltaički uređaji su ekonomični samo za specijalne svrhe, gdje su i posrijedi male snage.

ETZ, god. 112 (1991), br. 6/7

Mrk.

ČSFR RASPISUJE NATJEČAJ ZA NOVE NUKLEARKE

Češko-slovačko elektroprivredno poduzeće Česke Energetický Zavody (ČEZ) raspisalo je natječaj za gradnju novih nuklearnih elektrana. To bi bio nastavak gradnje nuklearke od dva bloka u Temnelinu instalirana snage po 1 000 MW, koji se grade prema svjetskim planovima. Za ponude su se obratili na General Electric, Westinghouse, Bechtel, Mitsubishi Heavy Industries, Ansaldo, Nuclear Power International, BB i domaća Škoda — Koncernu.

Poduzeća trebaju predati ponude do kraja svibnja 1991.

ETZ, god. 112 (1991), br. 8

Mrk.

PRVA NUKLEARNA ELEKTRANA PREGRADENA NA UGLJEN

Američka kompanija Cincinnati Gas and Electric stavila je u probni pogon potkraj prošle godine prvu u svijetu nuklearnu elektranu pregrađenu na pogon ugljenom. Nakon tri

mjeseca pokusnog pogona moći će komercijalno proizvoditi električnu energiju. Procjenjuje se godišnja proizvodnja od 1 300 GWh.

Odluka o pregradnji elektrane donesena je 1984. Razlog je bio sumnja da će moći udovoljiti propisima Nuclear Regulatory Commission (NRC).

Energie, god. 43 (1991), br. 4

Mrk.

EVROPSKA ZAJEDNICA I OBNOVLJIVA ENERGIJA

Komisija EZ vodi već 15 godina razvojne programe iz područja obnovljive energije. Ona surađuje s industrijom, komunama, evropskim razvojnim centrima, kao i nacionalnim vladama. Od 1975. u razradi su bila već tri programa. Prvi program s četverogodišnjim trajanjem počeo je iza naftne krize, s novčanim ulogom od 17,5 milijuna ECU. Istraživanja su obuhvatila solarnu energiju i energiju biomase. Pripremljena je gradnja termičke solarne elektrane na Siciliji. U prvoj fazi posvećena je pozornost poboljšanju i proizvodnji solarnih ćelija, a u drugoj su građeni mali pilotski uređaji do 5 kW. Istraživane su različite tehnologije za korištenje biomase.

Drugi se program provodio od 1979. do 1983. uz budžet od 46 milijuna ECU. Istraživanja iz prvog programa produžena su s dodatkom studija energije vjetra i primjene solarne energije u poljoprivredi i općenitu praktičnu primjenu fotovoltaičkih uređaja. Što se tiče korištenja energije vjetra prvo je izrađen evropski atlas potencijalnih mogućnosti. Studirana je mogućnost korištenja biomase za energetske svrhe u šumarstvu i poljoprivredi. Iskušane su različite tehnologije, kao prioliza, gazifikacija, proizvodnja etanola, katalitička sinteza i sl.

Treći je program izvođen od 1985. do 1988. sa svotom od 73,5 milijuna ECU. U fotovoltaičkim istraživanjima naročito su se nastavila ispitivanja ćelija s atmosferskim silicijem. Na tom poslu sudjelovalo je više od 20 evropskih razvojnih instituta. Fotovoltaički uređaji testirani su u praktičkoj primjeni. Znatno je napredak učinjen u studijama korištenja vjetra. Osnovan je program gradnje vjetrove turbine promjera rotora 55 do 60 m snage 1 do 2 MW. Posebno su istražena specijalna pitanja konstrukcije takve turbine. Uz ispitivanje mogućnosti korištenja različitih poljoprivrednih proizvoda izgrađen je model uređaja za pirolizu i proizvodnju tekućih energenata.

U programu koji je u toku istražuju se solarne ćelije s kristalnim silicijem, povećanje koeficijenta iskoristivosti ćelije, kao i novi materijali. Nadalje se program usmjeruje na poboljšanje vjetroelektrana velike snage, jer u području do nekih 100 kW one su već danas ekonomične.

Rade se pripreme studije za izradu nove generacije velikih vjetroelektrana, proučavaju problemi aerodinamike i meteorologije.

U istraživanju biomase tekući se program bavi unapređenjem proizvodnje biljaka koje bi mogle služiti za energetske potrebe. Hidroliza enzima i gazifikacija dalje se unapređuju.

Mobilni pokusni uređaj za proizvodnju etanola upravo se gradi. Program za istraživanje biomase razgranat je u pet regionalnih programa. Razradom tih programa ne unapređuje se samo energetska strana već općenito poljoprivredna proizvodnja. Zbog toga je prihvaćena kooperacija sa zemljama izvan EZ.

Upravo je Evropskom parlamentu predložen nov program za razdoblje 1990–1994. Odluka će vjerojatno biti donesena u jesen 1991. Tzv. REBUILD program sadrži istraživanje

integracije solarnih ćelija u arhitekturi i građevne koncepte novih i starih zgrada. Cilj je maksimalno korištenje Sunčeva zračenja.

Programom REGCS traži se mogućnost korištenja obnovljive energije u oblasti elektroprivrede. Dalekosežni cilj je u tome da se velikim evropskim vezanim elektrosistemom povežu različiti obnovljivi izvori, a njihov udio progresivno povećava.

Treći tzv. REDI-projekt traži mogućnosti opskrbe poljoprivrednih gospodarstava koja nisu vezana na javnu mrežu, vodom, strujom i pogonskim gorivom. Ovo posljednje dobilo bi se iz biomase.

Ostvarenje spomenutih programa traži suradnju specijalnih radnih grupa s predstavnicima potencijalnih korisnika. Dvije radne grupe već postoje, a sastavljene su od predstavnika evropskih razvojnih instituta i elektroprivrede. Uskoro će se osnovati daljnje grupe od arhitekata i komunalnih predstavnika.

Energie, god. 43(1991), br. 4

Mrk.

U VELIKOJ BRITANJI DO 2025. 10 % STRUJE IZ VJETROELEKTRANA

U demonstracionom centru Carmarthen Bay u Južnom Walesu (Velika Britanija) stavljena je u pokusni pogon velika vjetrova turbina VAWT 850 (Vertical Axis Wind Turbine). Ona je visinom od 43 m jedna od najvećih u Evropi i predstavlja značajnu stepenicu u tehničkom razvoju vjetroelektrana. U planu je da se takvi uređaji izgrade u južnoj Engleskoj u farmama vjetrenjača. Britanci procjenjuju da bi se u 2025. godini 10% potrebne električne energije moglo proizvesti energijom vjetra. Britanski program korištenja energije vjetra financiran je od elektroprivrednih poduzeća, Ministarstva za energetiku i Komisije EZ.

Energie, god. 43 (1991), br. 4

Mrk.

ISKORIŠTENJE ENERGIJE VJETRA U KALIFORNIJI

Od početka osamdesetih godina Kalifornija je prednjačila u korištenju obnovljive energije. Ako se zbroji električna energija proizvedena u vjetroelektranama, solarnotermičkim, fotovoltaičkim, geotermičkim i elektranama koje rade na bazi biokonverzije, dobije se energija koja prelazi 10% proizvodnje električne energije u Kaliforniji.

Posebno su se brzo gradile vjetroelektrane od 1980. do 1985, dokad je država dotirala gradnju. Jedna četvrtina današnjih vjetroelektrana izgrađena je pak u razdoblju 1985–1990. U taj tip elektrana utrošeno je ukupno 2,5 milijarde US dolara. Ukupna proizvodnja električne energije iz energije vjetra iznosila je 1989. godine u svijetu ukupno 2 690 GWh. U kaliforniji je 1981. bilo 144 vjetroelektrana instalirane snage 7 MW, a 1989. 17 000 takvih elektrana ukupne instalirane snage 1 500 MW, koje godišnje proizvode oko 2 TWh električne energije. Energija iz vjetroelektrana postala je ekonomična zahvaljujući napretku tehnike, većoj proizvodnji i boljem održavanju.

Kalifornijske vjetroelektrane su u privatnom posjedu. Broj jedinica po vlasniku kreće se od njih nekoliko do nekoliko tisuća. Najveći parkovi vjetrenjača nalaze se na gorskim prevojima. No tri su najbrojnija, i to na prijevoju Altamont istočno od San Francisca, Tehachapi sjeverno od Los Angelesa i San Gorgonio istočno od Los Angelesa. Mogu se još

spomnjeni parkovi Sloano County i Pacheco, prijevoj jugoistočno od San Francisca. Najveći su Alomont i Tehachapi. Prvi spomenuti prijevoj ima izraženu formu lijevka i vrlo povoljni vjetar, pa je tu izgrađeno 7 388 vjetrenjača, 20 različitih vrsta, s promjerom rotora do 50 m i snaga 40 do 750 kW. Ukupna instalirana snaga iznosi 780 MW, a planira se da će do 1995. doseći 1 000 MW.

Park Tehachapi ima 4 500 vjetrenjača, izgrađen je na nadmorskoj visini 1524 m, a leži iznad pustinje Mojave. Instalirana snaga sviju vjetroelektrana iznosi 500 MW, a godišnja je proizvodnja otprilike 600 GWh. Nakon pojačanja prijenosnih veza moći će se godišnje iskoristiti 1 TWh. U parku su zastupana 24 različita tipa vjetrenjača dobavljenih iz 7 zemalja.

Većina ih je s horizontalnom osovinom, a samo 5% s vertikalnom (Darriens rotori).

Instalacijski troškovi uređaja smanjili su se od početnih 3 100 USD na 1 100 USD po kW. Danas proizvedeni kWh stoji 7 centi, a smatra se da će sredinom devedesetih pasti na 3 do 5 centi/kWh.

Energie, god. 43 (1991), br. 4

Mrk.

DIREKTNA PRETVORBA TOPLINE U ELEKTRIČNU ENERGIJU

Čini se da će direktna pretvorba topline u električnu energiju biti uspješno riješena uređajem što ga nazivaju toplinskom mašinom, premda nema nikakvih pokretnih dijelova. S obzirom na sastav uređaj je dobio ime Akali — Metal — Thermo — Electric — Converter (kratica MATEC). Uređaj radi u zatvorenom kružnom procesu, a natrij je radno sredstvo. Sastoji se od dviju komora visokog i niskog tlaka u ko-

jima se nalazi natrij u zasićenom stanju. Visok tlak iznosi 2,8 bara pri 1 000 °C, a niski 10^{-5} , bara i 300 °C. Komore su odijeljene keramičkim elektrolitom od beta-aluminijskog oksida. Natrijevi ioni mogu prolaziti kroz elektrolit uz uvjet da je moguća rekombinacija elektrona i iona. U tu je svrhu na visokotlačnoj strani elektrolit vezan s anodom da odvođi elektrone, a na niskotlačnoj s katodom radi rekombinacije. Struja koja teče između tih elektroda kroz neko trošilo procesom je dobivena električna energija. Pokretačka sila procesa jest potencijalna razlika natrija između obiju komora. Dovodjenjem topline djeluje se na visokotlačnoj strani, a odvođenjem na niskotlačnoj. Izvor topline može biti fosilno ili nuklearno gorivo, pa i solarno djelovanje. Odvođenje topline postiže se kondenzatorom hladnim vodom ili zrakom. Da se zatvori kružni proces, natrijev se kondenzat pomoću elektromagnetne crpke odvodi iz niskotlačne komore u visokotlačne.

Napon ćelije ovisan je o temperaturi i tlaku. Na primjer, pri temperaturama ćelija 1 000 °C i 300 °C napon iznosi 1,2 V, a pri optimalnom opterećenju od 1A/cm 1,0 V.

Idealni koeficijent iskorištenja bio bi 43%, no očekuje se da će se daljnjim razvojem postići 35%. Danas je međutim postignuto tek 20%.

Primjena opisanog toplinsko-električnog uređaja predviđena je pri decentraliziranom napajanju električnom energijom, u elektranama — toplanama, za čeine procese termoelektrana na ugljen itd.

Na razvoju ovakvih uređaja intenzivno se radi u Njemačkoj, SAD, Kanadi i Japanu, no do praktične realizacije treba još riješiti dosta problema. Glavni problemi proizlaze iz visoke pogonske temperature i visoke korozivnosti natrija. Osim toga, problem je i veza keramičkog elektrolita s metalnim elektrodama i sprečavanje gubitka topline.

Energie god. 43 (1991), br. 4

Mrk.

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

SAVJETOVANJE O MALIM HIDROELEKTRANAMA

U Nici (Francuska) je od 12. do 15. lipnja 1991. održana druga međunarodna konferencija i izložba pod naslovom »HIDROENERGIJA 1991«. Konferencija je organizirana pod pokroviteljstvom Evropske asocijacije za male hidroelektrane, Evropske ekonomske komisije, Ministarstva za industriju i Ministarstva za znanost i tehnologiju Francuske. Na savjetovanju je sudjelovalo više od 300 stručnjaka iz tridesetak zemalja Europe, Azije i Amerike (Sjeverne i Južne). Navest ćemo zemlje i broj sudionika: Francuska (184), Španjolska (38), Italija (21), Portugal (20), Njemačka (11), Engleska (9), Belgija (6), Jugoslavija (5), Grčka (4), Švedska (4), Finska (4), Švicarska (3), Kanada (3), Rumunjska (3), Irska (2), Norveška (2), Češkoslovačka (2), Vijetnam (2), Nizozemska (2), Argentina (1), Mozambik (1), Peru (1), Indija (1), Luksemburg (1), Madagaskar (1), Austrija (1), Mađarska (1) i Kina (1). Na savjetovanju obrađivano je pet tema. Prva tema (ukupno 37 referata) je obrađivala sljedeća područja:

- tekuća tehnika i tehnologija male hidroelektrane (mhe)
- postupci za odluku o izgradnji
- razvoj hidroenergetike
- kreiranje i razvoj baze podataka
- izgradnja (građevinski radovi) mhe
- elektro-strojarska oprema i standardizacija i
- upotreba nove opreme i materijala.

Za drugu nastavnu cjelinu pristiglo je 9 referata, a u njoj je obrađivana sljedeća problematika:

- ekološki aspekt izgradnje mhe
- ekonomsko-socijalne posljedice i
- smanjenje zagađenja.

Treća tema savjetovanja odnosno konferencije — za koju je bilo priređeno jedanaest referata — razmatrala je razvoj malih hidroelektrana u sklopu ukupnog razvoja elektroenergetskih sustava pojedinih zemalja, osobito zemalja Evropske ekonomske zajednice. Ova tema također je tretirala zakonsku regulativu, nezavisnu proizvodnju s obzirom na tehnička ograničenja priključka na mrežu, tarife itd. Obrađivana je i problematika lokalnih udruženja i izgradnje malih hidroelektrana.

Od ukupno 75 referata prezentiranih u zborniku savjetovanja 19 ih otpada na četvrtu temu. U toj četvrtoj temi, s pristiglih devetnaest referata, obrađivana su pojedina područja kao što su:

- istraživanje svjetskog tržišta te transfer europskog znanja i opreme
- uvjeti upotrebe malih hidroelektrana u razvijenim zemljama
- remont i održavanje.

Za petu temu nije pristigao nijedan referat, već je organiziran okrugli stol. U sklopu okruglog stola raspravljano je o ekonomici, investicijama i profitabilnosti malih hidroelektrana. Zbornik radova nalazi se u Institutu za elektroprivredu Zagreb (podaci u redakciji »Energije«) i onaj tko želi temeljitije pregledati navedenu materiju može to učiniti u svako doba.

A. S.

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 40 (1991)

Zagreb 1991

Br. 6

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

Ministarstvo znanosti, tehnologije i
informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Đuro Stanković, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Josip Antić, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Distribucija Rijeka — Anđelko Modrčin, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Rijeka — Anđelko Dujmović, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Proizvodnja, prijenos i distribucija Osijek — mr. Damir Subašić, dipl. inž., Ministarstvo energetike — 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.

Redakcija završena 1991 — 11 — 01

SADRŽAJ

Riječ glavnog urednika	360
Alerić S.: Metoda za izbor broja agregata (proizvodnih grupa) u hidroelektranama (Prethodno priopćenje)	363
Filipović V. — Drezga I.: Matematički model za određivanje osnovnih energetske karakteristika hidroelektrana (Izvorni znanstveni članak)	369
Vuković V.: Otok tri milje i Černobil (Pregledni članak)	375
Mikulecky A. — Čabrajac S.: Održavanje energetskih transformatora (Pregledni članak)	389
Višković A.: Razlozi analize turbogeneratorskog agregata u elektroenergetskom sistemu (Izvorni znanstveni članak)	399
Godec Z.: Kako iskoristiti toplinu transformatora (Pregledni članak)	409
Vijesti iz elektroprivrede	415
Iz strane stručne literature	417
Oglasi	421

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, Avenija Vukovar 37

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

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 240,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 600,00 dinara (za studente 120,00) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 90,00.

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

RIJEČ GLAVNOG UREDNIKA

Mimo običaja objavljujemo pismo upućeno glavnom uredniku iz Osijeka. Pismo je poslao dugogodišnji suradnik *Energije* kolega Marijan Kalea sada na dužnosti direktora prijenosnog područja Osijek.

Ako ovaj uvod odstupa od uobičajene prakse to je odraz vremena u kojem živimo, vremena dominacije rušilaštva i stradanja, kako u privatnom, tako i u profesionalnom životu.

Nadamo se da ćete iz pisma najbolje vidjeti što pošten čovjek i dobar stručnjak doživljava u sukobu dvaju svjetova, svijeta stvaranja i svijeta razaranja.

Neka ovo pismo posluži kao opomena svima koji misle da se tako nešto njima ne može dogoditi. I mi smo, naime, slično mislili još početkom ove godine.

U Osijeku, 07. 10. 1991.

Poštovani Zorko!

Još uvijek sam, zahvaljujući sreći, živ, zdrav i nerazrušenog doma. To i Vama od srca želim. Izbežumljen događajima, u čijem sam đavoljem gotovo središtu, odlučio sam da Vama i jednom nizu svojih dugogodišnjih elektroprivrednih suradnika napišem istovjetno pismo.

Dovoljno udaljen od Vukovara da mi je još do pisanja, a — opet — toliko blizu, te naprosto moram pisati.

Jutros, od ukupno 33 prijenosnih dalekovoda, čijim pogonom i održavanjem rukovodim izvan pogona je 16 dalekovoda. Dakle: polovina. Na ukupno 16 trafostanica, temeljita avionska i tenkovska uništenja postrojenja ima 5 objekata — dakle: trećina.

Srećom: ranjen nam je dosada samo jedan radnik, avionskim napadom na grupu radnika za vrijeme radova u vodnom polju 400 kV. Na drugom objektu, imamo rupe od metka na prozoru i komandnoj ploči koje — kada se međusobno povežu — prolaze mjestom gdje uobičajeno sjedi uklopničar. Čelični i zapaljivi meci su ispaljeni iz tenkovskog mitraljeza. Uklopničar se bio sakrio u kabelski kanal, s navučeni betonskim poklopcem iznad sebe.

Jednoj čistačici tenkovskim hicem pogođena je njezina kuća, u trenutku kada je ona bila šćućurena sa svoje dvoje djece i mužem u podrumu. Čitavi nizovi »Elektroslavonijskih« kuća na rubu Osijeka pogođeni su takvim hicima, u višekratnom sistematskom tenkovskom gađanju sa stotinjak metara daljine! Šef održavanja ostao je živ, jer baš u trenutku pogođenja nije bio u pogođenoj prostoriji. Inače, naišao je da obiđe kuću u kojoj ne boravi, nego je kod rodbine u sigurnijem dijelu grada.

Dva su radnika »Elektroslavonije« ostala bez svojih kćeri, jedan bez supruge, a jedan bez majke. Jednom će obje kćeri ostati invalidi. Jedan je poginuo. Elektrotehnički fakultet u Osijeku, gdje predajem Osnove elektrotehnike, ostao je bez dva mlada asistenta. U osječkoj općini svakih 500-tih stanovnik izgubio je život, a na svakih 10 građana jedan je pridošli izbjeglica. Jedna žena spava s nama u podrumu, a za jednog muškarca pripremio sam vrećicu s toplijom odjećom.

Gimnazija, koju su pohađala dva naša nobelovca — Ružička i Prelog — ima veliku rupu na stoljetnoj fasadi, a Poljoprivredni fakultet i institut

praktično su razrušeni. Zgrada osječkog kazališta je pogođena. Katedrala na nebrojeno mjesta. Biblioteka.

Ovaj čas pogoci su usmjereni u dio grada u kojem živim. Tresu se prozori, podrhtavaju zidovi i stropovi. Ponoć je 7/8. listopada 1991. godine. Da li da budim suprugu, majku i sina, te da se zaputimo u podrum? Željni su sna u pravom krevetu. Moja 86-godišnja majka ima razbijenu glavu; pala je pri silasku stepeništem, za zračne uzbune. Kćer mi je izbjegla kod prijatelja, koji je to ponudio nakon daljskog pokolja. Trepti svjetlo. Uspješno ili bezuspješno automatsko ponovno uključenje? Radio-Osijek prekida program, ali nakon minute ponovo nastavlja. Vjerojatno, poslije starta diesel-agregata. Četrnaesti dalekovod ili šesto postrojenje izvan pogona? Smetnje emisije Radio-Osijeka stalnim zujanjem. Opet minobacački projektil. Od spominjanja da je ponoć, do sada je prošlo 12 minuta.

Supruga mi danas kaže, kada sam se, u sumrak vratio s posla — tri puta je bila zračna uzbuna — da je našem prijatelju iz susjedne kuće obećala otrov za štakore. Zna da ga imamo, ali ne zna gdje ga držim. Ako navečer bude mirno, doći će po to k nama. Dućani su u to vrijeme zatvoreni.

Možete li vjerovati da nam za takve svrhe, to jest da podrumski prostor obranimo doslovno neposredno za sebe, treba otrov za štakore? Ili da mi je prozor, kroz kojeg sada osluškujem pucnjeve sa strepnjom, totalno zamračen? Da po stanu držim raznovrsne posude napunjene vodom? Da sam važnije osobne dokumente svakog člana obitelji, umotao i ulijepio u plasničku foliju, te sklonio u podrum? Da znam kako ne mogu ništa učiniti za spas svojih brojnih knjiga i spisa, te da će — možda — izgorjeti, a u nekima je potpis i posveta već pokojnog autora.

Ako se u predstojećem vremenu sve veze s mojim gradom i mojim krajem prekinu, a ja ostanem živ, zamišljajte me — iz svoje daljine — nad shemom mreže s markiranim linijama koje su izvan pogona, uz stanjenu listu još preostalih rezervnih dijelova i — nadam se — sa što brojnijom grupom svojih suradnika i naših radnika, koji sa stisnutim usnama čekaju da ocijenimo na što da idemo, da bi nam nakon sat ili dva to opet bilo izbačeno iz pogona. Opet bez svjetla, vode, radio-emisije, bez svakog električnog pogona.

S nestvarnim prisjećanjem na brojne trenutke u kojima smo zamišljali i promicali sasvim drugačije planove, pozdravljam Vas s poštovanjem

Marijan Kalea

A WORD FROM THE EDITOR IN CHIEF

In a departure from normal practice we are publishing a letter received by the editor in chief in Osijek. The letter was sent from a long standing associate of ENERGIJA, our colleague Marijan Kalea, who is currently the Director of the Osijek transmission facilities.

If this form of introduction is something new to standard practice then it is a reflection of the times in which we live, times of destruction and unmitigated suffering — as is heppening in private life as well as in professional life.

It is to be hoped that the letter will illustrate in the best possible way what an honest man and a dedicated professional undergoes when caught up in a violent confrontation between two diametrically opposed worlds — the world of creation and the world of nullification.

This letter should serve as a salutary warning to all those who think that something like this could never happen to them.

Our thoughts began to follow a smililar train as early as the beginning of this year.

Osijek, 7 October 1991

Dear Zorko,

Thanks only to sheer luck I am still alive, healthy and with a home that is still standing. And with all my heart I trust that things are the same with you. Driven frantic by the turn of events and finding myself almost in the hellish centre of this maelstrom, I have decided write to you and to send an identical letter to a number of my long standing associates in the electrical industry.

I am far enough away from Vukovar to still have the will to write, but yet so close that I feel that I simply must write.

As of this morning, of a total of 33 transmission lines for whose operation and maintenance I am responsible, 16 are out of commission; in other words, 50% of them. Of that total of 16, the equipment in 5 substations has suffered total destruction inflicted when attacked by war planes and tanks; in other words, one-third.

Up to now we have been fortunate in that only one man has been wounded — this happened during an air attack on a group of our people while they were working on the 400 kV line network. At another facility, bullets were fired through a window and a control panel. They passed through an area of the work place normally occupied by the switch operator. Steel and incendiary rounds were fired from a tank mounted machine-gun. The operator had hidden in a cable duct with a concrete lid pulled over it for protection.

The house of one of our cleaning ladies was fired on and struck by a tank when she was shelterin in her cellar, together with her husband and two children. Entire rows of houses belonging to ELEKTROSLAVONIA, situated on the outskirts of Osijek, have been ravaged by tankes which have carried out systematic and savage attacks on the houses on a number of occasions from a range of just a hundred metres! The Maintenance Chief survived only because, at the time of an attack, he happened not to be in a room that was hit. He was in the house merely to check on it; he was not actually living in it at the time, having chosen to stay with relatives in a safer part of town.

Two ELEKTROSLAVONIA warkers lost their daughters; one is a widower, the other has lost his mother also. One man's daughters are now invalids, both of them. One man is dead. The Faculty of Electrical Engineering in Osijek, where I am teaching basic elekctrical engineering, has lost two of its young assistants. For every 500 citizens of Osijek, one has been killed; and for every ten citizens there is a refugee. One refugee, a woman, is sleeping with us in our cellar, and I have just put together a bag of warm clothing for one of the men.

The Osijek Gymnasium, which produced two of our Nobel Prize winners — Ruzicka and Prelog — now has a gaping hole in its hundred-year-old facade; and the Faculty and Institute of Agriculture have been practically demolished. The Osijek Theatre has been hit and so hat the Cathedral — an innumerable amount of times. Our Library also.

Right now, shells are being aimed at the part of town in which I am living. Windows are rattling, walls and ceilings are shuddering. It is now midnight on 7 October 1991. Should I rouse my wife, my mother and son? Should we go to the cellar? They are so in need of a night's sleep in a proper bed. My 86-year-old mother has injured her head; she fell when she was going down the cellar stairs after an air raid warning sounded. My daughter sought and found refuge with her friends. They offered her shelter after the massacre in Dalj. My light is flickering. Another successful (or unsuccessful) switching on? Radio Osijek programmes were interrupted by they resumed after a minute — probably after they had started up their diesel generator. The fourteenth overhead transmission line or the sixth substation out of commission. And now the staccato sound of machine-gun fire from my part of town. Another mortar shell has hit the town. And there's another one. Radio Osijek programmes are constantly disrupted by a buzzing noise. And another mortar shell. Just twelve minutes have passed since I said that it was midnight.

When I came home from work at dusk today, my wife told me — there have been three air raid warnings — that she has promised our friend from a neighbouring house some rat poison. My wife knows we have some but does not know where I keep it. If the evening is quiet enough he will come and collect it. You see, at that time, the shops are closed.

Can you believe that the reason we need rat poison is so that we can use our cellars to live in? Or that my window, through which I am listening to the gun fire beyond it with such trepidation, is totally blacked out? Or that I am keeping all sorts of containers filled with water all around my flat? Or that I have packed all the important documents of each member of the family, sealing them in plastic foil and hiding them in the cellar? Or that I can do nothing to save my many books and papers, that they may all be burned to a cinder — and some of them bear the signatures and inscriptions of a good number of authors now dead.

Should it so happen in the days to come that all links with my town and its region be severed, and should I remain alive, please think of me — from your removed distance — as bending over the charts and plans of well-marked inoperative transmission lines, with a vastly reduced stock of remaining spare parts and, Oh, I do so hope, with as numerous a group as possible of my associates and fellow-workers waitin — albeit with grimly tight lips — for assessments as to the next step to take, only to have it knocked out again in an hour or two. And to be again without light, water, radio programmes, without any electrical power.

With an unreal recollection of the many moments in which we have been formulating and realizing some quite different plans, I send you my sincere greetings.

Marijan Kalea

RIJEČ GLAVNOG UREDNIKA

Mimo običaja objavljujemo pismo upućeno glavnom uredniku iz Osijeka. Pismo je poslao dugogodišnji suradnik *Energije* kolega Marijan Kalea sada na dužnosti direktora prijenosnog područja Osijek.

Ako ovaj uvod odstupa od uobičajene prakse to je odraz vremena u kojem živimo, vremena dominacije rušilaštva i stradanja, kako u privatnom, tako i u profesionalnom životu.

Nadamo se da ćete iz pisma najbolje vidjeti što pošten čovjek i dobar stručnjak doživljava u sukobu dvaju svjetova, svijeta stvaranja i svijeta razaranja.

Neka ovo pismo posluži kao opomena svima koji misle da se tako nešto njima ne može dogoditi. I mi smo, naime, slično mislili još početkom ove godine.

U Osijeku, 07. 10. 1991.

Poštovani Zorko!

Još uvijek sam, zahvaljujući sreći, živ, zdrav i nerazrušenog doma. To i Vama od srca želim. Izbežumljen događajima, u čijem sam đavoljem gotovo središtu, odlučio sam da Vama i jednom nizu svojih dugogodišnjih elektroprivrednih suradnika napišem istovjetno pismo.

Dovoljno udaljen od Vukovara da mi je još do pisanja, a — opet — toliko blizu, te naprosto moram pisati.

Jutros, od ukupno 33 prijenosnih dalekovoda, čijim pogonom i održavanjem rukovodim izvan pogona je 16 dalekovoda. Dakle: polovina. Na ukupno 16 trafostanica, temeljita avionska i tenkovska uništenja postrojenja ima 5 objekata — dakle: trećina.

Srećom: ranjen nam je dosada samo jedan radnik, avionskim napadom na grupu radnika za vrijeme radova u vodnom polju 400 kV. Na drugom objektu, imamo rupe od metka na prozoru i komandnoj ploči koje — kada se međusobno povežu — prolaze mjestom gdje uobičajeno sjedi uklopničar. Čelični i zapaljivi meci su ispaljeni iz tenkovskog mitraljeza. Uklopničar se bio sakrio u kabelski kanal, s navučenim betonskim poklopcem iznad sebe.

Jednoj čistačici tenkovskim hicem pogođena je njezina kuća, u trenutku kada je ona bila šćućurena sa svoje dvoje djece i mužem u podrumu. Čitavi nizovi »Elektroslavonijskih« kuća na rubu Osijeka pogođeni su takvim hicima, u višekratnom sistematskom tenkovskom gađanju sa stotinjak metara daljine! Šef održavanja ostao je živ, jer baš u trenutku pogođenja nije bio u pogođenoj prostoriji. Inače, naišao je da obiđe kuću u kojoj ne boravi, nego je kod rodbine u sigurnijem dijelu grada.

Dva su radnika »Elektroslavonije« ostala bez svojih kćeri, jedan bez supruge, a jedan bez majke. Jednom će obje kćeri ostati invalidi. Jedan je poginuo. Elektrotehnički fakultet u Osijeku, gdje predajem Osnove elektrotehnike, ostao je bez dva mlada asistenta. U osječkoj općini svakih 500-tih stanovnik izgubio je život, a na svakih 10 građana jedan je pridošli izbjeglica. Jedna žena spava s nama u podrumu, a za jednog muškarca pripremio sam vrećicu s toplijom odjećom.

Gimnazija, koju su pohađala dva naša nobelovca — Ružička i Prelog — ima veliku rupu na stoljetnoj fasadi, a Poljoprivredni fakultet i institut

praktično su razrušeni. Zgrada osječkog kazališta je pogođena. Katedrala na nebrojeno mjesta. Biblioteka.

Ovaj čas pogoci su usmjereni u dio grada u kojem živim. Tresu se prozori, podrhtavaju zidovi i stropovi. Ponoć je 7/8. listopada 1991. godine. Da li da budim suprugu, majku i sina, te da se zaputimo u podrum? Željni su sna u pravom krevetu. Moja 86-godišnja majka ima razbijenu glavu; pala je pri silasku stepeništem, za zračne uzbune. Kćer mi je izbjegla kod prijatelja, koji je to ponudio nakon daljskog pokolja. Trepti svjetlo. Uspješno ili bezuspješno automatsko ponovno uključenje? Radio-Osijek prekida program, ali nakon minute ponovo nastavlja. Vjerojatno, poslije starta diesel-agregata. Četrnaesti dalekovod ili šesto postrojenje izvan pogona? Smetnje emisije Radio-Osijeka stalnim zujanjem. Opet minobacački projektil. Od spominjanja da je ponoć, do sada je prošlo 12 minuta.

Supruga mi danas kaže, kada sam se, u sumrak vratio s posla — tri puta je bila zračna uzbuna — da je našem prijatelju iz susjedne kuće obećala otrov za štakore. Zna da ga imamo, ali ne zna gdje ga držim. Ako navečer bude mirno, doći će po to k nama. Dućani su u to vrijeme zatvoreni.

Možete li vjerovati da nam za takve svrhe, to jest da podrumski prostor obranimo doslovno neposredno za sebe, treba otrov za štakore? Ili da mi je prozor, kroz kojeg sada osluškujem pucnjeve sa strepnjom, totalno zamračen? Da po stanu držim raznovrsne posude napunjene vodom? Da sam važnije osobne dokumente svakog člana obitelji, umotao i ulijepio u plasničku foliju, te sklonio u podrum? Da znam kako ne mogu ništa učiniti za spas svojih brojnih knjiga i spisa, te da će — možda — izgorjeti, a u nekima je potpis i posveta već pokojnog autora.

Ako se u predstojećem vremenu sve veze s mojim gradom i mojim krajem prekinu, a ja ostanem živ, zamišljajte me — iz svoje daljine — nad shemom mreže s markiranim linijama koje su izvan pogona, uz stanjenu listu još preostalih rezervnih dijelova i — nadam se — sa što brojnijom grupom svojih suradnika i naših radnika, koji sa stisnutim usnama čekaju da ocijenimo na što da idemo, da bi nam nakon sat ili dva to opet bilo izbačeno iz pogona. Opet bez svjetla, vode, radio-emisije, bez svakog električnog pogona.

S nestvarnim prisjećanjem na brojne trenutke u kojima smo zamišljali i promicali sasvim drugačije planove, pozdravljam Vas s poštovanjem

Marijan Kalea

A WORD FROM THE EDITOR IN CHIEF

In a departure from normal practice we are publishing a letter received by the editor in chief in Osijek. The letter was sent from a long standing associate of ENERGIJA, our colleague Marijan Kalea, who is currently the Director of the Osijek transmission facilities.

If this form of introduction is something new to standard practice then it is a reflection of the times in which we live, times of destruction and unmitigated suffering — as is happening in private life as well as in professional life.

It is to be hoped that the letter will illustrate in the best possible way what an honest man and a dedicated professional undergoes when caught up in a violent confrontation between two diametrically opposed worlds — the world of creation and the world of nullification.

This letter should serve as a salutary warning to all those who think that something like this could never happen to them.

Our thoughts began to follow a similar train as early as the beginning of this year.

Osijek, 7 October 1991

Dear Zorko,

Thanks only to sheer luck I am still alive, healthy and with a home that is still standing. And with all my heart I trust that things are the same with you. Driven frantic by the turn of events and finding myself almost in the hellish centre of this maelstrom, I have decided write to you and to send an identical letter to a number of my long standing associates in the electrical industry.

I am far enough away from Vukovar to still have the will to write, but yet so close that I feel that I simply must write.

As of this morning, of a total of 33 transmission lines for whose operation and maintenance I am responsible, 16 are out of commission; in other words, 50% of them. Of that total of 16, the equipment in 5 substations has suffered total destruction inflicted when attacked by war planes and tanks; in other words, one-third.

Up to now we have been fortunate in that only one man has been wounded — this happened during an air attack on a group of our people while they were working on the 400 kV line network. At another facility, bullets were fired through a window and a control panel. They passed through an area of the work place normally occupied by the switch operator. Steel and incendiary rounds were fired from a tank mounted machine-gun. The operator had hidden in a cable duct with a concrete lid pulled over it for protection.

The house of one of our cleaning ladies was fired on and struck by a tank when she was sheltering in her cellar, together with her husband and two children. Entire rows of houses belonging to ELEKTROSLAVONIA, situated on the outskirts of Osijek, have been ravaged by tanks which have carried out systematic and savage attacks on the houses on a number of occasions from a range of just a hundred metres! The Maintenance Chief survived only because, at the time of an attack, he happened not to be in a room that was hit. He was in the house merely to check on it; he was not actually living in it at the time, having chosen to stay with relatives in a safer part of town.

Two ELEKTROSLAVONIA workers lost their daughters; one is a widower, the other has lost his mother also. One man's daughters are now invalids, both of them. One man is dead. The Faculty of Electrical Engineering in Osijek, where I am teaching basic electrical engineering, has lost two of its young assistants. For every 500 citizens of Osijek, one has been killed; and for every ten citizens there is a refugee. One refugee, a woman, is sleeping with us in our cellar, and I have just put together a bag of warm clothing for one of the men.

The Osijek Gymnasium, which produced two of our Nobel Prize winners — Ruzicka and Prelog — now has a gaping hole in its hundred-year-old facade; and the Faculty and Institute of Agriculture have been practically demolished. The Osijek Theatre has been hit and so has the Cathedral — an innumerable amount of times. Our Library also.

Right now, shells are being aimed at the part of town in which I am living. Windows are rattling, walls and ceilings are shuddering. It is now midnight on 7 October 1991. Should I rouse my wife, my mother and son? Should we go to the cellar? They are so in need of a night's sleep in a proper bed. My 86-year-old mother has injured her head; she fell when she was going down the cellar stairs after an air raid warning sounded. My daughter sought and found refuge with her friends. They offered her shelter after the massacre in Dalj. My light is flickering. Another successful (or unsuccessful) switching on? Radio Osijek programmes were interrupted by they resumed after a minute — probably after they had started up their diesel generator. The fourteenth overhead transmission line or the sixth substation out of commission. And now the staccato sound of machine-gun fire from my part of town. Another mortar shell has hit the town. And there's another one. Radio Osijek programmes are constantly disrupted by a buzzing noise. And another mortar shell. Just twelve minutes have passed since I said that it was midnight.

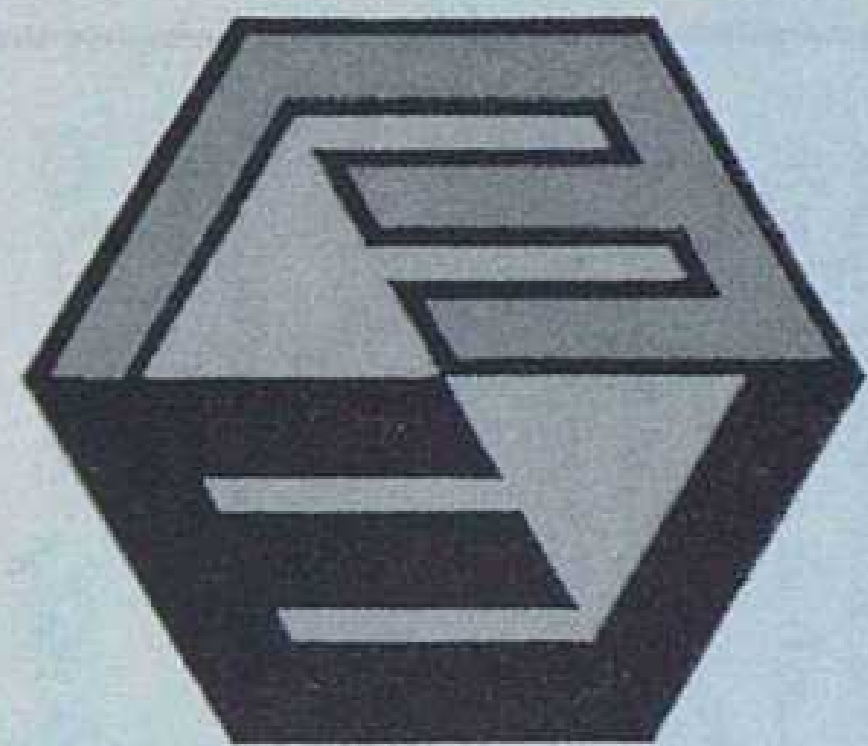
When I came home from work at dusk today, my wife told me — there have been three air raid warnings — that she has promised our friend from a neighbouring house some rat poison. My wife knows we have some but does not know where I keep it. If the evening is quiet enough he will come and collect it. You see, at that time, the shops are closed.

Can you believe that the reason we need rat poison is so that we can use our cellars to live in? Or that my window, through which I am listening to the gun fire beyond it with such trepidation, is totally blacked out? Or that I am keeping all sorts of containers filled with water all around my flat? Or that I have packed all the important documents of each member of the family, sealing them in plastic foil and hiding them in the cellar? Or that I can do nothing to save my many books and papers, that they may all be burned to a cinder — and some of them bear the signatures and inscriptions of a good number of authors now dead.

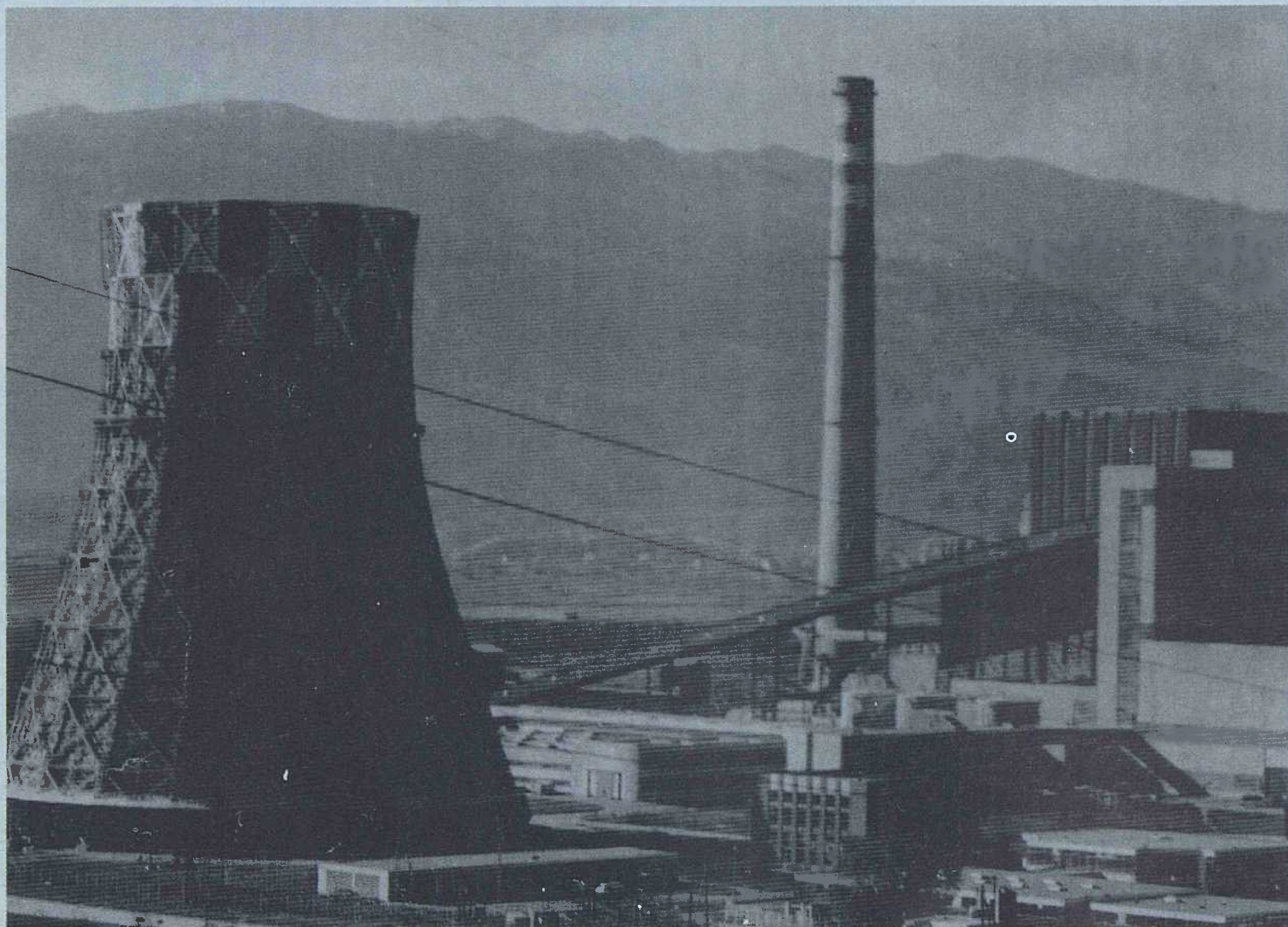
Should it so happen in the days to come that all links with my town and its region be severed, and should I remain alive, please think of me — from your removed distance — as bending over the charts and plans of well-marked inoperative transmission lines, with a vastly reduced stock of remaining spare parts and, Oh, I do so hope, with as numerous a group as possible of my associates and fellow-workers waiting — albeit with grimly tight lips — for assessments as to the next step to take, only to have it knocked out again in an hour or two. And to be again without light, water, radio programmes, without any electrical power.

With an unreal recollection of the many moments in which we have been formulating and realizing some quite different plans, I send you my sincere greetings.

Marijan Kalea



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 turbogeneratora 300 MW, 1989. godine.

METODA ZA IZBOR BROJA AGREGATA (PROIZVODNIH GRUPA) U HIDROELEKTRANAMA

Mr. Slavko Alerić, Zagreb

UDK 621.311.21

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Prikazana je metoda za izbor broja agregata u hidroelektranama. Izbor je baziran na nekoliko utjecajnih faktora, odnosno kriterija, koji se energetske-ekonomski valoriziraju. Na kraju se sve uštede (koristi) i troškovi aktualiziraju u vijeku trajanja elektrane, te se lako uočava prednost izgradnje jedne varijante u odnosu prema drugoj.

Ključne riječi: hidroelektrana, proizvodna grupa, energija, vjerojatnost.

1. UVOD

Poznato je da hidroelektrane proizvode električnu energiju, a da za nju praktički ništa ne troše (troškovi goriva 0) i da je to s ekološkog stajališta danas najčišći oblik energije. Vodne snage, budući da su obnovljivi izvori energije, potrebno je što prije privesti iskorištenju i realizaciji. Istina, hidroenergetska postrojenja su investicijski skuplja od npr. klasičnih termoelektrana, međutim, zbog dužeg vijeka trajanja (50 i više godina) i niske proizvodne cijene (i »čiste energije« ne zagađuju okolinu) njihova je izgradnja energetske-ekonomski opravdana.

2. MOGUĆA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HE

Moguća proizvodnja električne energije neke hidroelektrane njen je glavni i osnovni pokazatelj.

O mogućoj proizvodnji električne energije u hidroelektranama napisano je i objavljeno mnogo članaka, referata, elaborata, studija i knjiga, a ovdje će se ukratko spomenuti osnovna načela. Osnovna odrednica u proračunu moguće proizvodnje hidroelektrana jest da se postigne što više varijabilne energije s najvećom snagom u najkraćem vremenu, ali da ne dođe do preljeva.

Na upravo spomenutom načelu načinjeni su programski paketi za elektroničko računalo (moguća proizvodnja hidroelektrana se računa za dugi hidrološki niz podataka — 40 godina — te s različitim osnovnom vremenskom jedinicom dan, tjedan, dekada ili mjesec) koji uvažavaju i druga ograničenja, npr. biološki minimum, te sve druge specifičnosti koje se postavljaju određenom hidroenergetskom objektu. Moguća proizvodnja električne energije hidroelektrana — kako je već rečeno — predstavlja osnovni parametar u kome su sadržane praktički sve pojedinosti, počevši od izdašnosti vodotoka, topografskih karakteristika i karakteristika agregata. Zato se prora-

čunu moguće proizvodnje hidroelektrana pridaje velika i dužna pažnja.

3. KRITERIJI ZA IZBOR BROJA AGREGATA U HE

Nakon odabrane veličine izgradnje (Q_i odnosno P_i) neke hidroelektrane slijedeći logični korak je izbor broja proizvodnih grupa. Isto tako kao što je potrebno i važno pravilno odrediti veličinu izgradnje neke hidroelektrane, vrlo je važno odabrati i najpovoljniji broj proizvodnih grupa. Veličina izgradnje hidroelektrane određuje se iscrpnom i sveobuhvatnom energetske-ekonomskom analizom u elektroenergetskom sustavu, a isto tako treba provesti i energetske-ekonomsku analizu izbora, broja proizvodnih grupa. Mora se reći da mnogi utjecajni faktori uvjetuju izbor broja i veličine proizvodnih grupa u hidroelektrani. Utjecajni faktori ili kriteriji vrednovanja jedne, dviju ili više proizvodnih grupa u hidroelektrani jesu:

- 3.1. — granična snaga s obzirom na tehnološke mogućnosti izrade
- 3.2. — hidrološki odnosi iskorištenja vodne snage i uloge elektrane u sustavu
- 3.3. — uvjeti elektroenergetskog sustava s uključenim proizvodnim grupama
- 3.4. — potrebna rezervna snaga u elektroenergetskom sustavu
- 3.5. — uvjeti transporta
- 3.6. — unifikacija proizvodnih grupa
- 3.7. — razlika proizvodnje u funkciji stupnja djelovanja
- 3.8. — osiguranje biološkog minimuma (vodoprivredni zahtjevi)
- 3.9. — vjerojatnost ispada (raspoloživost za pogon) — gubitak energije
- 3.10. — gubitak energije zbog remonta
- 3.11. — visina investicija za jedan, dva ili više agregata.

Nabrojani neki utjecajni faktori ili kriteriji za izbor proizvodnih grupa u hidroelektrani ne mogu se energetsko-ekonomski valorizirati, npr. kriterij 3.1. i 3.5. Ako elektrostojogradnja nije u mogućnosti izgraditi tako veliku snagu, onda se jasno mora ići na veći broj manjih jedinica. Makar u posljednje vrijeme industrija gradi vrlo velike snage — do 1 000 MW. Isto tako, ograničenje zbog transporta (kriterij 3.5) može biti vrlo značajan za izbor veličine agregata. Ako su transportni putovi ograničeni s obzirom na gabarite postrojenja i težine, to se svakako mora uzeti u obzir. Ako se ipak odluči za velike agregate, onda se mora uzeti rješenje s višedijelnim spiralama koje se zatvaraju (spajaju) na lokaciji HE (gradilištu). Transport generatora je u tom slučaju odvojen, tj. transportira se u više dijelova (stator, rotor, namot).

Kriterij 3.2. Hidrološki odnosi iskorištenja vodne snage i uloge elektrane u sustavu

Pod ovim kriterijem razumijevamo iskorištenje vodnih snaga (protoka) u kojem svakako treba voditi brigu o tome da se iz raspoložive količine vode proizvede što više električne energije. Veće jedinice redovito imaju i veći (bolji) stupanj djelovanja. Međutim, ako je vodotok bujičav, tj. s velikim oscilacijama protoka, i ako nema akumulaciju za regulaciju protoka, ili je ona vrlo malena pa se pred agregate postavlja zahtjev da preraduju i male vode, korisno je ići na veći broj manjih jedinica.

Kriterij 3.3. Uvjeti elektroenergetskog sustava s uključenim proizvodnim grupama

U literaturi se može naći, a i energetsko-ekonomskim analizama odrediti najpovoljnija veličina jedinica s obzirom na »veličinu« elektroenergetskog sustava. Tako se u literaturi nalazi podatak da je optimalna snaga jedinice 5–10 odnosno 8% od maksimalnog opterećenja.

Kriterij 3.4. Potrebna rezervna snaga u elektroenergetskom sustavu

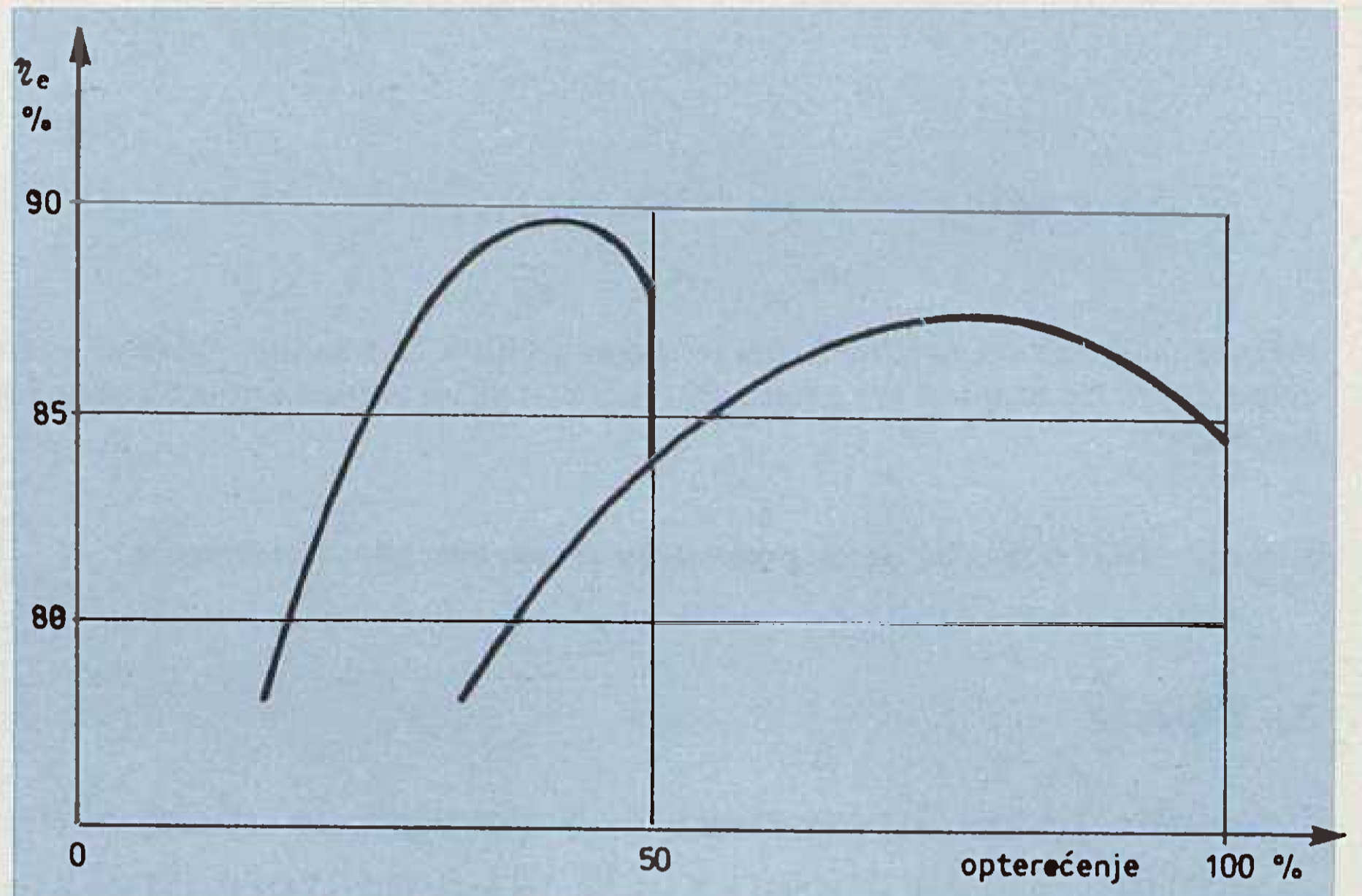
Glede rezervne snage u elektroenergetskom sustavu, ona je (bar kod nas danas) veoma nedefinirana. Naime, pod pojmom rezervne snage kriju se najmanje tri (regulacijska, rotirajuća i hladna). Ovo je problem koji bi, svakako, trebalo temeljito i potanko obraditi. Istina problem rezerve izlazi iz okvira ovoga članka. Međutim, temeljna odrednica određivanja rezerve u sustavu bi svakako trebala biti da bude minimalna i dovoljna.

Kriterij 3.6. Unifikacija proizvodnih grupa

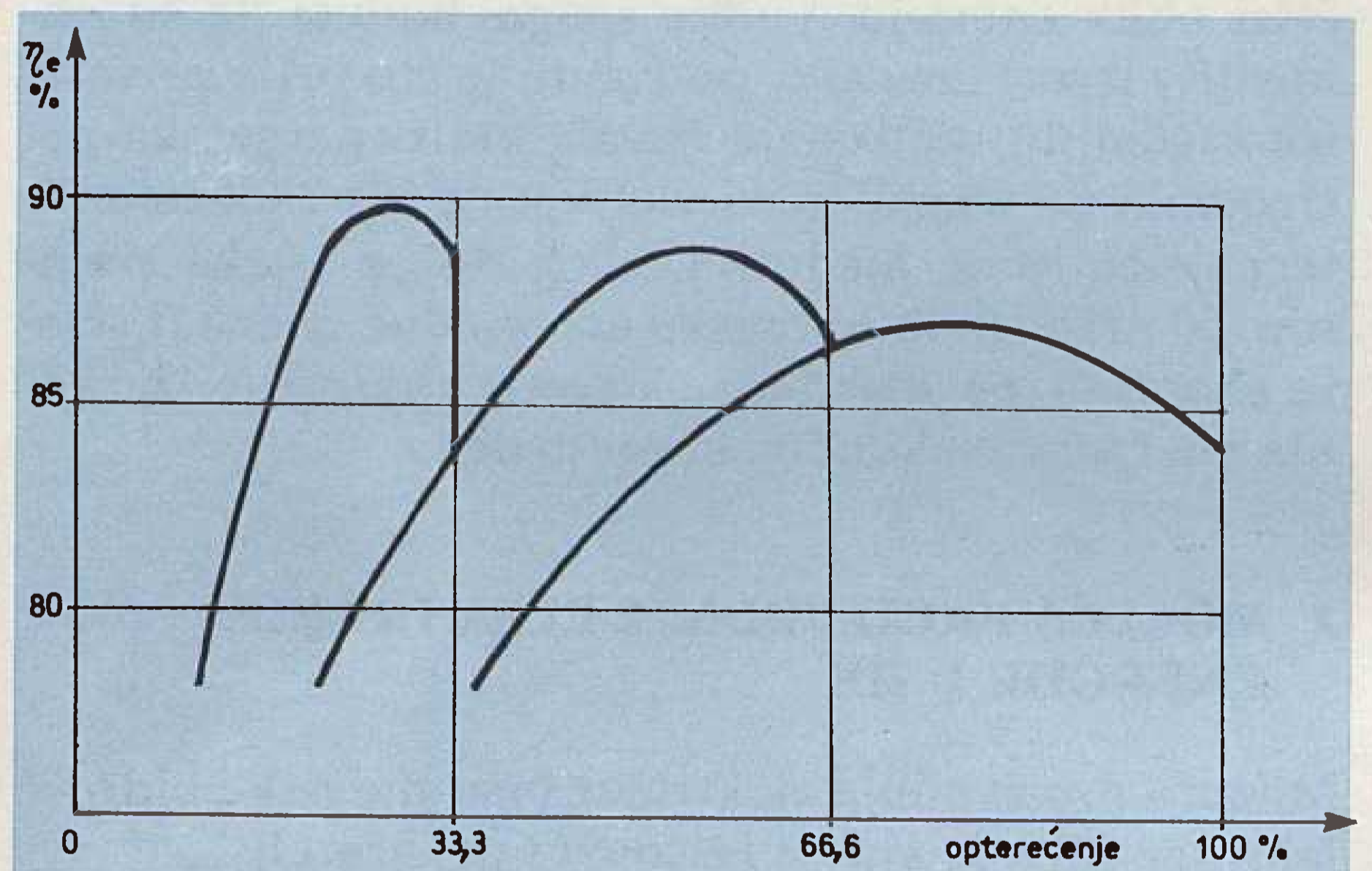
Svakako da treba težiti unifikaciji i standardizaciji opreme jer se mogu postići znatne uštede. Izgradnja hidroelektrana na nekom vodotoku može se znatno unificirati, a uštede se postižu na projektiranju i konstrukciji.

Kriterij 3.7. Razlika proizvodnje u funkciji stupnja djelovanja

Metodom za točnije izračunavanje moguće proizvodnje (uzima u obzir sve relevantne faktore) hidroelektrana moguće je odrediti realnu proizvodnju, pogotovo ako se računa sa srednjim dnevnim protocima. Na sl. 1a i sl. 1b prikazan je stupanj djelovanja elektrane s dvije odnosno tri proizvodne grupe. Naravno, u oba slučaja ista je instalirana snaga — isti instalirani protok.



Slika 1.a



Slika 1.b

Kriterij 3.8. Osiguranje biološkog minimuma (vodoprivredni zahtjevi)

U nekim slučajevima (u posljednje vrijeme sve više) postavlja se zahtjev od Vodoprivrede ili DPZ da se u svakom trenutku mora osigurati određena količina vode nizvodno od pregradnog mjesta ili lokacije hidroelektrane. Ta količina zove se biološki minimum, koji može poslužiti u različite svrhe (vodovod, ribogojstvo, zaštita korita rijeke od erozije i dr.). Zato pri određivanju odnosno valorizacije proizvodnih grupa treba uzeti u obzir i ovaj kriterij (ili ga eliminirati, ako se ovaj zahtjev rješava posebnom grupom).

Kriterij 3.9. Vjerojatnost ispada (raspoloživost za pogon) odnosno vjerojatnost pojave kvara agregata

Budući da je ispad elektrane ili njezina dijela slučajni događaj, to se za ovu svrhu upotrebljava teorija

statističke vjerojatnosti. Za ovu analizu potrebno je najprije poznavati pojedinačne vjerojatnosti ispada elektrane ili njezina dijela, u ovom slučaju agregata, a tek onda prikladnim matematičko-statističkim algoritmom obraditi te slučajne događaje. Odmah se nameće misao da je potrebno formirati funkciju distribucije neplaniranih ispada jednog, dvaju ili više agregata. S obzirom na to da ispad jednog agregata ne ovisi o ispadu drugog agregata, može se računati funkcija distribucije upotrebom rekurzivne formule koja je slična binomnoj distribuciji (raspodjeli). Funkcija distribucije formira se sukcesivnim uključivanjem u račun jedne po jedne elektrane (agregata). Radi ilustracije navest ćemo jedan primjer. U tablici 1 navedeni su podaci s kojima će se ilustrirati formiranje funkcije distribucije, a u tabl. 2 navest će se rezultati.

Tablica 1.

Broj elektrane	Snaga MW	Vjerojatnost elektrane da je	
		spособna (p)	nesposobna (q)
1	200	0,80	0,20
2	200	0,80	0,20
3	100	0,90	0,10

Uočljivo je da je suma vjerojatnosti $p + q = 1$, što je i normalno, jer elektrana samo i može biti u ta dva stanja ili da je sposobna za pogon, vjerojatnost p , odnosno nesposobna za pogon (kvar), vjerojatnost q . Formiranje funkcije distribucije počinje uključivanjem u sistem elektrane broj 1 iz tabl. 1. Funkcija distribucije za taj slučaj opisana je s vjerojatnosnim stanjima elektrane 1. Dakle, kada je elektrana broj 1 sposobna za pogon, snaga izvan pogona jednaka je nuli, a vjerojatnost toga događaja je $P_1(0)$ koja je jednaka vjerojatnosti da je elektrana broj 1 sposobna za pogon $P_1(0) = 0,80$.

U drugom slučaju, kada elektrana broj 1 nije sposobna za pogon — snaga izvan pogona jednaka je instaliranoj snazi elektrane broj 1, znači 200 MW — a pripadna vjerojatnost toga događaja je

$$P_1(200) = 0,20.$$

Funkcija distribucije — kada je samo elektrana broj 1 u sustavu — prikazana je u tabl. 2 kolona 2.

Promatra li se sustav s dvije elektrane, potrebno je proračunati sva moguća stanja (kombinacije) u kojima se može naći elektrana broj 1 i elektrana broj 2. Naravno, nadovezujući se na prethodni korak, kada je u sustavu promatrana samo elektrana broj 1, kada su obje elektrane sposobne za pogon, snaga izvan pogona, X (MW) bit će jednaka nuli, a pripadna vjerojatnost toga događaja dobiva se produktom vjerojatnosti koje karakteriziraju pojedinačne događaje, dakle:

$$\begin{aligned} P_2(0) &= P_1(0) \cdot p_2 = \\ &= 0,80 \cdot 0,80 = 0,64, \end{aligned}$$

gdje je:

$P_2(X)$ — vjerojatnost da će X MW biti izvan pogona u sustavu s dvije elektrane

$P_1(X)$ — vjerojatnost da će X MW biti izvan pogona u sustavu s jednom elektranom

p_2 — vjerojatnost da je elektrana broj 2 sposobna za pogon.

Sljedeća dva moguća događaja rezultiraju 200 MW izvan pogona (iste instalirane snage elektrane broj 1 i broj 2): elektrana broj 1 izvan pogona, elektrana broj 2 u pogonu; i elektrana broj 1 u pogonu, a elektrana broj 2 izvan pogona. Vjerojatnost tih događaja je:

$$\begin{aligned} P_2(200) &= P_1(200) \cdot p_2 + P_1(0) \cdot q_2 = \\ &= 0,2 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 0,2 = 0,32, \end{aligned}$$

dok je vjerojatnost da obje elektrane budu izvan pogona (400 MW):

$$\begin{aligned} P_2(400) &= P_1(200) \cdot q_2 = \\ &= 0,2 \cdot 0,2 = 0,04. \end{aligned}$$

Funkcija distribucije neplaniranih ispada za dvije elektrane prikazana je u koloni 3 tabl. 2.

Uključivanje elektrane broj 3 u sustav provodi se na upravo opisani način, a rezultat proračuna funkcije distribucije kada se promatraju tri elektrane u sustavu prikazan je u koloni 4 tabl. 2.

Opći oblik rekurzivne formule za dodavanje bilo kojeg broja elektrana je:

$$P_n(y) = P_{n-1}(y) \cdot P_n + P_{n-1}(Z) \cdot q_n$$

za $Z \geq 0$

$$P_n(y) = P_{n-1}(y) \cdot P_n \quad \text{za } Z < 0$$

uz $Z = y - x$,

gdje je:

y — snaga MW izvan pogona

x — instalirana snaga n -te elektrane.

Tablica 2. Distribucija neplaniranih ispada

Snaga izvan pogona X , MW	Vjerojatnost događaja		
	$P_1(X)$	$P_2(X)$	$P_3(X)$
0	0,80	0,64	0,576
100	0,00	0,00	0,64
200	0,20	0,32	0,288
300	0,00	0,00	0,032
400	0,00	0,04	0,036
500	0,00	0,00	0,004

Rekurzivna formula — za formiranje funkcije distribucije — bi se koristila kad bi se agregati u elektrani razlikovali po instaliranom protoku (snazi) i po vjerojatnosti ispada. Međutim, u hidroelektrani je praktički uvijek jednak protok (ista instalirana snaga) svih agregata, a vjerojatnost ispada (prema raspoloživim podacima) također je jednaka za sve agregate. Prema tome funkcija distribucije neplaniranih ispada odvijat će se točno po binomnoj raspodjeli. Izraz za binomnu raspodjelu je:

$$B_{(n,r)} = \binom{n}{r} p^{n-r} \cdot q^r,$$

gdje je:

p — vjerojatnost da elektrana odnosno agregat radi (vjerojatnost sposobnosti)

q — vjerojatnost da elektrana odnosno agregat ne radi (vjerojatnost ispada)

n — broj agregata

r — broj nesposobnih agregata.

Budući da su s faktorima p i q definirana moguća stanja (navedena ranije) u kojem se može naći elektrana ili agregat, dakle radi ili ne radi, suma p i q mora biti jednaka »1« ($p + q = 1$).

Kriterij 3.10. Gubitak energije zbog remonta

Remont agregata u hidroelektranama odvija se u razdoblju malih voda. Normalno da je gubitak proizvodnje minimalan ili »0« (nula) ako su u HE ugrađena dva ili više agregata. Međutim, ugradnjom jednog agregata postoji mogućnost gubitaka energije (proizvodnje), ali ako se držimo načela obavljanja remonta u periodu niskih vodostaja odnosno sušnom razdoblju, količinu vode možemo stokirati u akumulaciju pa zbog toga ne bi bilo gubitka proizvodnje. Međutim, ako se radi o hidroelektrani koja mora ispuštati biološki minimum, ugradnja jednog agregata neminovno iziskuje gubitak energije.

Kriterij 3.11. Visina investicija za jedan, dva ili više agregata

Investicijska ulaganja s porastom broja agregata u načelu rastu. Zato je vrlo važno (koliko je to moguće) odrediti točne težine odnosno troškove izgradnje različitih proizvodnih grupa. Razlika u investicijskim ulaganjima (izgradnja npr. tri proizvodne grupe u odnosu na dvije ili jednu proizvodnu grupu) mora se opravdati ili neopravdati ostalim dodatnim energetskim efektima iz prethodnih kriterija.

4. ENERGETSKO-EKONOMSKA ANALIZA RAZLIČITIH PROIZVODNIH GRUPA U HE

U prethodnoj točki navedeno je jedanaest (11) kriterija za izbor broja agregata u hidroelektranama. Ovdje treba reći: makar su navedeni pojedinačno, u konkretnom proračunu ih je možda nemoguće tako promatrati, već se promatraju zajednički. Na primjer, energetski efekt (moguća proizvodnja) računa se istodobno uz uvažavanje i stupnja djelovanja i osiguranja biološkog minimuma. Promatrajući kriterije 3.7 do 3.10, može se zaključiti da je riječ uglavnom o energetskim efektima koje uz određenu cijenu goriva (alternativno rješenje) možemo pretvoriti u novčane jedinice, koje se kasnije mogu komparirati s razlikom investicijskih ulaganja. Isto tako, uz uvažavanje energetskih efekata i uključivanjem različitih varijanti izgradnje promatranog elektroenergetskog objekta u elektroenergetski sustav (svi kriteriji osim kriterija 3.1, 3.5 i 3.11) dobiju se novčane vrijednosti koje se mogu uspoređivati s razlikom u investicijskim ulaganjima.

Na kraju, kad se dođe do novčanih vrijednosti, postoje dva pristupa proračunu:

- proračun s prosječnim godišnjim troškovima,
- proračun s aktualiziranim troškovima.

a) Proračun s prosječnim godišnjim troškovima

Jedan od pokazatelja rentabilnosti nekoga elektroenergetskog objekta jest njegova proizvodna cijena električne energije. Poznavanjem investicijske vrijednosti ($IHE - 10^6$ din), troškovne kvote (QHE) i godišnje proizvodnje ($WG - GWh$) električne energije mogu se odrediti stalni godišnji troškovi, a nakon toga i proizvodna cijena. Dakle,

$$\frac{IHE \cdot QHE}{WG} = PC \text{ dinara/kWh,}$$

gdje je:

- IHE — investicijska vrijednost HE (10^6 d)
- QHE — godišnja kvota troškova (%/100)
- WG — godišnja proizvodnja električne energije (GWh)
- PC — proizvodna cijena (d/kWh)

Proračuna li se proizvodna cijena dodatne električne energije, dobit će se:

$$\frac{DI \cdot QHE}{DWG} = DPC,$$

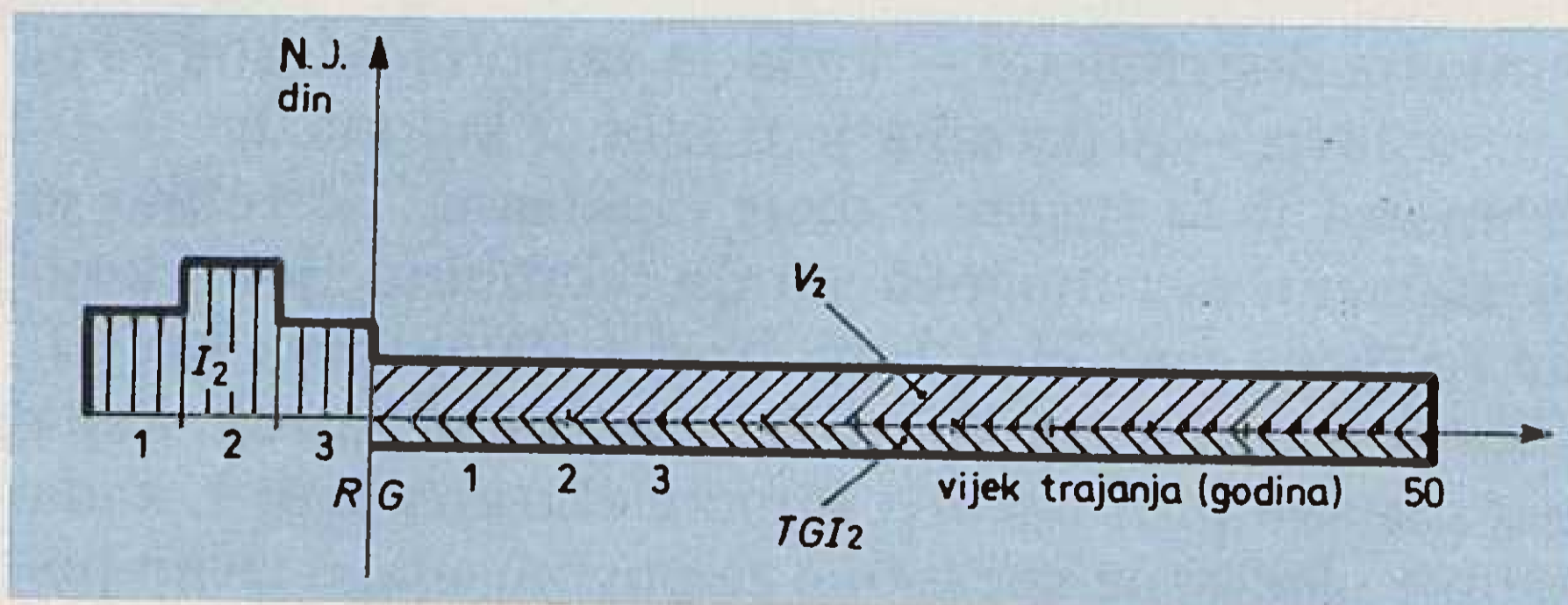
gdje je:

- DI — razlika u investicijskim ulaganjima (10^6 dinara), npr. $I_2 - I_1$ (dvije i jedna proizvodna grupa)
- DWG — analogno kao za I (razlika u godišnjoj proizvodnji) (GWh)
- DPC — proizvodna cijena dodatne električne energije.

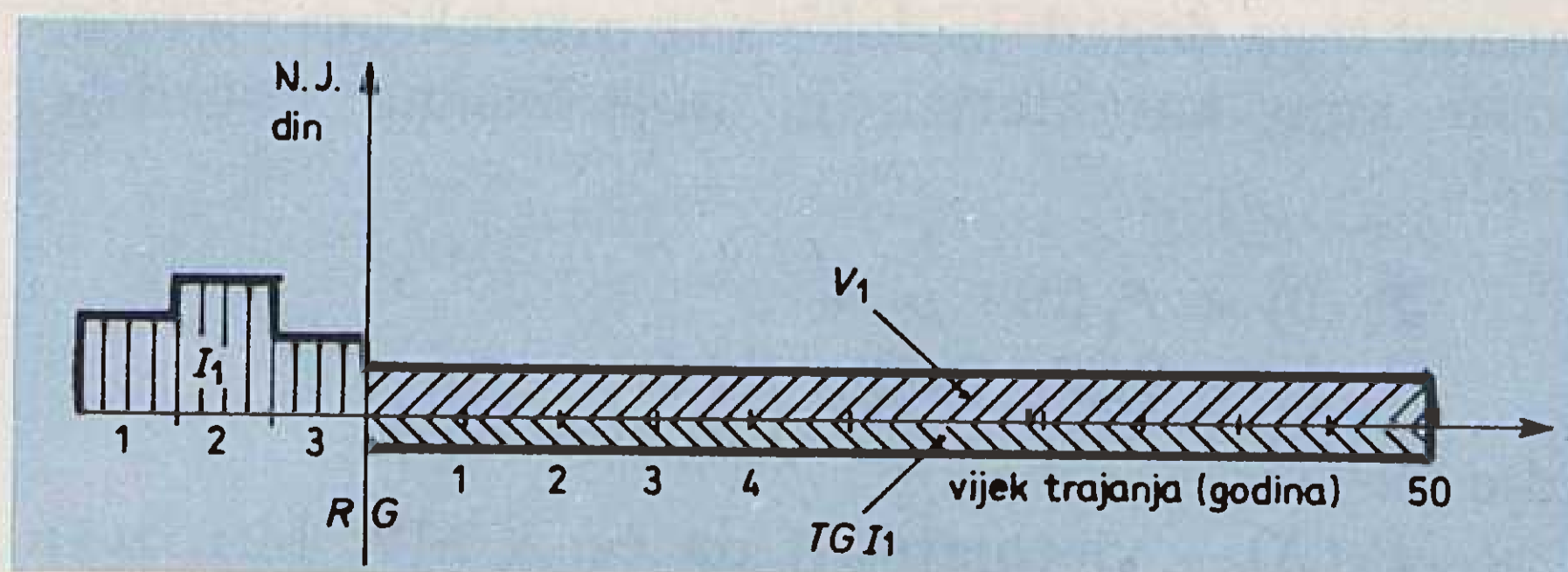
Nejednadžba $DPC < PC$ ukazuje na povoljnost, u ovom slučaju dvije nad jednom proizvodnom grupom.

b) Proračun s aktualiziranim troškovima

Da se provede proračun s aktualiziranim troškovima i uštedama, moguća su dva pristupa koja daju isti rezultat. Ako se promatraju npr. dva agregata, potrebno je uzeti njihovu investiciju i proizvodnju (sl. 2) (isto tako ako se promatra jedan agregat s investicijom i proizvodnjom sl. 3), gdje se od proizvodnje ostvaruje korist (V_2), koja je ista u svim godinama perioda



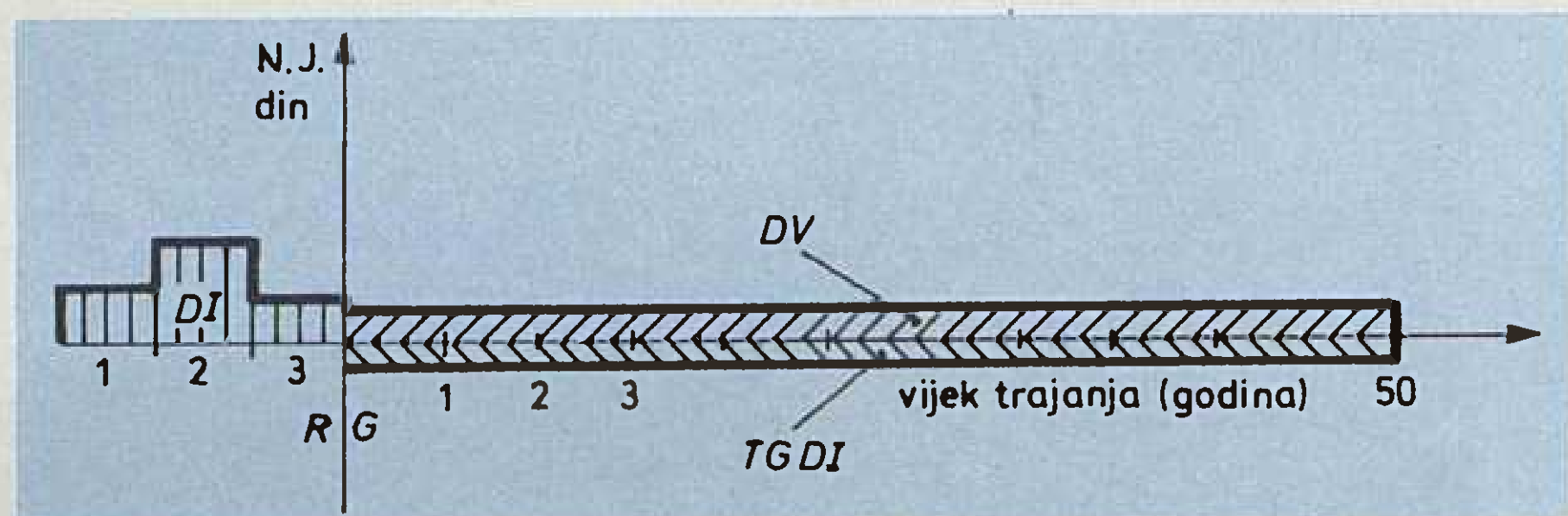
Slika 2.



Slika 3.

eksploatacije (životni vijek agregata npr. 50 godina), a od investicija se ostvaruje godišnji trošak (tekuće održavanje, plaće i dr.) (TGI2) (sl. 2). Svodenjem, dakle, investicija koristi i troškova na referentnu godinu te usporedbom s drugom alternativnom (jedan agregat) dobit će se uvid u rentabilnost jednoga ili drugoga pothvata. Isti rezultat dobije se ako se proračun provede s razlikama. Na sl. 4. prikazan je vremenski dijagram, gdje DI znači razliku u investicijama, $TGDI$ godišnje troškove od investicija (tekuće održavanje i dr.) i DV godišnji iznos koristi od energije (uštete). Primjer proračuna će se prikazati po ovome drugome pristupu uz sljedeće oznake:

razlika u investicijama	– DI (10^6 dinara)
ukupna razlika u proizvodnji	– DWG (GWh)
cijene proizvodnje	– C (d/kWh)
diskontna stopa	– ds (%)
stopa stalnih troškova (održavanje)	– SSO (%)



Slika 4.

Sadašnja (aktualizirana) vrijednost se računa prema izrazu:

$$SV = DV \frac{(1 + ds)^n - 1}{ds(1 + ds)^n},$$

gdje je:

- SV — sadašnja vrijednost (10^6 dinara)
- DV — novčana vrijednost energije (10^6 d — $DWG \cdot C$)
- ds — stopa aktualizacije (diskontna stopa)
- n — broj godina eksploatacije (50 godina).

Godišnji troškovi tekućeg održavanja iznose:

$$TGDI = DI \cdot SSO/100,$$

dok se ukupne aktualizirane koristi mogu izračunati iz sljedećeg izraza:

$$AK = \frac{(1 + ds)^n - 1}{ds(1 + ds)^n} (DV - TGDI) - \sum_{m=1}^m I_m (1 + ds)^m,$$

gdje je:

- AK — ukupna aktualizirana korist (ušteta) 10^6 dinara
- $\sum_{m=1}^m I_m (1 + ds)^m$ — svodenje razlika investicija na referentnu godinu
- m — broj godina izgradnje promatrane hidroelektrane.

Vremenski dijagrami koristi i ušteta prikazani su na sl. 2. do sl. 4.

Uvrštavanjem brojčanih vrijednosti u prethodni izraz izračuna se aktualizirana vrijednost svih koristi i troškova. Ako je AK (aktualizirana ili sadašnja vrijednost) veća od »0«, isplativo je ići na veći broj proizvodnih grupa. Obrnuto, ako je $AK < 0$ nema ener-

getske-ekonomskog opravdana ići na veći broj proizvodnih grupa u promatranoj hidroelektrani.

5. ZAKLJUČAK

U članku je prikazan jedan novi i suvremeni postupak kojim se određuje najpovoljniji broj proizvodnih grupa u hidroelektrani (broj agregata). Navedeni postupak zahtijeva opsežnu kvalitetnu i sveobuhvatnu analizu kako prilika u elektroenergetskom sustavu, tako i same hidroelektrane kao dijela toga sustava. Vrlo važno je odrediti ulogu, značenje i doprinos promatranog elektroenergetskog objekta (različitih varijanti) u elektroenergetskom sustavu, a zatim ekonomskim postupcima valorizirati pojedinu promatranu varijantu izgradnje, dakako u cijelom vijeku eksploatacije.

LITERATURA

- [1] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima« (prvi i drugi svezak), Informator, Zagreb, 1983. i 1985.
- [2] H. BEGOVIĆ: »Hidroenergetska postrojenja — Uvod u probleme izbora opreme«, DELIT, Sisak, 1986.
- [3] S. ALERIĆ: »Simulacijski model za određivanje troškova goriva termoelektrana u elektroenergetskom sustavu«, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1979. (Magistarski rad)
- [4] D. S. JOV—R. T. JENKINS: »A probabilistic model for estimating the operating cost of an electric power generating system«, OAK Ridge National Laboratory, 1978.
- [5] I. PAVLIĆ: »Statistička teorija i primjena«, Panorama, Zagreb, 1965.
- [6] S. ALERIĆ—N. BLIČAR—N. KOMERIČKI—I. POSAVEC: »Izbor veličine izgradnje i broja agregata u HE Tisne Stine« Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [7] D. HORVAT: »Vodne turbine, knjiga I«, drugo izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1965.

METHOD FOR CHOICE OF PRODUCTION UNIT NUMBER IN HYDROELECTRIC POWER PLANT

The paper presents the method for the choice of unit number in hydroelectric power plant. The choice is based on several influence factors, respectively criteria, that are energetically and economically evaluated. Finally all savings (benefits) and costs during life time of a hydroelectric power plant are analysed using present value techniques and it is easy to see the advantage of one variant construction compared to the other.

METHODE ZUR AUSWAHL DES AGGREGATS (HERSTELLUNGSGRUPPEN) IN WASSERKRAFTWERKEN

In Artikel beschreibt man die Methode zur Auswahl der Zahl der Aggregate in Wasserkraftwerken. Die Auswahl basiert aus einigen einflussreichen Faktoren bzw. Kriterien die energetisch — wirtschaftlich bewertet werden. Am Ende werden alle Ersparnisse und Unkosten aktualisiert in der Lebensdauer der Kraftwerke, so dass man leicht den Vorteil des Ausbaus einer Variante zur anderen bemerkt.

Naslov pisca:

Mr. Slavko Alerić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
Zagreb, 41000 Zagreb, Avenija
Vukovar 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1991-08-05.

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

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

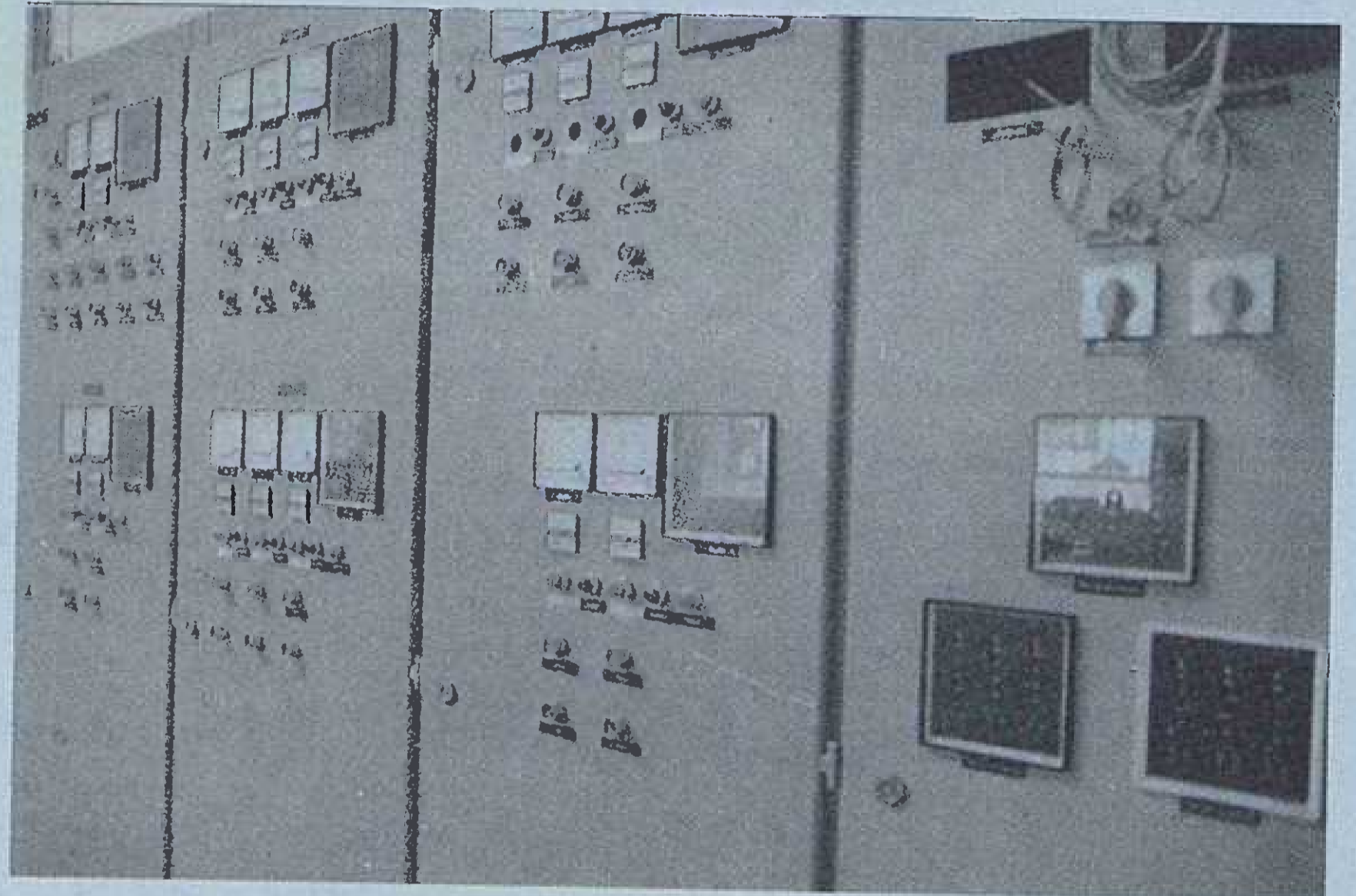
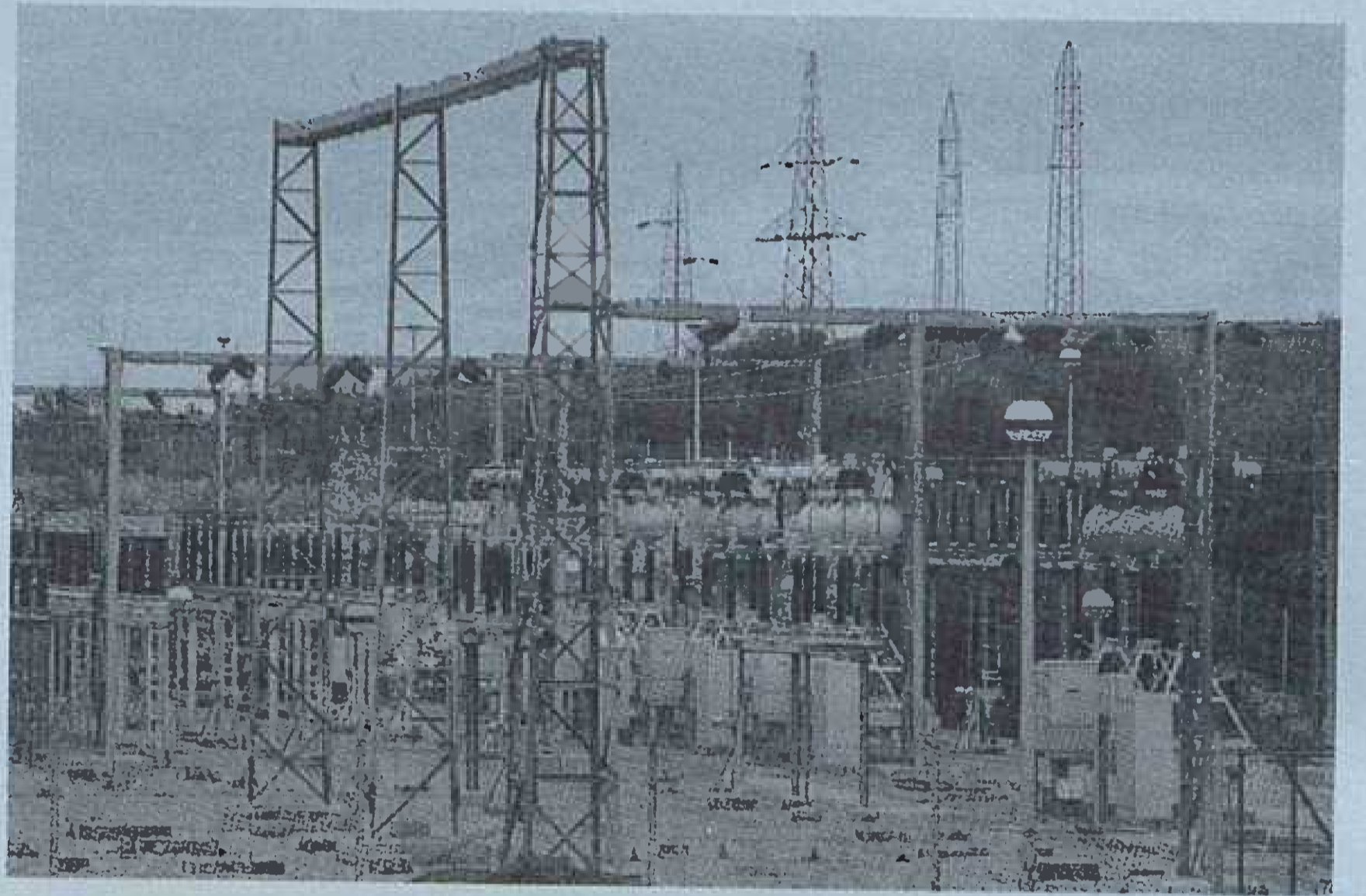
Tel: 057/24-440
057/24-844
27-236

Obavljajući djelatnost prometa roba i usluga u trgovini 117-tom granom »Elektromaterijal« opskrbljuje slijedeće najznačajnije potrošače: Elektroprivredu, brodograđevnu i ostalu industriju, građevinska, montažerska, PTT i ostala poduzeća i korisnike, kao i trgovinu na malo.

Organizirani smo u tri sektora, u okviru kojih su specijalizirane poslovnice.

Izvan sjedišta poduzeća posluju tri vanjske radne jedinice sa skladištima, komercijalnim i ostalim pratećim službama i to u: Zagrebu, Zadru i Podravskoj Slatini te razgranatom putničko-predstavničkom mrežom po cijeloj zemlji.

Imajući u vidu bogatstvo asortimana, dnevno prisutnog na našim skladištima, veliko iskustvo u obavljanju ove značajne funkcije u društvenoj reprodukciji, kao i solidnost u dosad povjerenim poslovima, želja nam je da i ubuduće uživamo Vaše povjerenje.



MATEMATIČKI MODEL ZA ODREĐIVANJE OSNOVNIH ENERGETSKIH KARAKTERISTIKA HIDROELEKTRANA

Prof. dr. Vjekoslav Filipović — mr. Irlav Drezga, Zagreb

UDK 621.311.21:681.3

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U prvom dijelu članka prikazan je tok energije pri pretvorbi potencijalne u električnu. Navedene su faze procesa u kojima nastaju gubici. Za pronalaženje maksimalne snage pri određenom protoku i padu vode te faktoru snage korišteno je dinamičko programiranje, koje je izloženo u prilagođenom obliku. Na kraju je prikazan matematički model za određivanje karakteristika za određenu shemu hidroelektrane.

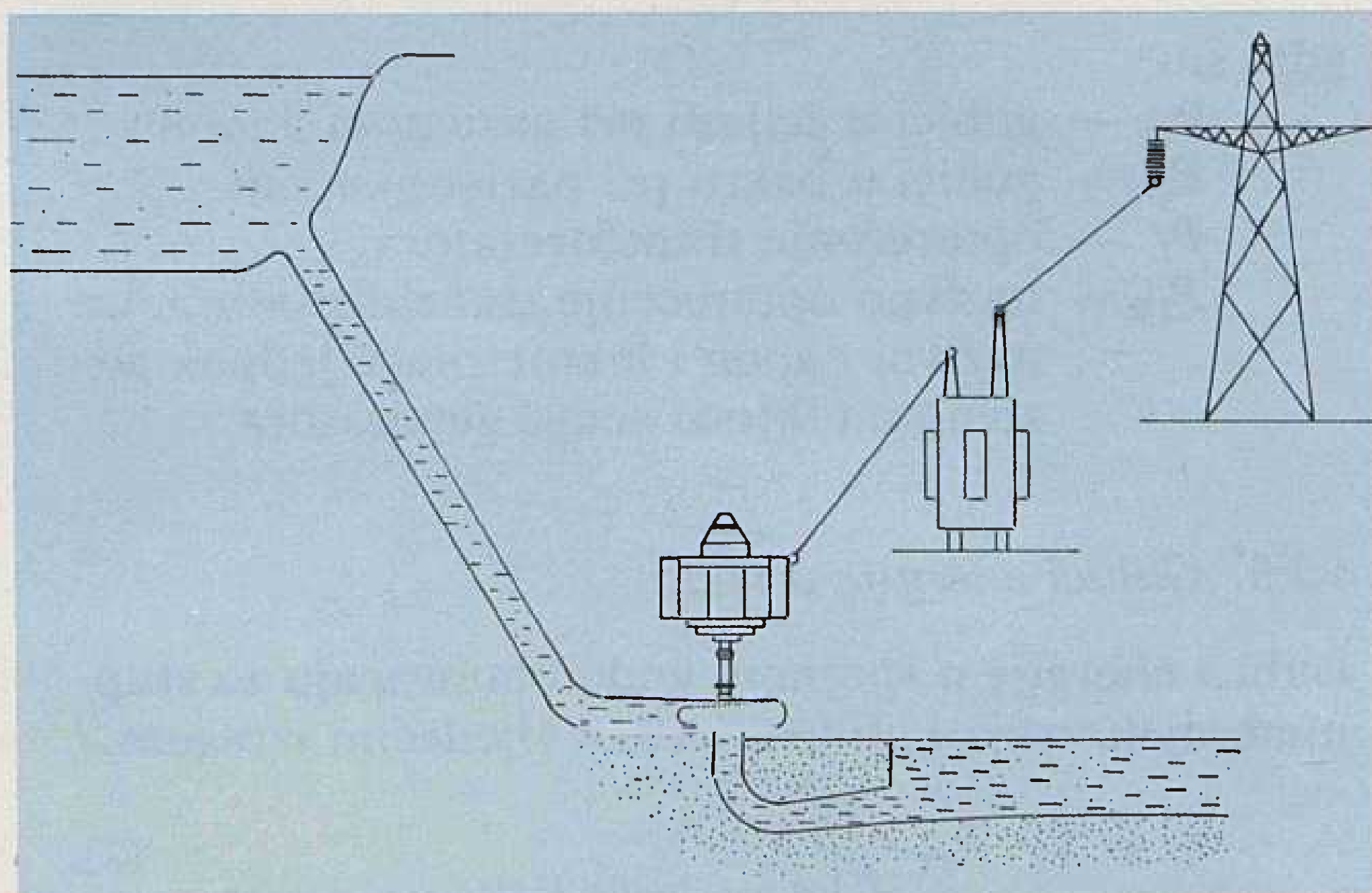
Ključne riječi: hidroelektrane, energetske karakteristike, dinamičko programiranje.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Osnovna energetska karakteristika hidroelektrane daje ovisnost proizvedene snage na pragu hidroelektrane o protoku, padu vode i faktoru snage. Za određeni pad vode i faktor snage protok hidroelektrane treba razdijeliti na pojedine agregate tako da se dobije maksimalna snaga. Na optimalnu raspodjelu protoka utječe shema spoja hidroelektrane, kao i karakteristike elemenata elektrane.

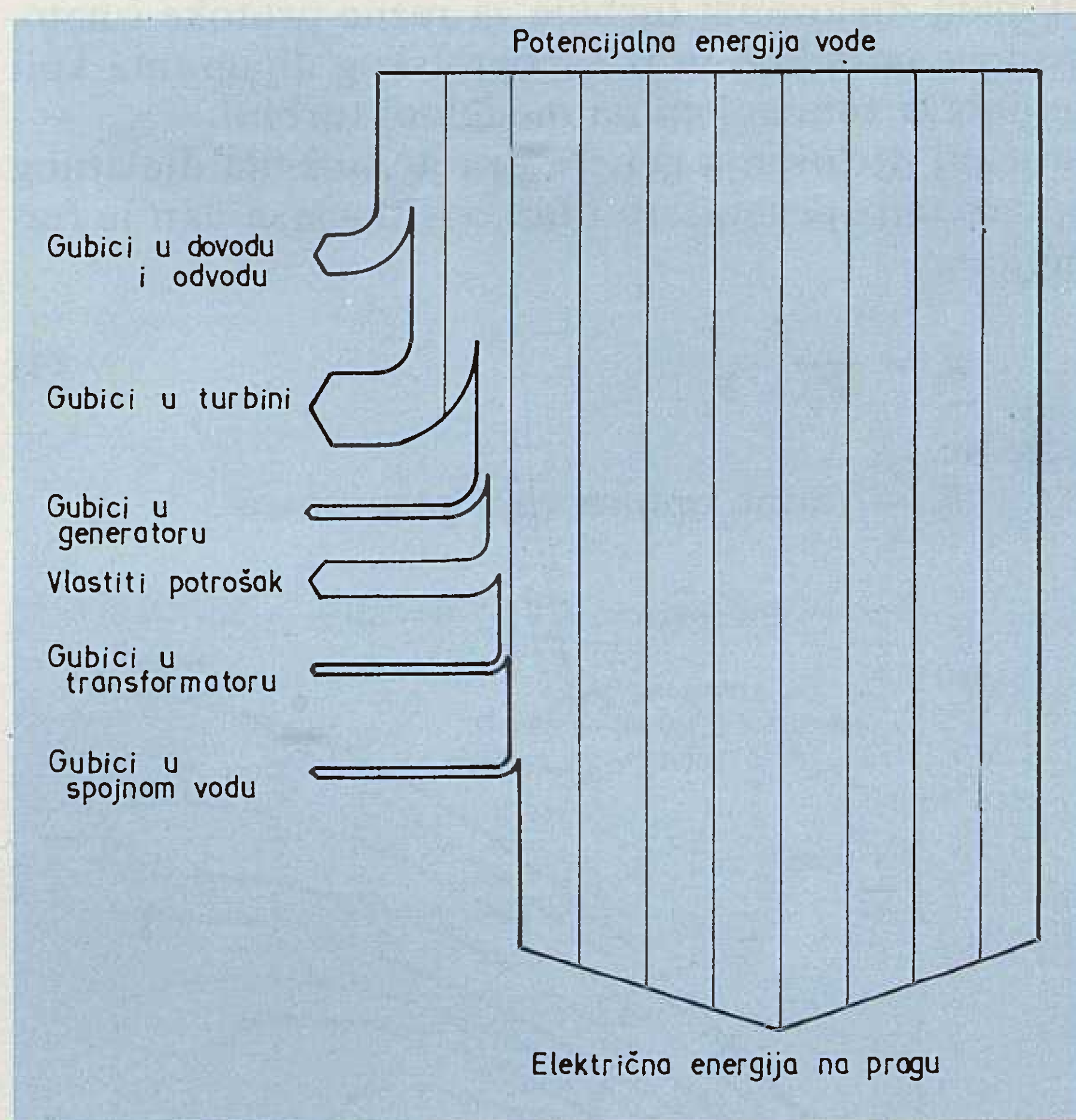
1.1. Tok energije pri pretvorbi potencijalne energije vode u električnu

Na slici 1. prikazan je shematski hidroagregat s elementima uzetim u obzir u ovome radu.



Slika 1. Shematski prikaz hidroagregata

Tok energije za određeni bruto-pada h_b i ukupno protok q i faktor snage $\cos \varphi$ prikazan je na slici 2. Naznačeni gubici energije obuhvaćeni su matematičkim modelom, te će biti pobliže obrađeni.



Slika 2. Tok energije u hidroelektrani

1.1.1. Gubici energije u dovodu i odvodu

Ovi gubici nastaju prilikom dovođenja odnosno odvođenja vode od turbine, a uzrok im je pojava trenja i nestacionarnog strujanja.

Posljedica toga je smanjenje energije vode, koja se uzima u obzir preko smanjenja raspoloživog bruto-pada.

Smanjenje bruto-pada pri protoku vode kroz cjevovod može se izraziti formulom [1, 2]:

$$\Delta h_b = k \cdot q^2, \quad (1)$$

gdje je:

Δh_b — smanjenje bruto-pada

k — koeficijent gubitaka cjevovoda.

Koeficijent gubitaka cjevovoda ovisi o dužini, promjeru, zakrivljenosti cjevovoda, materijalu te hrpačnosti površine. Postoje razne približne formule za računanje tog koeficijenta, a moguće ga je odrediti i mjerenjem. U ovom radu on se zadaje kao ulazna veličina za svaki element dovoda odnosno odvoda.

1.1.2. Gubici energije u turbini i generatoru

Gubici energije u turbini obuhvaćaju gubitke u statoru, rotoru i difuzoru, te volumetrijske i mehaničke gubitke. Uobičajeno je da se gubici u statoru, rotoru i difuzoru turbine prikazuju hidrauličkim stupnjem djelovanja, dok se volumetrijski i mehanički gubici prikazuju zasebnim stupnjevima djelovanja. Stupanj djelovanja vodne turbine umnožak je spomenutih triju stupnjeva djelovanja:

$$\eta_t = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m, \quad (2)$$

gdje je:

- η_h — hidraulički stupanj djelovanja turbine
- η_v — volumetrijski stupanj djelovanja turbine
- η_m — mehanički stupanj djelovanja turbine.

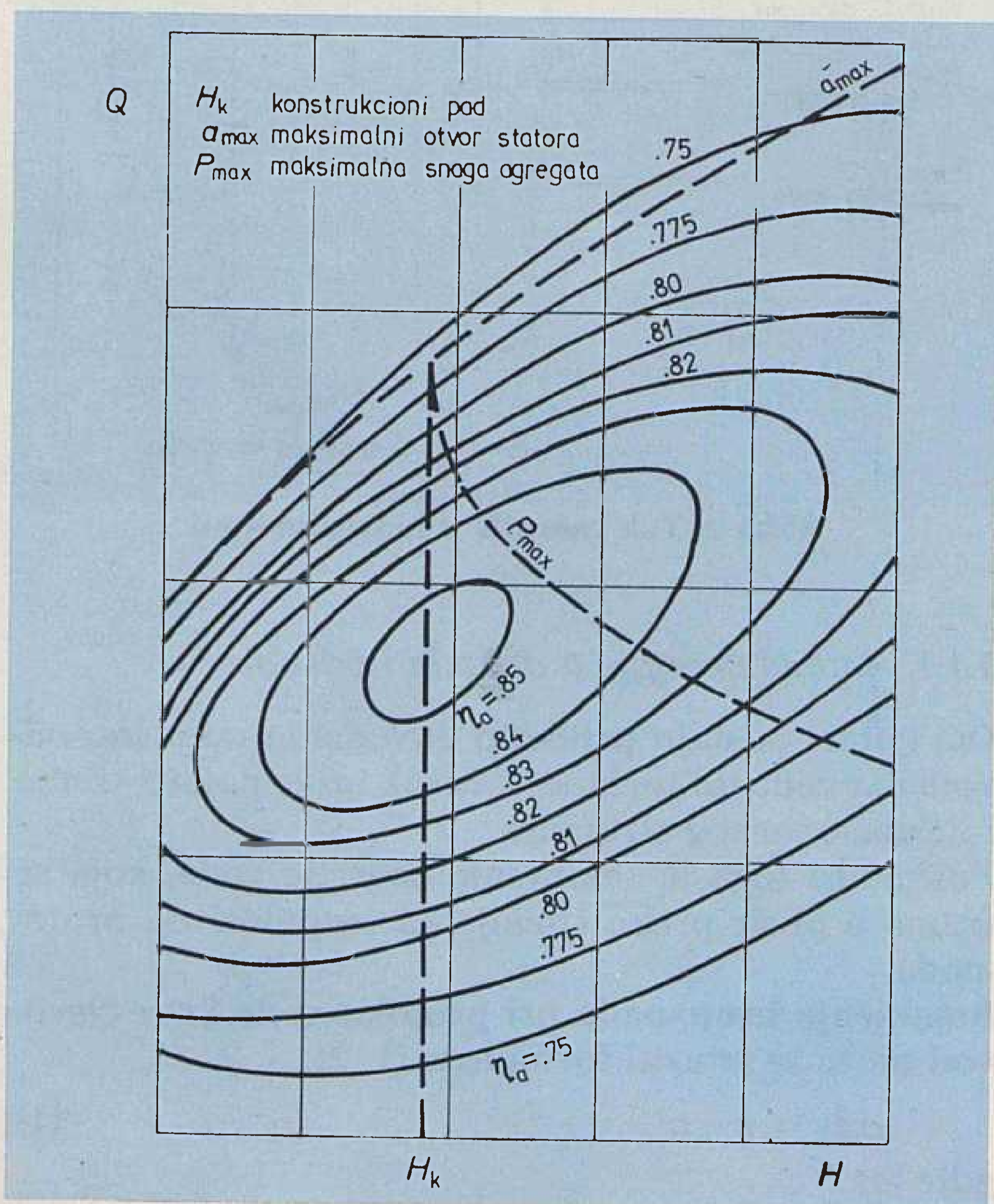
Stupanj djelovanja turbine za razne protoke i netopadove određuje se iz topografskog dijagrama koji se dobiva snimanjem na modelnoj turbini.

Stupanj djelovanja generatora je funkcija djelatnog opterećenja generatora i faktora snage, a dan je formulom:

$$\eta_g = \frac{P_r}{P_r + P_g}, \quad (3)$$

gdje je:

- P_r — radno opterećenje generatora



Slika 3. Topografski dijagram hidroagregata za nazivni faktor snage generatora

P_g — ukupni gubici generatora, ovisni o radnom opterećenju i faktoru snage.

U ovom radu je pretpostavljeno da svi generatori u elektrani rade s istim faktorom snage, a ukupni gubici u generatoru da se određuju pri nazivnom faktoru. Ta pretpostavka neće znatno utjecati na raspored opterećenja među agregatima.

Stupanj djelovanja hidroenergata za zadanu situaciju dobiva se množenjem stupnja djelovanja turbine i stupnja djelovanja generatora, te za ovaj rad predstavlja ulazni podatak:

$$\eta_a = \eta_t \cdot \eta_g. \quad (4)$$

U tom smislu se ne zadaje izvorni topografski dijagram turbine, već topografski dijagram hidroagregata kojim je dana ovisnost stupnja djelovanja hidroagregata o neto-padu i protoku kroz turbinu kako je prikazano na slici 3.

1.1.3. Vlastiti potrošak agregata

Vlastiti potrošak električne energije agregata uz pretpostavku da se uzima sa stezaljki generatora može se uzeti u obzir putem faktora:

$$\eta_{vp} = \frac{P_r - P_{vp}}{P_r}, \quad (5)$$

gdje je P_{vp} snaga vlastitog potroška ovisna o opterećenju generatora i načinu opskrbe vlastitog potroška energijom.

1.1.4. Gubici energije u transformatoru

Gubici energije u transformatoru uvažit će se pomoću stupnja djelovanja transformatora koji se dobiva prema:

$$\eta_{tr} = 1 - \frac{P_{Fe} + P_{Cu} \left(\frac{P_T}{P_{TN}} \right)^2}{P_T}, \quad (6)$$

gdje su:

- P_{Fe} — gubici u željezu pri nazivnom naponu
- P_{Cu} — gubici u bakru pri nazivnoj struji
- P_T — opterećenje transformatora
- P_{TN} — nazivno opterećenje transformatora, uz nazivni napon i faktor snage jednak nazivnom faktoru snage generatora.

1.1.5. Gubici energije u vodu

Gubici energije u spojnom vodu obuhvaćaju se stupnjem djelovanja koji je određen sljedećim izrazom:

$$\eta_v = 1 - P_{gv} \frac{P_v}{P_{VN}^2}, \quad (7)$$

gdje je:

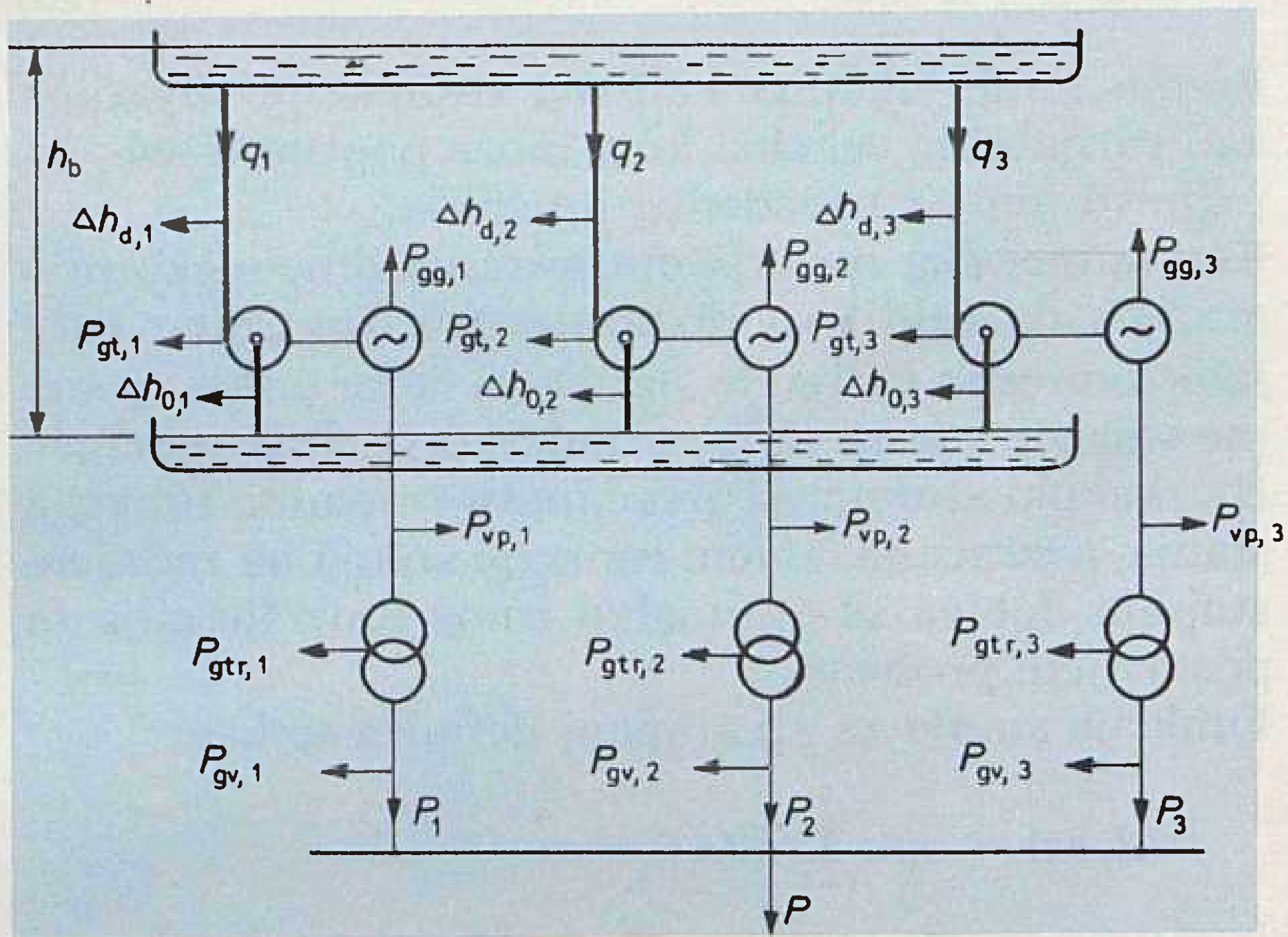
- P_{gv} — gubici u vodu pri nazivnoj struji, odnosno opterećenju
- P_v — opterećenje voda
- P_{VN} — nazivno opterećenje voda, uz nazivni napon i faktor snage jednak nazivnom faktoru snage generatora.

1.2. Određivanje snage hidroelektrane

Izraz za snagu pojedinog agregata ovisi o tome kakva je shema dovoda odnosno odvoda u hidroelektrani. U radu se promatraju dvije osnovne sheme za koje će se odrediti potrebni izrazi za snagu pojedinog agregata odnosno cijele hidroelektrane [3].

1.2.1. Hidroelektrana s odvojenim dovodima i odvodima vode po turbini

Schema ovog tipa hidroelektrane prikazana je na slici 4.



Slika 4.

Ako se sa

$$\eta_{u,i} = \eta_{a,i} \cdot \eta_{vp,i} \cdot \eta_{tr,i} \cdot \eta_{v,i} \quad (8)$$

označi umnožak stupnja djelovanja turbine i generatora, faktora vlastitog potroška i stupnja djelovanja transformatora i spojnog voda, izraz za proizvedenu snagu i -tog agregata u ovom slučaju glasi:

$$P_i = g \cdot \rho \cdot q_i \cdot [h_b - (k_{d,i} + k_{o,i}) \cdot q_i^2] \cdot \eta_{u,i}, \quad (9)$$

gdje je:

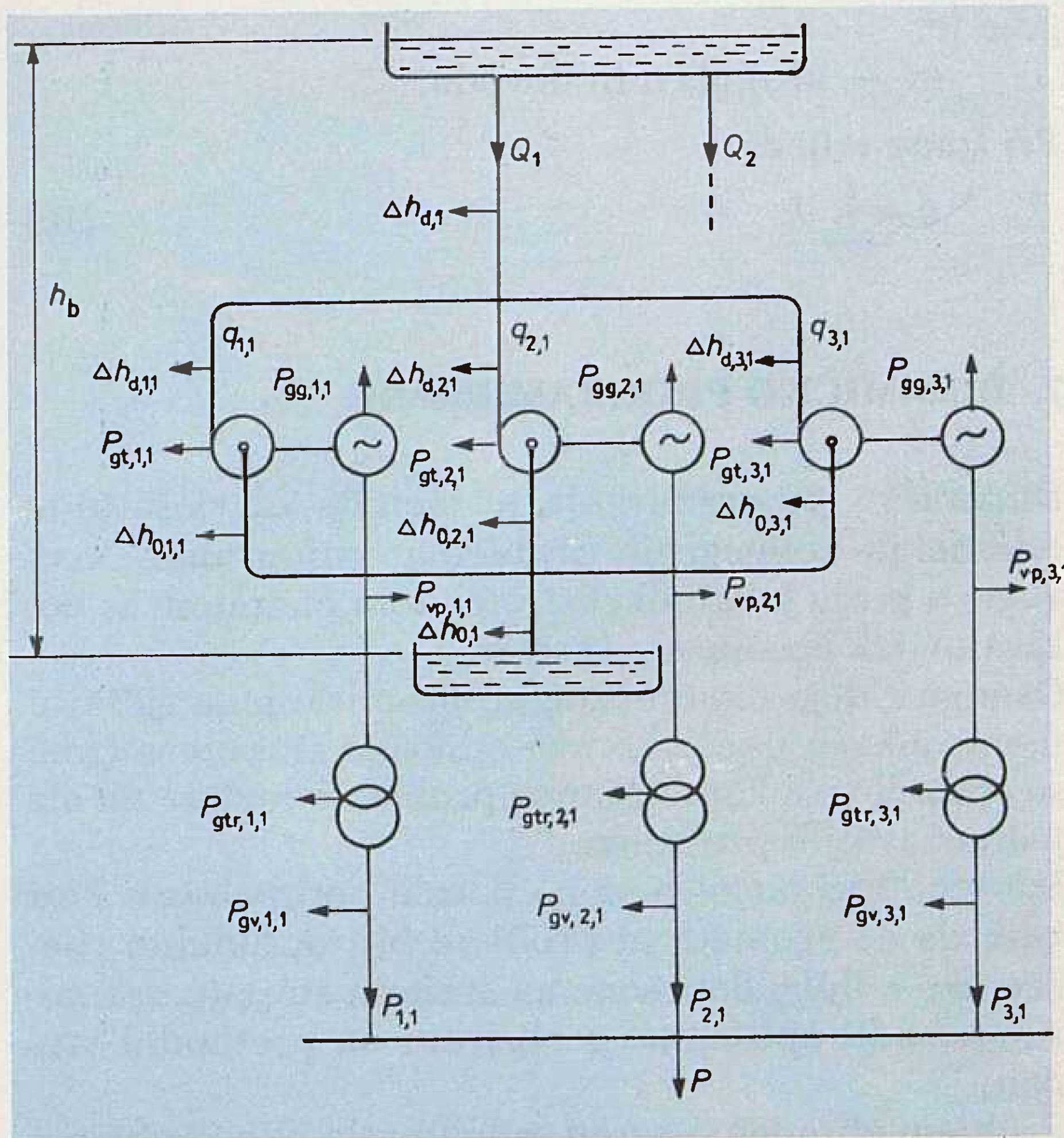
- g — konstanta gravitacije
- ρ — specifična gustoća vode
- q_i — protok i -tog agregata
- $k_{d,i}$ — koeficijent gubitaka dovoda i -tog agregata
- $k_{o,i}$ — koeficijent gubitaka odvoda i -tog agregata
- $\eta_{a,i}$ — stupanj djelovanja i -tog hidroagregata
- $\eta_{tr,i}$ — stupanj djelovanja transformatora i -tog agregata
- $\eta_{v,i}$ — stupanj djelovanja spojnog voda i -tog agregata.

Ukupna snaga hidroelektrane za određeni pad h_b , ukupni protok q i n raspoloživih agregata može se napisati kao:

$$P(h_b, q, n) = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (10)$$

1.2.2. Hidroelektrana sa zajedničkim dovodima i odvodima vode

Ovaj tip hidroelektrane shematski je prikazan na slici 5. Kako se vidi, osnovna je značajka ovog tipa po-



Slika 5.

stojanje jednog ili više glavnih dovoda odnosno odvoda kojima se voda dovodi odnosno odvodi pojedinoj grupi agregata.

Izraz za snagu i -tog agregata koji je vezan na j -ti glavni dovod odnosno odvod u ovom slučaju poprima oblik:

$$P_{i,j} = g \cdot \rho \cdot q_{i,j} \cdot [h_b - (k_{d,j} + k_{o,j}) \cdot Q_j^2 - (k_{d,i,j} + k_{o,i,j}) \cdot q_{i,j}^2] \cdot \eta_{u,i,j}, \quad (11)$$

gdje je:

- $k_{d,j}$ — koeficijent gubitaka j -tog glavnog dovoda
- $k_{o,j}$ — koeficijent gubitaka j -tog glavnog odvoda
- Q_j — protok kroz j -ti glavni dovod odnosno odvod.

Ukupni protok kroz j -ti glavni dovod odnosno odvod je jednak:

$$Q_j = \sum_{i=1}^{k_j} q_{i,j}, \quad (12)$$

gdje je:

- k_j — broj agregata vezanih na j -ti glavni dovod odnosno odvod.

Jednadžba za proizvedenu snagu jednog agregata može se pogodnije napisati ako se umjesto bruto-pada za cijelu hidroelektranu uvrsti korigirani iznos bruto-pada za svaki glavni dovod:

$$h_{bk,j} = h_b - (k_{d,j} + k_{o,j}) \cdot Q_j^2. \quad (13)$$

Jednadžba (11) sada glasi:

$$P_{i,j} = g \cdot \rho \cdot q_{i,j} \cdot [h_{bk,j} - (k_{d,i,j} + k_{o,i,j}) \cdot q_{i,j}^2] \cdot \eta_{u,i,j}. \quad (14)$$

Ukupna snaga hidroelektrane s ovakvom shemom spoja jest:

$$P = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{k_j} P_{i,j}, \quad (15)$$

gdje je:

m — broj glavnih dovoda.

Pri tome vrijedi

$$n = \sum_{j=1}^m k_j. \quad (16)$$

2. DINAMIČKO PROGRAMIRANJE

Dinamičko programiranje je metoda za rješavanje određenih nelinearnih problema optimiranja. Neovisno o broju lokalnih ekstrema tom metodom se dobiva uvijek apsolutni ekstrem.

Osnovna ideja dinamičkog programiranja je rješavanje problema u više koraka odnosno stupnjeva čime se optimiranje kompleksnog problema razlaže na niz jednostavnijih problema.

Izložena ideja osniva se na načelu optimalnosti koji kaže da će promatrani problem biti optimalno riješen ako odluke donesene na svakom stupnju optimiranja budu optimalne s obzirom na prethodni stupanj.

Problem obrađen u ovom radu ubraja se u probleme raspodjele jedne vrste resursa na više aktivnosti, dakle u probleme koji se u teoriji dinamičkog programiranja svrstavaju u nedinamičke probleme.

Kod tog problema treba zadatu količinu resursa raspodijeliti na više aktivnosti tako da ukupni efekt raspodjele bude optimalan. Treba, dakle, riješiti problem:

optimirati

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

uz ograničenja

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i &= x_r \\ x_i &\geq 0; \text{ za } i = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (17)$$

gdje je:

f — funkcija cilja

x_i — količina resursa dodijeljena i -toj aktivnosti

n — broj aktivnosti

x_r — ukupna količina resursa.

Koristeći se svojstvom separabilnosti, funkcija cilja može se napisati u obliku:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i). \quad (18)$$

U navedenom izrazu funkcija f_i povezuje efekte i -te aktivnosti s količinom resursa dodijeljenom toj aktivnosti, a naziva se funkcija efekta. Količina resursa dodijeljena pojedinoj aktivnosti naziva se kontrolom varijabla.

Vrijednosti kontrolne varijable za i -tu funkciju efekta kreću se u granicama određenim minimalnom i maksimalnom vrijednošću dotične kontrolne varijable:

$$x_{\min,i} = 0$$

$$x_{\max,i} = \min(x'_{\max,i}, x_r) \quad (19)$$

gdje je:

$x_{\min,i}$ — minimalna vrijednost i -te kontrolne varijable

$x_{\max,i}$ — maksimalna vrijednost i -te kontrolne varijable

$x'_{\max,i}$ — maksimalna vrijednost domene funkcije f_i .

U skladu s osnovnom idejom dinamičkog programiranja sada se može navedeni problem razložiti na n stupnjeva. Za svaki stupanj potrebno je formirati posebnu funkciju tzv. funkciju stanja koja ovisi samo o jednoj varijabli. Ta varijabla se naziva varijablom stanja, a predstavlja količinu resursa koju treba raspodijeliti, pa mora zadovoljiti uvjet:

$$0 \leq x \leq x_r. \quad (20)$$

Prema tome, ukupna količina resursa je shvaćena kao varijabilna veličina koja može poprimiti sve vrijednosti unutar navedenog intervala.

Kao numerička metoda optimiranja dinamičko programiranje zahtijeva diskretizaciju kontrolne varijable odnosno varijable stanja, pa će se u skladu s time smatrati da su obje varijable diskretne veličine. Na svakom stupnju se izračunava pripadna funkcija stanja, a izračunavanjem funkcije stanja na zadnjem stupnju dobiva se optimalan iznos funkcije cilja za postavljeni problem.

Funkcija stanja za j -ti stupanj definira se kao:

$$Z_j(x) = \text{opt}_{x_j} \sum_{i=1}^j f_i(x_i),$$

uz ograničenja

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^j x_i &= x \\ 0 \leq x &\leq x_r. \end{aligned} \quad (21)$$

Za svaku vrijednost varijable stanja potrebno je provesti optimiranje kako bi se odredila vrijednost funkcije stanja. To optimiranje bi za j -ti stupanj trebalo provesti po j varijabli. Međutim, moguće je funkciju stanja prikazati tako da se broj varijabli po kojima je potrebno provesti optimiranje svede samo na jednu. U tu svrhu treba u gornjoj jednadžbi izdvojiti odgovarajuću funkciju efekta i cijeli problem prikazati u obliku:

$$Z_j(x) = \text{opt}_{x_j, x_i} \left\{ f_j(x_j) + \sum_{i=1}^{j-1} f_i(x_i) \right\},$$

uz ograničenja

$$\begin{aligned} x_j + \sum_{i=1}^{j-1} x_i &= x \\ 0 \leq x &\leq x_r. \end{aligned} \quad (22)$$

Ako se sada razmotri izraz u zagradi, može se zaključiti da će za neku vrijednost varijable stanja x i neku vrijednost kontrolne varijable x_j trebati odrediti optimalnu vrijednost drugog člana zagrade. Treba, dakle, naći:

$$\text{opt}_{x_i} \left\{ \sum_{i=1}^{j-1} f_i(x_i) \right\},$$

uz ograničenja

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{j-1} x_i &= x - x_j \\ 0 \leq x &\leq x_r. \end{aligned} \quad (23)$$

Međutim, navedeni problem nije ništa drugo nego traženje vrijednosti funkcije stanja za prethodni stupanj.

Prema tome, problem izračunavanja vrijednosti funkcije stanja na j -tom stupnju može se napisati kao:

$$Z_j(x) = \operatorname{opt}_{x_j} \left\{ f_j(x_j) + Z_{j-1}(x - x_j) \right\}, \quad (24)$$

uz ograničenje

$$0 \leq x \leq x_r.$$

Polazeći od prvog stupnja optimiranja, uz pretpostavku da je $Z_0(x)$ nulfunkcija, mogu se izračunati funkcije stanja za svaki stupanj, a da je pri tome potrebno provesti optimizaciju po samo jednoj varijabli.

Optimalna vrijednost funkcije cilja nalazi se prema relaciji:

$$\operatorname{opt} f(x_1, x_2, \dots, x_n) = Z_n(x_r). \quad (25)$$

Time još nisu dobivene vrijednosti kontrolnih varijabli koje daju optimalan iznos funkcije cilja. Da bi to bilo moguće, treba za svaki stupanj definirati posebnu funkciju, tzv. funkciju politike, koja povezuje varijablu stanja s optimalnom vrijednošću kontrolne varijable na određenom stupnju:

$$F_j(x) = x_j^*, \quad (26)$$

gdje je:

x_j^* — optimalna vrijednost j -te kontrolne varijable, za varijablu stanja x .

Sada je moguće, polazeći od zadnjeg stupnja optimiranja, odrediti sve optimalne vrijednosti kontrolnih varijabli za postavljeni problem.

$$\begin{aligned} F_n(x_r) &= x_n^* \\ F_j(x_r - \sum_{i=j+1}^n x_i^*) &= x_j^*; \quad 1 < j < n \\ F_1(x_r - \sum_{i=2}^n x_i^*) &= x_1^*. \end{aligned} \quad (27)$$

Na isti način može se odrediti optimalna staza za svaki iznos varijable stanja, dakle količinu resursa koja se kreće u dozvoljenim granicama.

Na kraju treba naglasiti da je redosljed funkcija efekata potpuno proizvoljan.

Ovime je problem raspodjele jedne vrste resursa na više aktivnosti potpuno riješen.

3. ODREĐIVANJE OSNOVNIH ENERGETSKIH KARAKTERISTIKA HIDROELEKTRANA

Na upravo opisanoj metodi dinamičkog programiranja utemeljen je matematički model za određivanje osnovnih energetske karakteristika, i to za dvije osnovne sheme dovoda i odvoda.

3.1. Odvojeni dovod i odvod vode turbinama

Kao kontrolne varijable za ovaj slučaj izabrani su protoci pojedinih agregata, a kao varijabla stanja, x , količina neraspodijeljenog protoka:

$$x = q - \sum_{i=1}^n q_i, \quad (28)$$

gdje je:

q — ukupni protok hidroelektrane za određeni bruto pad

n — broj agregata u hidroelektrani.

Funkcija efekta za pojedini agregat određena je jednadžbom (9). Funkcija cilja koju je potrebno maksimizirati jest proizvedena snaga hidroelektrane. Postupak optimiranja podijeljen je na n stupnjeva. Funkcija stanja na j -tom stupnju definirana je kao ovisnost maksimalne snage na pragu hidroelektrane o količini neangažiranog protoka za taj stupanj:

$$Z_j(x) = \max \sum_{i=1}^j P_i(q_i). \quad (29)$$

Varijable stanja na tom stupnju kreću se u granicama:

$$\begin{aligned} x_{\min,j} &= 0 \\ x_{\max,j} &= \min \left\{ q, \sum_{i=1}^j q_{\max,i} \right\}. \end{aligned} \quad (30)$$

Postupak je zamišljen tako da se za zadanu vrijednost bruto-pada u jednom optimiranju odredi karakteristika hidroelektrane, nakon čega se postupak ponavlja za sve dopuštene vrijednosti bruto-pada.

3.2. Zajednički dovod i odvod vode

Funkcije efekata u ovom slučaju daju ovisnost maksimalno proizvedene električne snage o protoku u pojedinom glavnom dovodu odnosno odvodu i na početku optimiranja nisu poznate. Njih je potrebno najprije izračunati, što se može učiniti za svaku funkciju na odgovarajućem stupnju ili za sve funkcije efekata prije optimiranja, kako je usvojeno u ovom radu.

Izračunavanje funkcije efekta za svaki glavni dovod odnosno odvod jest problem optimiranja, koji je riješen prema modelu opisanom u 3.1. Treba imati jedino na umu da se ovdje maksimalizira proizvedena snaga agregata spojenih na j -ti glavni dovod za određeni bruto-pad, za određeni protok kroz glavni dovod odnosno odvod i za određeni broj raspoloživih agregata. U tom slučaju je funkcija efekta za ovo optimiranje jednaka jednadžbi (9), uz uvjet da se uvršta korigirani bruto-pad prema jednadžbi (13), čime je dobiven identičan problem onome u točki 3.1. Nakon izračunavanja funkcija efekata za svaki glavni dovod provodi se glavni postupak optimiranja. Taj problem se također može svesti na onaj iz točke 3.1, s time da ima onoliko stupnjeva optimiranja koliko ima glavnih dovoda, a varijabla stanja je protok neraspodijeljen na glavne dovode.

4. ZAKLJUČAK

Opisanim postupkom određuje se ovisnost proizvedene snage na sabirnicama hidroelektrane o ukupnom protoku, brutopadu vode i faktoru snage. Razmatrane su dvije sheme spoja turbina, i to s posebnim dovodom i odvodom vode za svaku turbinu i sa zajedničkim dovodom i odvodom. Neznatnim preuređenjem model se može prilagoditi i drugačijim shemama spoja.

Pretpostavljeno je da se energija za vlastiti potrošak uzima sa stezaljka svakoga pojedinog generatora. Međutim, isto tako nema poteškoća da se pretpostavi opskrba vlastitog potroška sa sabirnica elektrane odnosno na neki drugi način.

Uvažavajući pogonske karakteristike vodnih pumpi, model se može primijeniti i za izradu osnovnih energetske karakteristika reverzibilnih hidroelektrana [3].

Model za određivanje energetske karakteristika hidroelektrana, koje predstavljaju hidroelektranu kao jedan agregat, čini dio općeg modela za određivanje opterećenja pojedinoga generatora u elektroenergetskom sustavu.

LITERATURA

- [1] HORVAT, D.: »Vodne turbine«, Tehnička knjiga Zagreb, 1955.
- [2] POŽAR, H.: »Osnove energetike II«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [3] ŽUBRINIĆ, K.: »Energetske karakteristike hidroelektrana«, Diplomski rad, ETF, Zagreb, 1986.

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINATION OF BASIC ENERGY CHARACTERISTICS OF A HYDROELECTRIC POWER PLANT

In the first part of the paper energy flow by the transformation of potential into electrical energy is shown. The phases of the process where losses originate are stated. The determination of maximum power by fixed water inflow and head as well as the power factor is realized using dynamic programming, that is described in an adopted form. Finally, mathematical model for determination of the characteristics for particular hydroelectric power plant scheme is shown.

MATHEMATISCHES MODELL FÜR DIE BESTIMMUNG DER ENERGETISCHEN GRUNDCHARAKTERISTIKEN DER WASSERKRAFTWERKE

Im ersten Teil des Artikels wird der Energielauf bei der Umwandlung des potentiellen Stromes in den elektrischen beschrieben. Es wurden Prozessphasen bei denen Verluste entstehen angeführt. Zur Feststellung der maximalen Kraft bei bestimmten Durchlauf und Wasserabfall sowie dem Faktor der Kraft, wurde das dynamische Programmieren benutzt das in einer angepassten Form unterbreitet wurde. Am Ende wurde ein mathematisches Modell zur Bestimmung der Charakteristiken für ein bestimmtes Schema des Wasserkraftwerkes geschildert.

Naslov pisaca:

Prof. dr. Vjekoslav Filipović,
dipl. inž.

Mr. Irislav Drezga, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet Zagreb,
41000 Zagreb, Unska 3, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1991-09. 01.

OTOK TRI MILJE I ČERNOBIL

Dugoročne posljedice akcidenata i naučene lekcije

Vladimir Vuković, Zagreb

UDK 621.039.5
PREGLEDNI ČLANAK

Iscrpno se navode okolnosti i posljedice dvaju do danas najvećih akcidenata u nuklearnoj energetici.

Ključne riječi: nuklearna energija, nuklearni akcident, nuklearna sigurnost.

Ovo je četvrti i posljednji dio diskusije najvećih akcidenata u povijesti eksploatacije komercijalnih nuklearnih elektrana. Prethodna tri dijela objavljena su kako slijedi:

- »Energija« broj 6, prosinac 1987.
- »Energija« broj 4, kolovoz 1988.
- »Energija« broj 3, lipanj 1989.

Zbog novih spoznaja u toku čitavog proteklog vremena teme po člancima nisu strogo ograničene, ali to samo upotpunjuje cjelovitost zbivanja (TMI-2 kroz 12 godišnji i Černobil-4 kroz petogodišnji period).

1. OTOK TRI MILJE

1.1. Privremeno pospremanje reaktora i operacije pročišćavanja

Nakon 12 godina od taljenja velikog dijela jezgre u reaktoru TMI-2, u vezi s ovim akcidentom gotovo je sve jasno. Operacije privremenog pospremanja reaktora, grubo po godinama, tekle su ovako [22]:

- 1979. Dekontaminacija elektrane i pomoćne zgrade.
- 1980. Ventiliranje i pročišćavanje reaktorske zgrade.
Prvo ulaženje u reaktorsku zgradu.
Sporazum o procesingu vode iz akcidenta.
Sporazum o formiranju organizacije GEND, radi pospremanja postrojenja i izvlačenja dragocjenih pouka (istraživački program vodi i koordinira Idaho National Engineering Laboratory — INEL, a zbog tehničke i financijske podrške, uz vlasnika elektrane GPUN, u programu sudjeluju EPRI, NRC, DOE i članice OECD).
Financijski plan (jedna milijarda dolara) predviđa dovršetak dekontaminacije tijekom 1990.
- 1981. Sporazum DOE/NRC.
Plan nastavka aktivnosti.
- 1982. Eksperiment dekontaminacije reaktorske zgrade.
Jedno procesuiranje sve kontaminirane vode.
- 1983. Robotičko istraživanje osnovnih površina reaktorske zgrade.

- Provjera i osposobljavanje polarnog krana.
- 1984. Odmicanje poklopca reaktorske posude.
Organizacija vađenja goriva.
- 1985. Završena dekontaminacija na elevaciji radne platforme iznad reaktora.
Pokretanje sistema za pročišćavanje vode tijekom vađenja goriva.
Odmaknuta konstrukcija iznad reaktorske jezgre.
Počelo vađenja goriva.
- 1986. Zamucenje vode iznad jezgre.
Izvađeno 17 % materijala.
Predložen plan čuvanja prerađene vode NRC-u i plan monitoringa, pošto se gorivo izvadi.
- 1987. Povećana čistoća vode.
Izvađeno 21 % materijala iz jezgre.
- 1988. Završena robotička dekontaminacija bazne površine reaktorske zgrade.
Naručen isparivač za vodu.
Izvađeno oko 66 % materijala jezgre.
Završeno vađenje jezgre do donje elevacije goriva.
Počelo rastavljanje donjeg nosača jezgre.
- 1989. Sav krš goriva otpremljen za Idaho National Engineering Laboratory.
Kompletno čišćenje dna reaktorske posude.

Kao što se vidi, pripreme i pražnjenje reaktorske posude trajalo je nešto više od 10 godina. Problemi su zaista bili složeni od samog početka. Osim kontaminirane atmosfere u reaktorskoj zgradi, tu se nakupilo i oko 2 400 m³ vode (1 650 m³ isteklo je izravno iz reaktorskog optočnog sistema, 670 m³ ušlo je riječne vode preko oštećenog hladnjaka zraka, a oko 80 m³ potječe iz sistema za polijevanje kontejnmenta). Osim te vode, u spremnicima pomoćne zgrade i zgrade za gorivo našlo se oko 365 m³ vode koja se također mora pročititi. Vlasnik elektrane je predložio NRC-u 1986. godine da se sva voda generirana u akcidentu konačno procesira isparavanjem. To treba trajati 2,5 godine. Koncentrat isparivača, kao niskoradioaktivni otpad, odložio bi se po standardnom postupku. Interesantno je da je radijacija u reaktorskoj

zgradi (17. srpnja 1984), kad je otkrivena reaktorska posuda, bila bitno niža od očekivane. Tri monitora na vrhu reaktorske posude pokazivala su brzinu doze između 3 000 i 3 500 mrem/h, kada je poklopac podignut, a sloj vode 8 m iznad posude je to reducirao na 60–100 mrem/h. To je postignuto upornim pročišćavanjem kontaminirane vode preko ionskih izmjenjivača u sve vrijeme nakon akcidenta. Nakon akcidenta je u reaktorskoj zgradi bila visoka radijacija i kontaminirana atmosfera uz približno 3 m deblj log sloja kontaminirane vode na podovima zgrade (oko 200 $\mu\text{Ci/ml}$).

Cjelokupno vađenje materijala iz reaktorske posude završeno je 30. siječnja 1990. a mjesec dana kasnije Argone National Laboratory (ANL) je objavio da metalurško istraživanje uzorka izrezanog na »vrućoj rupi« ne pokazuje znatnije prodiranje oštećenja iz materijala obloge (nerđajući) u osnovni materijal dna reaktorske posude (slika 1). Naime, na mjestu penetracije, nekada instrumentacijske cijevi (sada rastaljane), podvodna TV-snimka pokazuje na jednom mjestu krater s koncentričnim neravninama, koje daju naslutiti oštećenje nešto veće dubine od debljine obloge dna posude. Budući da je u procesu taljenja bilo i »zamrzavanja«, bez metalurške analize nije moguće odrediti granice strukturnih faza i dubine oštećenja osnovnog materijala.



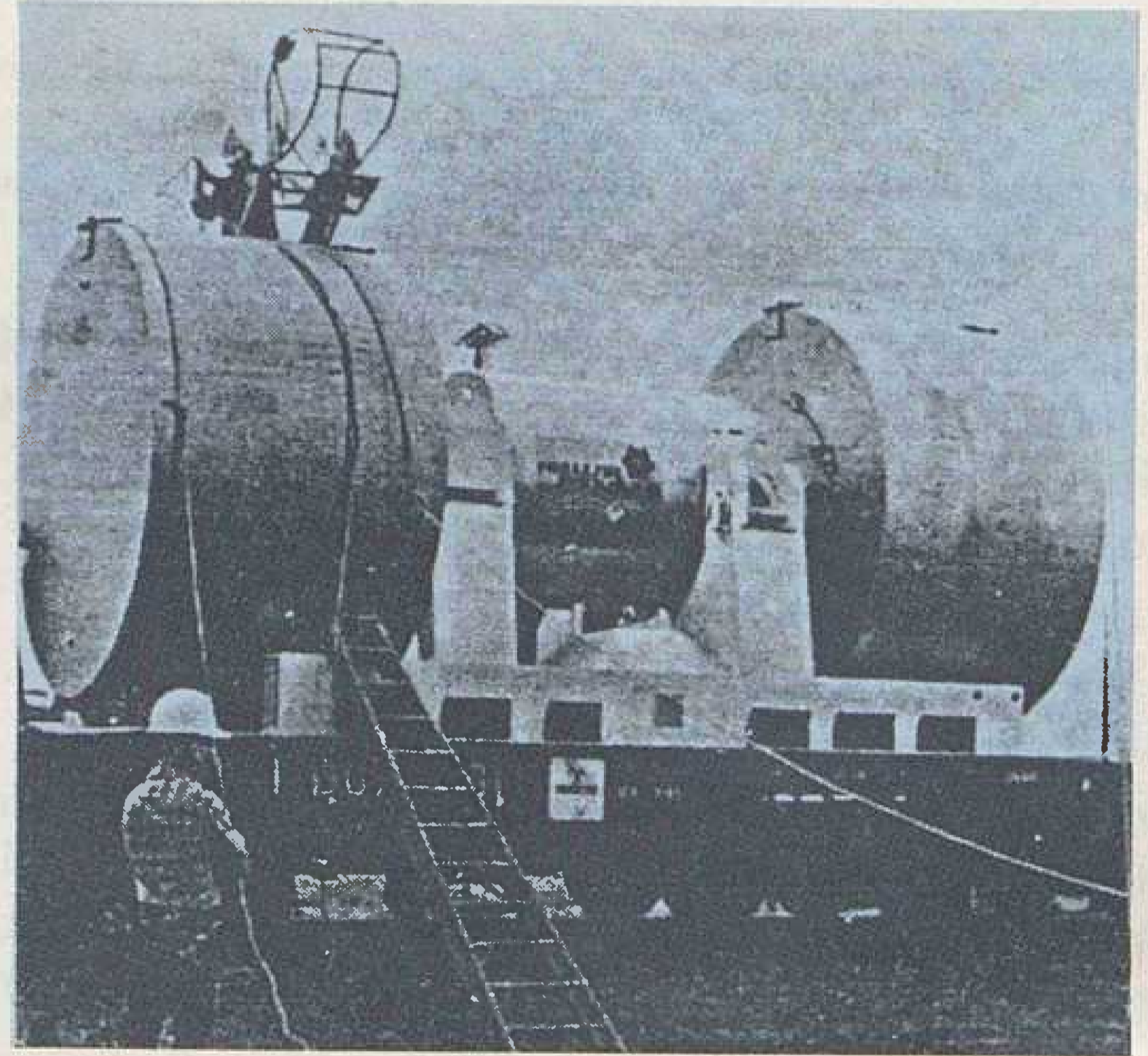
Slika 1. Snimak dna posude reaktora TMI-2 nakon vađenja jezgre (snimljeno 29. siječnja 1990. god.)

Operacija vađenja goriva, odnosno materijala iz reaktorske posude (započeto u listopadu 1985) rezultirala je odnošenjem više od 99 % goriva koje je tamo bilo za vrijeme akcidenta. U raznim fazama u programu je sudjelovalo više od tisuću ljudi. Zadnjih nekoliko tjedana vakuumirale su se prašnate materije s krša i odstranjivalo nekoliko preostalih komada koji su ležali na dnu posude.

Iako je vađenje goriva obavljeno pod strogim radiološkim nadzorom, 25. rujna 1989. dogodilo se incident uzrokovan prekomjernom ekspozicijom ruku dvaju radnika u dodiru s radioaktivnim materijalom iz posude. Prema procjeni, jedan radnik je primio dozu od 55 rema (1 rem = 1 cSv) na lijevoj ruci i 8 rema na desnoj, a drugi radnik 13 na desnoj ruci (granica je 18,75 rema za kalendarski kvartal). Inače u cijelom razdoblju vađenja i pospremanja goriva nije bilo nikakvih ispuštanja radioaktivnosti. Brzina doze

za radnike na platformi iznad posude u prosjeku je bila oko 10 mrem/h. Vlasnik elektrane je ipak kažnjen s 50 000 dolara jer su inspektori NRC ustanovili propuste administrativnog nadzora operacije, a 1987. se spominje neopreznost vođe smjene u kontrolnoj sobi TMI-2, pa i spavanje na dužnosti.

Materijal jezgre reaktora je u posebnim kontejnerima, na željezničkim vagonima (slika 2), u 22 pošiljke transportiran na privremeno odlagalište u Idaho National Laboratory — INL. U.S. NRC je 31 uzorak reaktorske posude podijelila laboratorijima u Americi i u zemljama OECD da bi se dobili što kvalitetniji rezultati efekata taljenja goriva na materijal reaktorske posude.



Slika 2. Kontejner za transport materijala iz jezgre reaktora TMI-2

Do konačnog pročišćavanja i dekontaminacije predviđa se vrijeme do 2,5 godine, jer preostaju čišćenje reaktorske i pomoćne zgrade (procesuiranje i ponovna upotreba velikih količina vode). U vodi se nalaze oko 1 020 kirija tricija i manje od po 2 kirija cezija i stroncija, s nemjerljivom količinom od 23 ostala izotopa. Za uparavanje predviđa se približno 8 700 m^3 niskoradioaktivne vode. Koncentrat uparivača odložio bi se standardnim postupkom.

Trajna »sahrana« TMI-2 predviđa se zajedno s jedinicom TMI-1, kada i ovoj istekne pogonski vijek. Vlasnik elektrane se, dakle, odlučio održavati TMI-2 pod posebnim nadzorom (bez goriva) još tridesetak godina, jer bi tada bile znatno niže doze kontaminanata (razine dominantnih izotopa Sr-90 i Cs-137 bi se raspolovile), razvila bi se tehnika dekontaminacije (robotika i kemijsko čišćenje) i odlaganja radioaktivnog otpada, pa bi se na taj način moglo »uštedjeti« 4 500 do 9 800 čovjek-rem.

1.2. Neka mišljenja izravnih sudionika u akcidentu

Na simpoziju IAEA o velikim akcidentima (Sorrento, 21–25. ožujka 1988) operater koji je bio u kontrolnoj sobi tijekom prvoga dijela akcidenta TMI-2 iznosi ova gledišta:

»Nakon akcidenta koji se dogodio na TMI-2 stalno su se ispitivali zašto sam isključio visokotlačno injektiranje. Objašnjavao sam da sam to učinio da bih spriječio prepunjavanje tlačnika vodom i tako prouzročilo udar tlaka koji je veći od projektnog, a time i pucanje sistema. Istraživači su mi odmah uzvraćali da njihovi proračuni pokazuju da to nije moguće. Stvarno, oni su u pravu, ali oni nisu bili na mjestu događaja. Oni su svoje proračune napravili za svojim stolom i dali su ih provjeriti drugim inženjerima i nekim pravnim vještacima. Konačni sud je najbolji sud. No, da sam to i znao, procedura mi još uvijek nalaže smanjiti protok injektiranja. To je apsurdna situacija. Tehničke specifikacije (propisi) diktirale su akciju koja je poduzeta; da se učinilo drugačije, bilo bi upravo suprotno od akcije za ublažavanje tranzijenta. . . . Jedno od zlatnih pravila operatera je da vjeruje svojim instrumentima. Ali naše osposobljavanje nije nas pripremio za situaciju kad neko vrijeme instrumentacija za pokazivanje razine u tlačniku nije pouzdan indikator inventara u sistemu. Instrument je pokazivao porast inventara, a curenje je stvarno smanjivalo inventar.

. . . Kako je vrijeme odmicalo, curenje hladila se nije detektiralo. Projektant postrojenja može biti zaprepašten da tako ozbiljan tranzijent može biti neotkriven. Znam, bio sam vrlo iznenađen kada smo kasnije otkrili gubljenje hladila jer smo uočili tri veća simptoma koji se javljaju pri gubljenju hladila:

- tlak sistema u opadanju (to smo zaista imali);
- opadanje razine u tlačniku (prema indikaciji to sigurno nismo imali) i
- visoka radijacija (ni to nismo imali).

. . . Postoji mala utjeha u činjenici da smo slijedili naše pisane procedure jer su nas one dovele na krivi put.

. . . Kako sam samo želio da se sve vrati na početak i da izmijenim ove dvije odluke. Ali to se ne može ostvariti, a ni akcident se ne smije ponoviti. Operater ne smije nikada doći u situaciju koju inženjer nije predhodno analizirao. Inženjer pak ne smije nikada analizirati situaciju bez razmatranja reakcije operatera na tu situaciju. U tom grmu leži zec.«

Na ANS TMI-2 sastanku u Washingtonu (31. 10. do 4. 11. 1988), izvršni potpredsjednik GPU Nuclear Corporation nazvao je TMI-2 akcident velikim istraživačkim projektom, velikim i skupim sigurnosnim eksperimentom. No to je ipak kompleksniji slučaj. Ishod »eksperimenta« u ovom slučaju nije bio predviđen, slabo instrumentaliziran i organiziran te brzo prekinut. Vjerojatno bi se teško našao financijer koji bi za ovako »pripremljen« »eksperiment« izdvojio nekoliko milijardi dolara. Druga je stvar što je akcident primorao mnogobrojne institucije u nuklearnoj industriji cijeloga svijeta da iz njega maksimalno nauče. Prava je sreća da je ova nesreća mimošla one koji bi teško ekonomski podnijeli ovakav »eksperiment« i da »dragocjeni« izvor lekcija nije rezultirao nikakvim radiološkim posljedicama za ljude i okoliš. Čovječanstvu su uvijek nesreće bile izvor pouka, ali njihove iznenadne pojave i goleme štete ne mogu se tretirati kao dobrovoljne akcije.

1.3. Dugoročne radiološke posljedice i pouke

Statistička studija kancerogenih pojava u blizini TMI elektrane zaključuje da takve pojave nisu evidentirane (koje bi eventualno rezultirale bilo iz normalnog pogona, bilo iz akcidenta 1979. godine). Studija je načinjena za Three Mile Island Public Health Fund (zdravstvena fundacija), a publicirana je 1990. Obuhvaća razdoblje od 1975. do 1985. godine.

Doze koje je primilo osoblje u elektrani (vlasnika i ugovarača) od 29. ožujka do 11. travnja 1979. jesu:

Veličina (gama) doze za cijelo tijelo (mrema)	Broj ljudi u području doze
100 — 250	118
251 — 500	25
505 — 750	12
751 — 1 000	2
1 000 — 2 000	3
2 000 — 3 000	0
3 000 — 4 000	3

Dekontaminacija elektrane, te vađenje i transport goriva i drugog radioaktivnog materijala bili su posebni izazov za radiološku zaštitu. Tu je napravljen pravi pionirski posao. Do 31. 8. 1988. profesionalan izloženost po godinama iznosila je:

Godina	Čovjek — rem	Maksimalna pojedinačna izloženost cijelog tijela (rem)
1979.	418	4,5
1980.	193	2,1
1981.	138	2,0
1982.	384	3,0
1983.	373	2,7
1984.	514	3,7
1985.	722	3,5
1986.	907	3,4
1987.	975	3,5
1988.	644	2,9

Osim incidenta opisanog u 1.1, u kolovozu 1979, samo je još šest radnika primilo veću dozu po koži (beta-zračenje).

Prema izvještaju Predsjednikove komisije (SAD), teorijski je najozračenija individua izvan elektrane mogla primiti dozu 70 mrema. Inače neki izvori sugeriraju da je kolektivna doza za populaciju koja živi u krugu radijusa od 50 milja mogla primiti 2 000 čovjek-rem, a to je 0,8% od prirodne radijacije.

Nakon akcidenta TMI-2, U.S. NRC je analizirala stanje sigurnosti američkih reaktora te objavila niz regulatornih dokumenata [10], [11], [16], [17] radi daljnjeg usavršavanja nuklearne sigurnosti. Među zadnjima je NUREG-1435, Vol. 1, Status of Safety Issues at Licensed Power Plants. TMI Action Plan Requirements, u kojem se tretira status izvršenja i verifikacije zahtjeva TMI plana akcija elektrana koje posjeduju uporabnu dozvolu. Ovaj NUREG također osigurava historijski pregled akcija tijekom proteklih deset godina.

U dogovoru s Westinghousom, a u skladu s američkom regulativom, i NE Krško je izradila svoj akcijski plan u 53 točke, koje se realiziraju prema prioritetu.

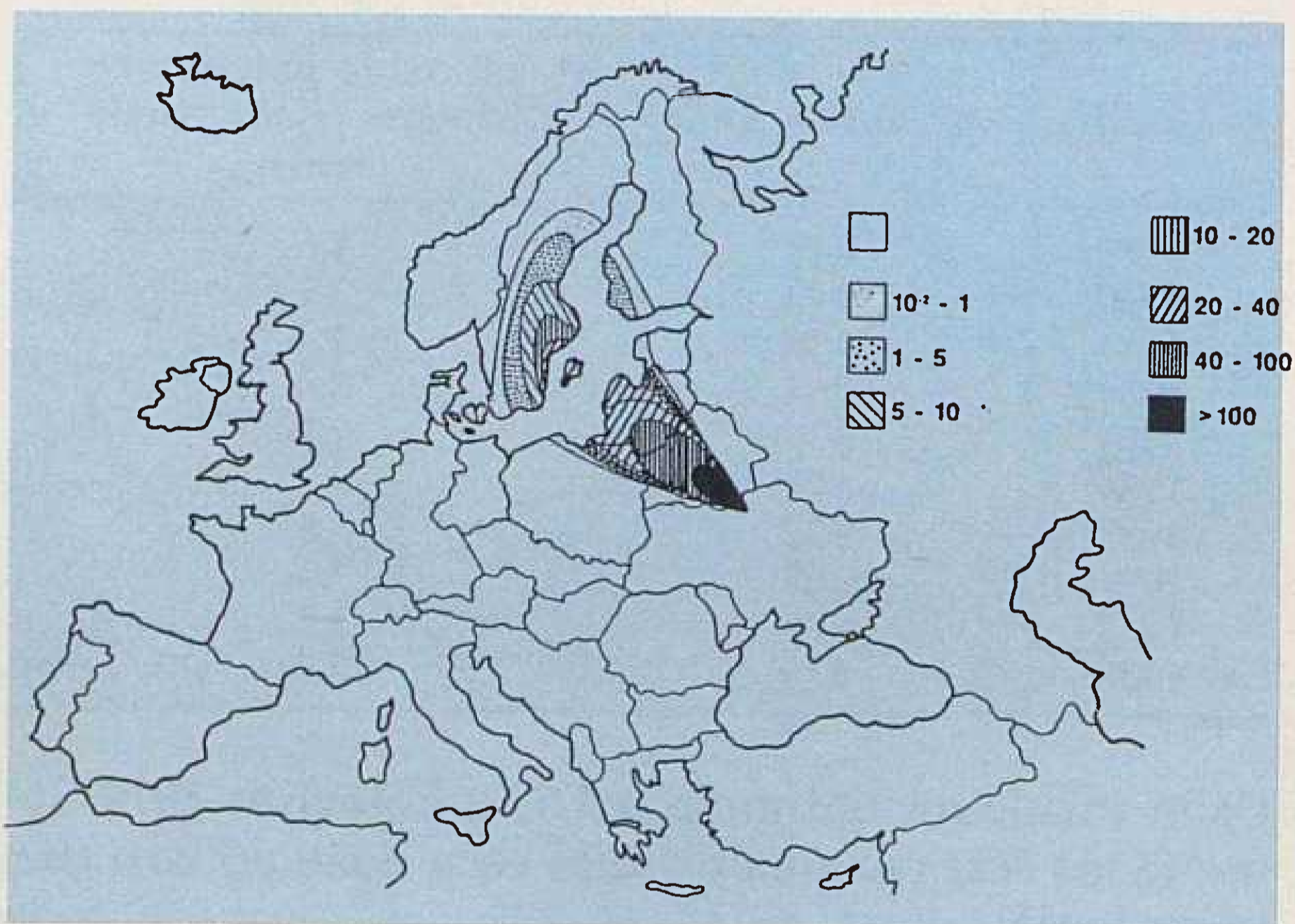
Karakter planiranih akcija može se svesti uglavnom na sljedeća područja:

- modifikacije projekta
- obuka operatera
- modifikacije procedura i
- poboljšanje organizacije.

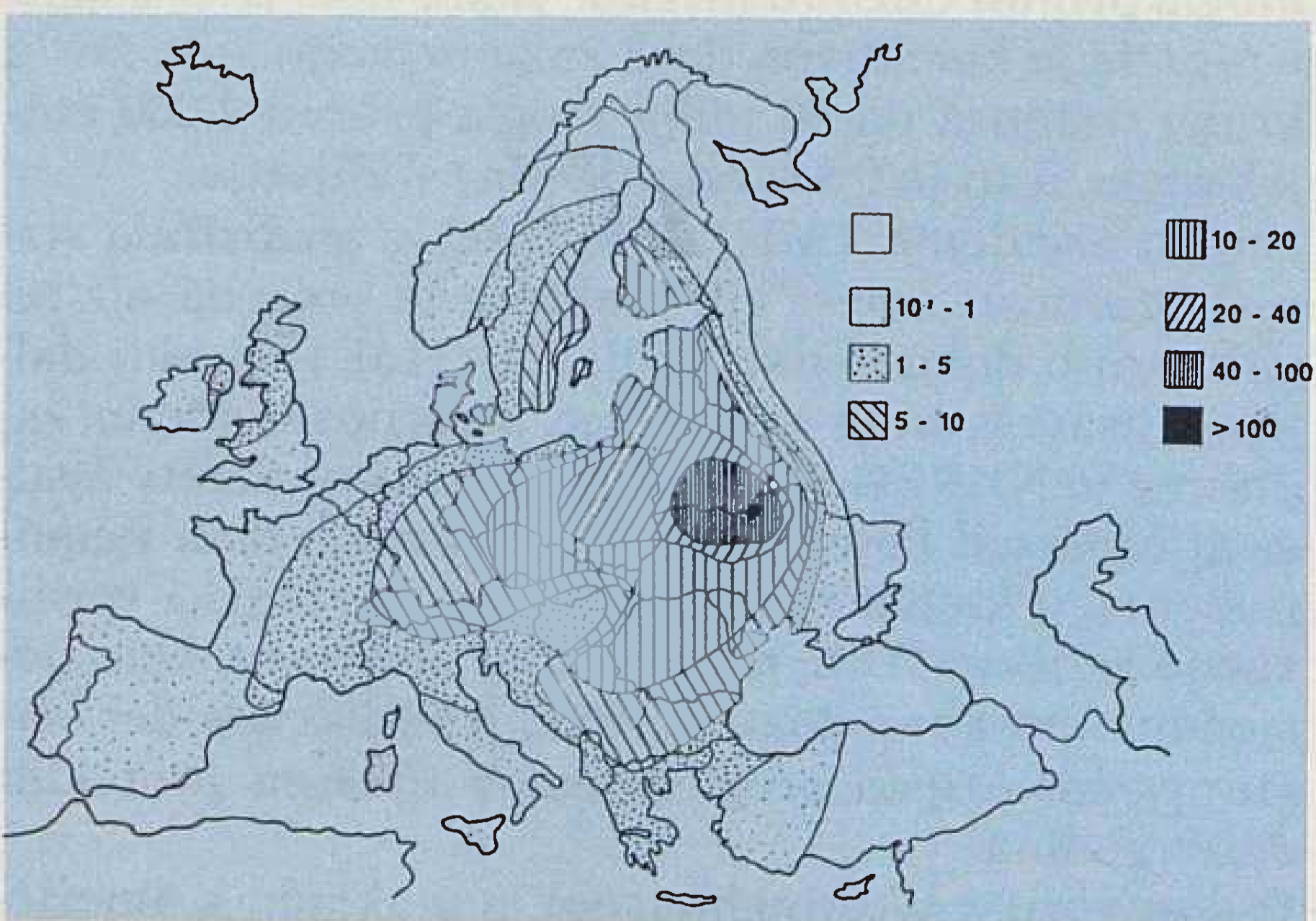
2. ČERNOBIL

2.1. Kontaminacija atmosfere i zemljišta

Pri eksploziji reaktora u Černobilu (od tada isključivo hipotetički slučaj zanemarive vjerojatnosti) u okolišu je izbačena velika količina radioaktivnog materijala. Na slici 3. prikazan je oblik disperzije radijacije po Evropi na dan 28. travnja, a na slici 4. 3. svibnja 1986. godine. Vrijednosti na legendi slika označavaju faktore multiplikacije brzine doze prirodne radijacije. Povišenje radioaktivnosti najprije su raportirali (28. travnja) iz Finske i Švedske (monitoring okoline na nuklearnim elektranama), gdje je vanjska brzina doze na nekim mjestima iznosila 10 i više u odnosu prema prirodnoj (pozadina) radijaciji. Za crtanje slika disperzije uzeti su podaci monitoringa i procjene. Kretanje anticiklone prema istoku (slika 4) promijeni-



Slika 3. Oblik disperzije radijacije po Evropi 28. travnja 1986. god.



Slika 4. Oblik disperzije radijacije po Evropi 3. svibnja 1986. god. »Čisti« kvadratić označava nedektilbilnu brzinu doze

nilo je oblik trajektorija tako, da se radioaktivnost proširila većim dijelom Europe. Nešto veća kontaminacija u sjevernom dijelu Engleske rezultirala je kišom u vrijeme prolaza aktivnog oblaka [30]. Prema preliminarnim procjenama monitoringa u zemljama zapadne Europe (tablica 1) dana je kolektivna efektivna doza, integrirana za 50 godina.

Distribucija po zemljama je različita i kreće se od 0,4 μSv (4 čovjek — Sv) u Portugalu, do 500 μSv (28 600 čovjek — Sv) u Italiji, gdje vrijednosti ispred zgrade znače srednju individualnu efektivnu dozu, a vrijednosti u zagradi, pedesetogodišnju kolektivnu efektivnu dozu.

Tablica 1. Dozimetrijska procjena za zemlje zapadne Europe

Put apsorpcije	Kolektivna doza (čovjek — Sv)	Postotak
inhalacija	3 600	5
mlijeko	11 000	14
povrće	15 200	20
meso	12 500	17
	33 300	44
Ukupno	75 600	100

Za bivšu Jugoslaviju su ove vrijednosti 300 μSv (6 800 čovjek — Sv).

Poslije akcidenta sovjetski su stručnjaci, bazirajući se na mjerenjima depozita unutar granica SSSR-a te svim ostalim sistematičnim mjerenjima (radiološkim i meteorološkim), prezentirali inventar jezgre i ispuštene radioaktivnosti (tablica 2, slika 5). U svojim su procjenama uglavnom ignorirali udio dijela koji je prešao sovjetsku granicu [49] [32]. Te procjene mogu odstupati i do +50%. Prema tablici se može zaključiti da je tijekom 10 dana ispušteno 100% plemenitih plinova, 0 do 20% hlapivih fizijskih produkata i 3 do 4% svih ostalih radionuklida.

Tablica 2. Inventar jezgre i ukupna ispuštanja

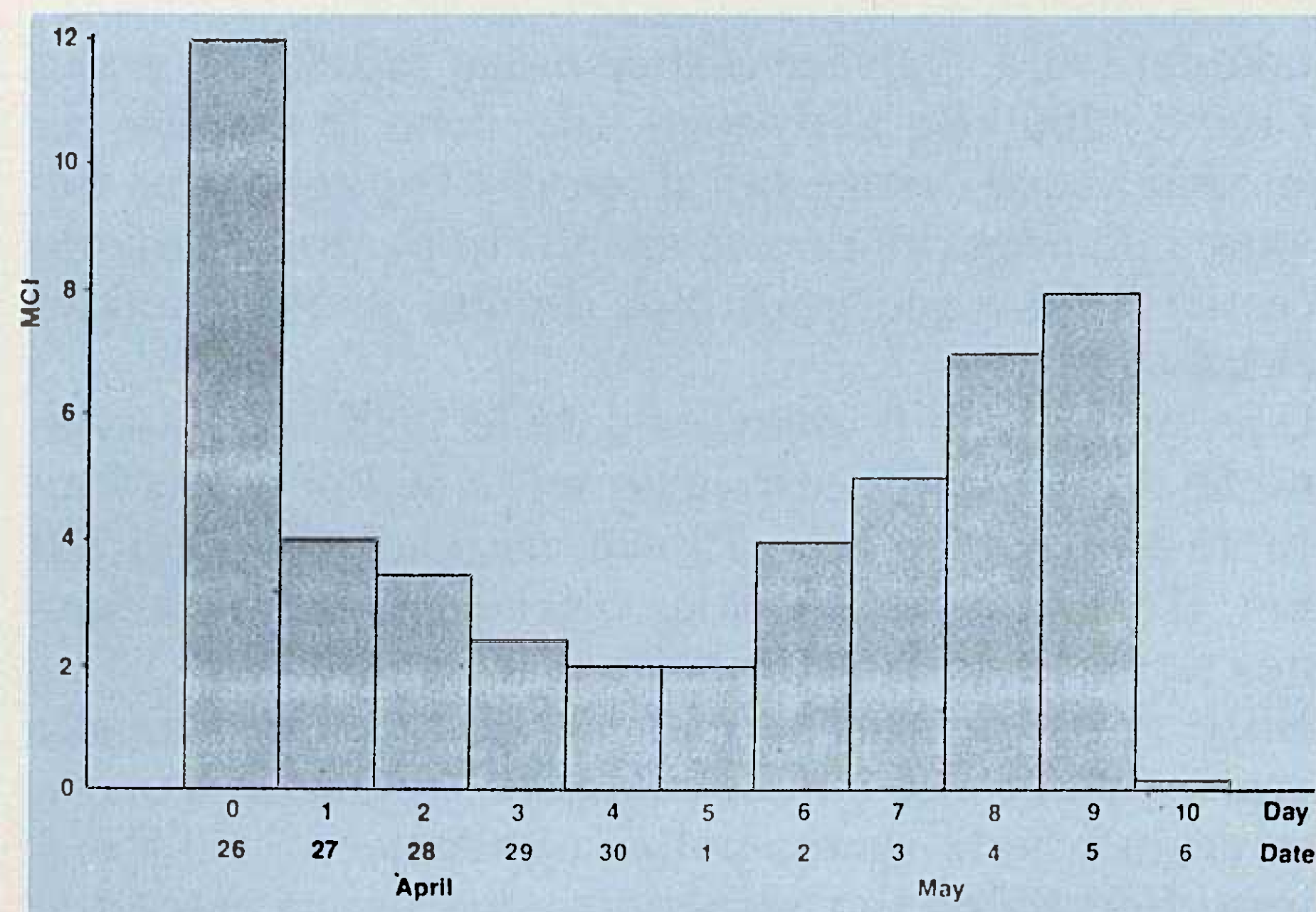
Element	T 1/2, d	U jezgri		Ispuštena radioaktivnost MCi	Ispušteno inventara jezgre %
		MCi (26.4.1986) ^a	MCi (6.5.1986) ^{a,b}		
Kr-85	3 930	0,89	0,89	0,89	100,0
Sr-89	53	62	54	2,16	4,0
Sr-90	1,02 × 10E4	5,4	5,4	0,216	4,0
Zr-95	65,6	135	120	3,8	3,2
Mo-99	2,8	1 980	130	2,98	2,3
Ru-103	39,5	133	110	3,21	2,9
Ru-106	368	54	54	1,57	2,9
I-131	8,04	85	36	7,02(13) ^d	20,0
Te-131	3,25	90	8,7	1,29	15,0
Xe-133	5,27	196	45	45,9	100,0
Cs-134	750	5	5	0,513	10,0
Cs-137	1,1 × 10E4	7,8	7,8	1,018(2,0) ^d	13,0
Ba-140	12,8	142	78	4,38	5,6
Ce-141	32,5	152	120	2,73	2,3
Ce-144	284	86	86	2,42	2,8
Np-239	2,35	98	3,8	0,113	3,0
Pu-238	3,15 × 10E4	2,7 × 10E-2	2,7 × 10E-2	8,1 × 10E-4	3,8
Pu-239	8,90 × 10E6	2,3 × 10E-2	2,3 × 10E-2	6,9 × 10E-4	3,0
Pu-240	2,40 × 10E6	3,24 × 10E-2	3,2 × 10E-2	9,7 × 10E-2	3,0
Pu-241	4 800	4	4,6	0,138	3,0
Cm-242	164	0,7	0,7	0,021	3,0

Napomena: a) Bazirano na INSAG-izvještaju prema sovjetskim izvorima.

b) Korekcija s obzirom na radioaktivni raspad do 6. svibnja.

c) Sovjetski podatak previsok oko 10. puta.

d) Vrijednosti u zgradama pokazuju nove podatke prema sovjetskim ekspertima.



Slika 5. Ispuštena radioaktivnosti (MCi) po danima od 24. travnja do 6. svibnja 1986. god. Ispuštanje je bilo pod kontrolom 6. svibnja, a do tada je pobjeglo oko 50 MCi. Dnevni ispušt izračunat je prema radio-aktivnom raspadu do 6. svibnja

Procijenjeno je da je na području europskog dijela SSSR-a palo oko 50 MCi, odnosno 3,5% inventara radioaktivne jezgre (do 6. 5. 1986), a isto taoliko da je prešlo granicu SSSR-a (50 MCi). Prema istim izvorima [32] [49] distribucija depozita goriva oko nuklearne elektrane iznosila je:

U elektrani	0,3 do 0,5%	(0,6 do 1,0 t)
Zona 0–20 km	1,5 do 2,0%	(3,0 do 4,0 t)
Izvan 20 km	1,0 do 1,5%	(2,0 do 3,0 t)

Tablica 3. Inventar jezgre i ukupna ispuštanja

Element	Inventar jezgre (MCi) b	Ispušteno (MCi)		Ispušteno %
		c	d	
Kr-85	0,55		(>0,5)	(>90,9)
Sr-89	77		(0,61)	(0,79)
Sr-90	4,2		(0,034)	(0,809)
Y-91	97		(0,19)	(0,196)
Zr-95	130	0,24	0,2300	0,177
Mo-99	65		(0,45)	(0,692)
Ru-103	110	0,81	72	0,65
Ru-106	28	0,14	0,17	0,61
Sb-127	4,8		(0,49)	(10,2)
Te-127	1		(0,1)	(10)
Te-129	3,4		(0,32)	(9,41)
I-131	63	45,9	36	57,1
Te-131	1,8		(0,18)	(10)
Te-132	58	9,99	5,3	9,14
I-133	12	99,9	8,1	67,5
Xe-133	130	175,5	(>120)	(>92,3)
Xe-133 m	2,6			(>88,5)
Cs-134	3,7	1,296	(>2,3)	35,14
Cs-136	1,9	0,54	1,3	28,95
Cs-137	5,6	2,403	0,55	42,86
Ba-140	120	1,188	2,4	0,83
La-140	135	1,188	1	(0,2)
Ce-141	120	0,24	(0,27)	0,192
Ce-144	80	0,14	0,23	0,175
Pm-147	13		0,14	(0,185)
			(0,024)	

Tablica je objavljena u Health Phys., 57, Nov. 89.

b OREGON 2 model, aktivnosti su korigirane s obzirom na radioaktivni raspad do 3 d po akcidentu.

c PATRIC model bazirano na aktivnostima izmjerenim u Švedskoj i Finskoj

d procijenjeno s korekcijom 3 dana po akcidentu.

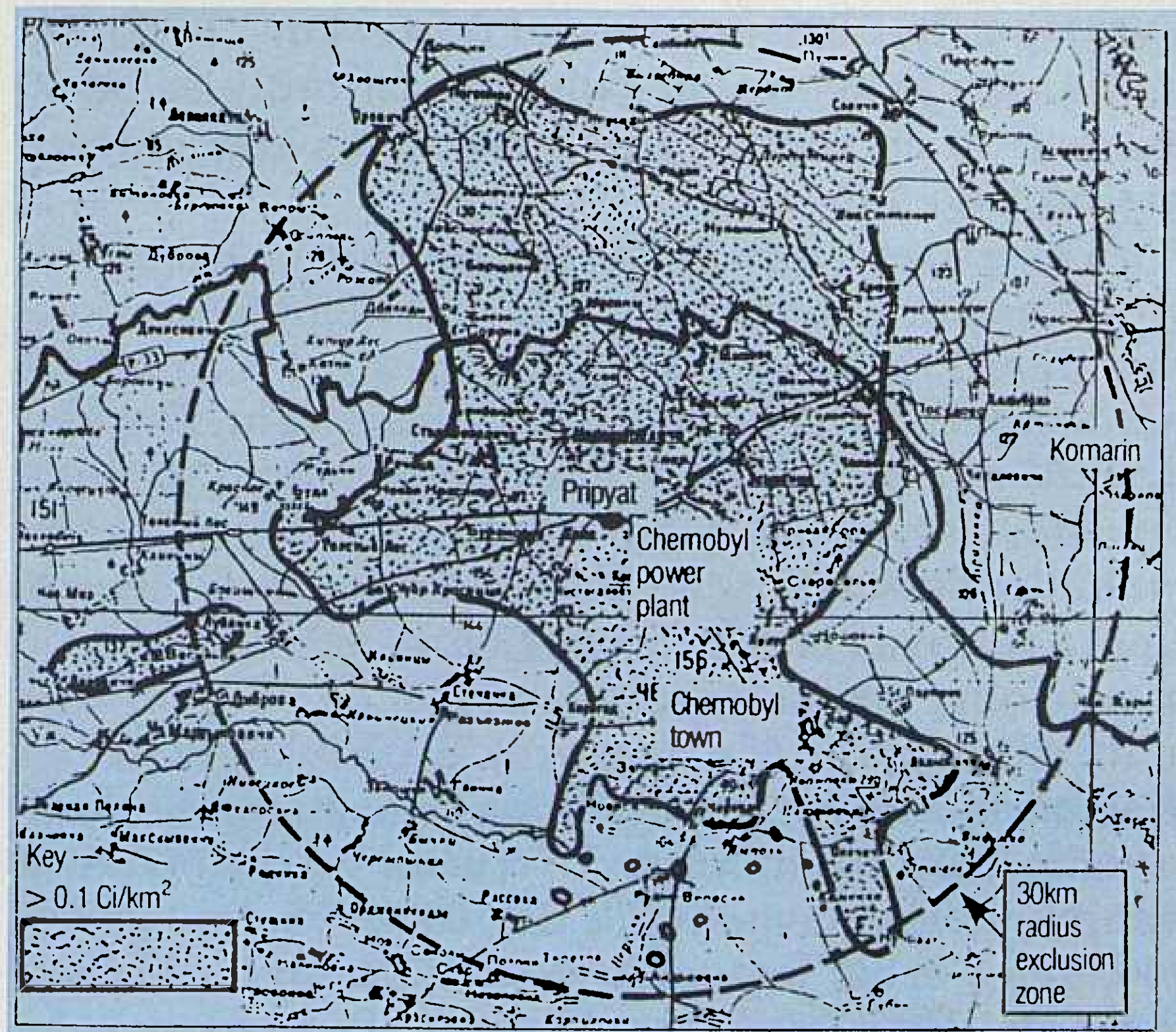
Dimenzije čestica koje su padale kretale su se manje od 1 mikrona do 10 mikrona.

Analize radioaktivnosti ispusta iz Černobila rađene su u više zemalja svijeta. U tablici 3. prikazani su rezultati analize prema američkim računskim modelima.

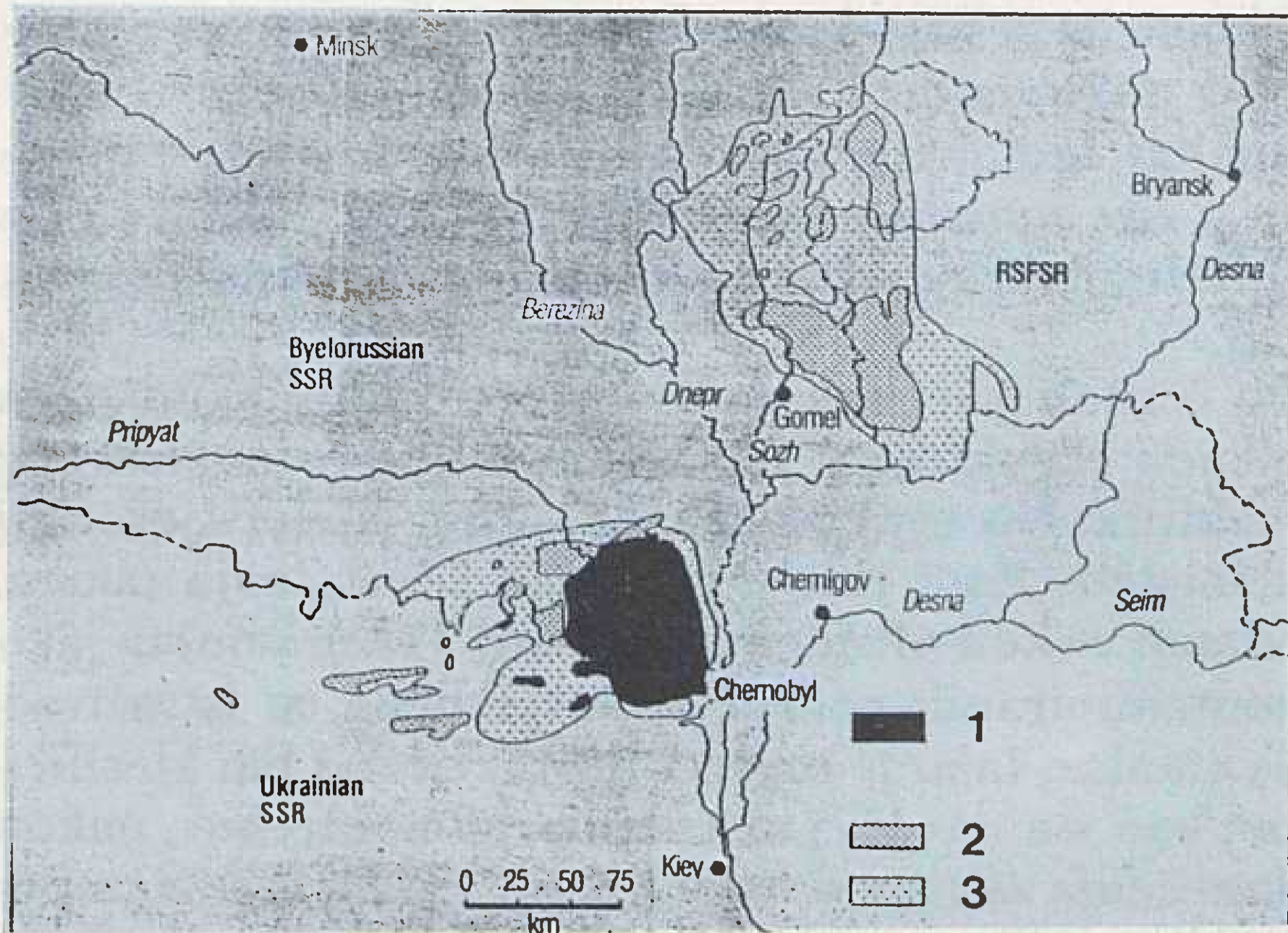
Do černobilske katastrofe fizijski radionuklidi nisu nikada eksplozijom izbacivani iz jezgre nuklearnog reaktora. No ovaj put padali su po cijeloj sjevernoj hemisferi. Radi praćenja stanja i izvlačenja pouka, odmah nakon akcidenta (svibanj 1986), unutar jako kontaminiranih područja, postavljene su istraživačke stanice. Iako je najveći broj izvještaj bio klasificiran kao »tajna« [52] ili »za internu upotrebu«, nakon donošenja zakona o tisku (lipanj 1990.), većina radioloških studija postala je pristupačna. Izuzetak su ostale samo osjetljivije informacije o kontaminaciji prehrambenih proizvoda, porijeklom iz blizine Černobila, kao i detalji utjecaja na zdravlje.

Prve detaljnije karte kontaminacije s Cs-137 objavljene su 1990. godine. Bjeloruske i Ukrajinske novine također su počele objavljivati karte kontaminacije i s drugim dugoživućim radionuklidima (Sr-90, Pu-239, Pu-240). Karte ekskluzivne zone koje su načinjene u travnju i svibnju 1986. sada su znatno popravljene (slika 6). Istočna strana kontaminirane zone je smanjena, a sjeverna i sjeverozapadna su povećane, pa su mnoga nova sela evakuirana. Još 1989. bilo je kontaminirano 325 km² naseljenih područja s Cs-137 aktivnosti iznad 40 Ci/km² (1500 kBq/m²). Pojedine vruće točke u Bjelorusiji i u području Brjanska u Rusiji (udaljenosti 200 do 250 km) imale su mnogo jaču kontaminaciju. Zapažene su »mrlje« s preko 80 Ci/km² (3 000 kBq/m²).

Na karti kontaminacije (slika 7) s Cs-137 u legendi je sa (1) označene područje s »teškim« padavinama, uključivši čestice goriva i druge nehlapive izotope te Cs-137 sa više od 40 Ci/km²; sa (2) je označena stalno kontrolirana zona sa Cs-137 aktivnosti 15–40 Ci/km², a sa (3) povremeno kontrolirana zona sa Cs-137 sa Cs-137 aktivnosti 5–15 Ci/km².



Slika 6. Karta kontaminacije ekskluzivne zone radijusa 30 km



Slika 7. Karta kontaminacije šireg područja (dijelovi Ukrajine, Bjelorusije i Rusije)

Područje s aktivnošću višom od 40 Ci/km^2 je konfiscirano i zatvoreno. Iz područja »pod strogom radiološkom kontrolom« treba iseliti još 33 800 ljudi koji žive u seoskim zajednicama, a kojima se doza približava na 35 rema ($0,35 \text{ Sv}$), koliko je »dozvoljena granica opasnosti« apsorbirane doze za cijeli život. Ministarstvo zdravlja najavljuje nova raseljavanja od 1991. do 1995. godine. Izvan ekskluzivne zone na 715 km^2 živi oko 234 000 ljudi na kontaminiranom području s Cs-137, razine 15 do 40 Ci/km^2 . Za te ljude predviđena je opskrba čistim mlijekom i drugim proizvodima iz nekontaminiranih područja, a predviđena je i mala financijska naknada. Periodičkim medicinskim ispitivanjima u zoni (3) podvrgnuto je 545 000 ljudi koji žive na $1 409 \text{ km}^2$ s razinom kontaminacije Cs-137, od 5 do 15 Ci/km^2 .

Kako je kontaminacija »vrućih mrlja« bila određena nasumce, odlučeno je konačno 1990. da se površine sa Cs-137 na razini iznad 1 Ci/km^2 (37 kBq/m^2) imaju smatrati kontaminiranim. Na tim područjima živi oko 3 070 300 ljudi, a za kompenzaciju im se daje 30 rubalja mjesečno.

Plutonij u tlu (aktivnosti iznad $0,1 \text{ Ci/km}^2$ ($3 700 \text{ Bq/m}^2$)) nađen je uglavnom samo unutar radijusa od 30 km, a Sr-90 na području od $8 000 \text{ km}^2$ s koncentracijom od 1 do 3 Ci/km^2 .

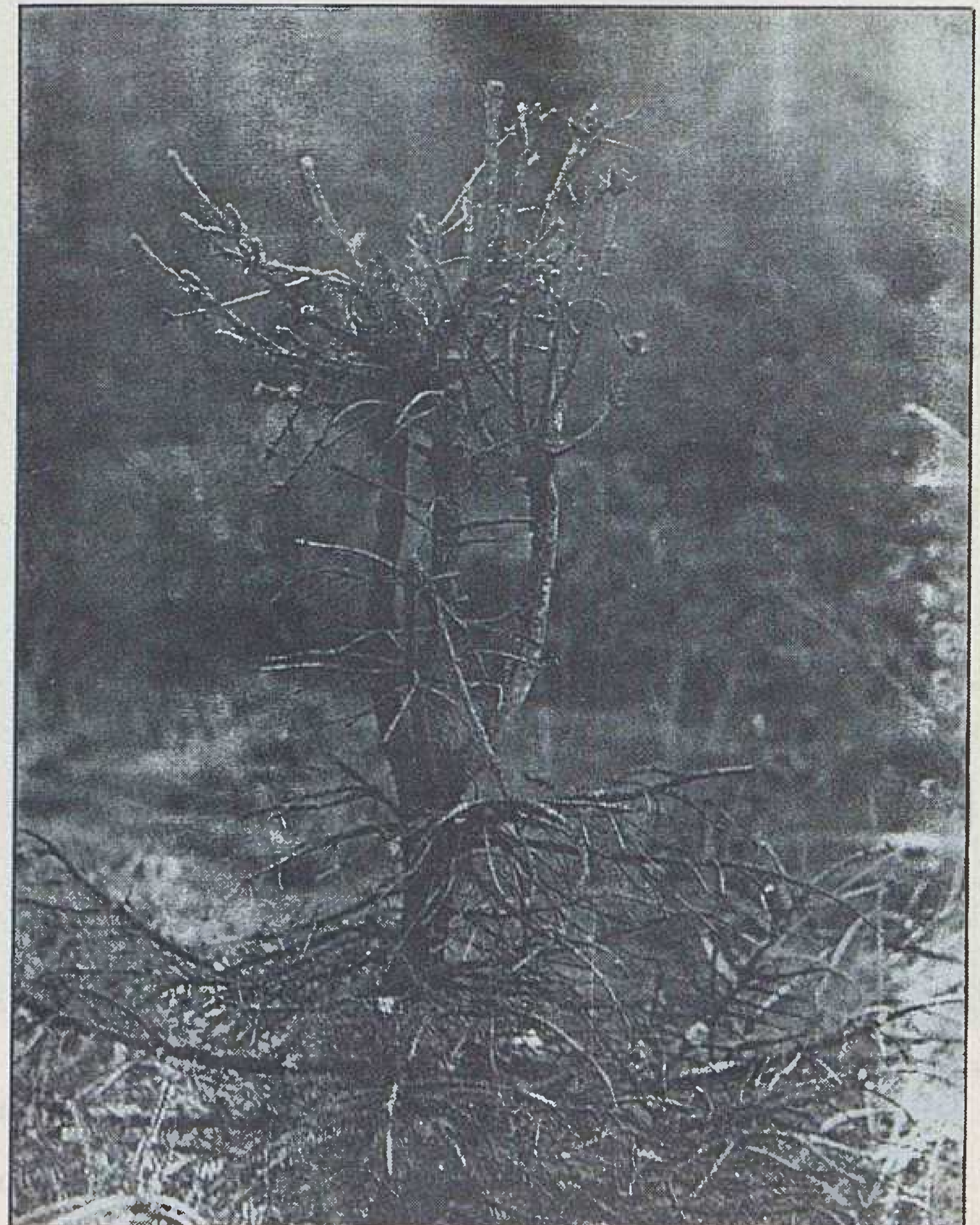
»Vruće čestice« (netopljivi mikroskopski fragmenti goriva raznih veličina) mogu se naći i u plućima pojedinih ljudi. Takve su čestice bile prisutne u padalinama raznih zemalja i intenzivno se studiraju. Zapadni eksperti misle da te čestice ne predstavljaju ozbiljan doprinos dozi u usporedbi s topljivim oblicima radionuklida. Sovjetski znanstvenici tvrde da su oba izotopska sastava i relativna veličina vrućih čestica koje su pale bliže reaktora potpuno različite od onih koje su formirali aerosoli u Švedskoj, Šviciarskoj ili južnoj Njemačkoj. Čestice studirane na Zapadu imale su dimenzije 2 do 10 mikrona. U vrućim česticama su u manjoj mjeri uglavnom bili Ru-103, Zr-95, Ce-141, Ce-144, kao i drugi izotopi koji su »izgarali« u hlapive elemente. Bliže reaktoru (Poljska, Bugarska) neke vruće čestice imale su veličinu sve do 500 mikrona, a neke od njih su bile ne samo emiteri gama i beta već

također i alfa. Najveće čestice mogu sadržavati svaka i 100 do 300 kBq aktivnosti. Utvrđeno je također da su veće vruće čestice bili dijelovi UO_2 , koji su se odvojili i dispergirali prvom eksplozijom, dok su manje čestice izbacivane grafitnim dimom danima nakon eksplozije.

U jednoj je studiji objavljeno da je 1988. identificirano 50 do 60 vrućih čestica po m^2 , a 50 km od reaktora, te 2 čestice po m^2 u Kijevu, na udaljenosti od 130 km. U SSSR-u vruće čestice privlače pažnju i »zabavne« su jer se lako identificiraju na filmovima.

Bliže reaktora nisu se nalazile samo mikroskopske vruće čestice već i makroskopski fragmenti goriva, stvarajući mala »gama-polja« u promjeru 2 do 5 metara. Specijalni tim stručnjaka još uvijek istražuje »vruće mrlje«. Kada se pronađu, one se označe, ograde i kasnije uklone.

Očekuje se da će u budućnosti u nekim dijelovima ekskluzivne zone biti moguće ljudske aktivnosti. Ali postoji i zona manjeg radijusa (10 km), unutar koje će uvijek ostati radiološki rezervat. Ona je vrlo teško kontaminirana (slika 8) ne samo kao rezultat padalina već i zato što je tu locirano oko 800 odlagališta radioaktivnog otpada (mnoga vrlo primitivna i neuredna), kontaminirana oprema i transportna sredstva, odjeća, gornji sloj skinute zemlje s oko 40 000 hektara površine, skinuti asfalt s černobilske elektrane i grada Pripjata, drveće iz »crvene šume« (blizu 400 hektara crnogorične šume koja je blizu elektrane uništena prvim radioaktivnim oblakom, te mnogo drugih predmeta klasificiranih kao nuklearan otpad i spakovan ovdje u jamama i/ili zakopan tijekom druge polovice 1986. Ova odlagališta počela su i propuštati, te kontaminirati podzemnu vodu [52].

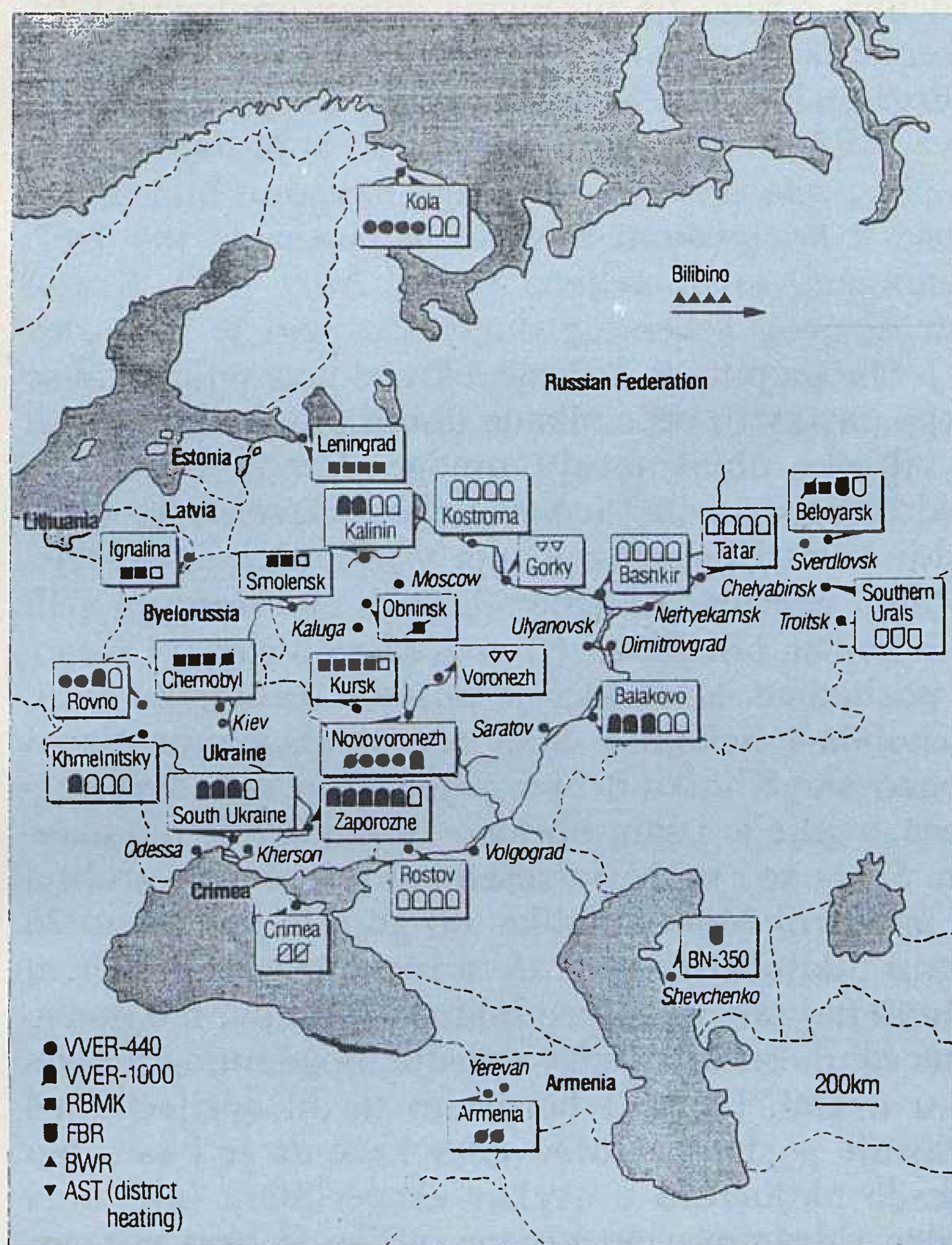


Slika 8. Uništena crnogorična šuma u okolini elektrane

2.2. Današnje stanje RBMK-tehnologije

Na slici 9. je karta energetskih nuklearnih reaktora SSSR-a («popunjeni» simboli znače reaktor u pogonu, a «prazni» u fazi planiranja ili izgradnje; precrtani simbol znači prekid aktivnosti ili pogona).

U pogonu se nalazi 59 reaktora, od čega su 16 RBMK (jedinične snage 1 000 do 1 500 MWe), te 25 jedinica PWR (snage od 400 do 1 000 MWe) i ostali.



Slika 9. Raspored nuklearnih reaktora u Sovjetskom Savezu

U izgradnji su 23 reaktora snage 800 do 1 000 MWe, a planirana je i gradnja još 9 reaktorskih postrojenja snage 800 do 1 000 MWe.

Zaustavljeni su reaktori:

- Bjelojarsk 1, 108 MWe (RBMK)
- Černobil 4, 1000 MWe (RBMK)
- Armenija 1, 408 MWe (PWR)
- Armenija 2, 408 MWe (PWR)
- Novovoranež 1, 210 MWe (PWR)

Odgodene su aktivnosti na:

- Gorkij 1 — (daljinsko grijanje)
- Gorkij 2, — (daljinsko grijanje)
- BN 1600 1 600 MWe (FBR)
- Černobil 5, 1 000 MWe (RBMK)
- Černobil 6, 1 000 MWe (RBMK)
- Ignalina 3, 1 500 MWe (RBMK)
- Kursk 6, 1 000 MWe (RBMK)
- Smolensk 4, 1 000 MWe (RBMK)

i još na 9 PWR jedinica snage 940 do 1 000 MWe.

Zanimljivo je napomenuti da kod PWR sistema manjih snaga većih problema s generatorima pare nije bilo (cijevi). Međutim, kod velikih jediničnih snaga i

velikog specifičnog opterećenja, problemi se pojavljuju i kod ovih horizontalnih generatora pare [54]. Da bi se ustanovili razlozi problema, naponi se koncentriraju na:

- analizu proizvodne tehnike (osobine materijala i ostatna naprezanja)
- analizu pogonskih opterećenja (tlak, temperatura, varijacija razine)
- analizu utjecaja kemije vode na iniciranje i napredovanje pukotina
- razvoj tehnike relaksacije ostatnih naprezanja i popravljavanje osobina materijala cijevnih komora
- razvoj i primjenu opreme za ispitivanje integriteta povezanosti komora
- iznalaženje načina popravka oštećenih generatora pare
- razvoj tehnike redukcije ostatnih naprezanja i prihvatljivosti oštećenja generatora pare kao isporučenih komponenata
- razvoj strukturnih poboljšanja generatora pare.

Paralelno s time pozornost se pridaje razvoju postupaka zamjene generatora pare koji imaju oštećene cijevne komore.

Naravno da je černobilska katastrofa primorala sovjetske stručnjake, znanstvenike, vlasti i sve ostale aktere da temeljito analiziraju RBMK tehnologiju, industriju, te institucijsku problematiku kako bi se dobile smjernice kako dalje postupiti, kamo krenuti. Zbog hitnosti na reaktorima u pogonu obavljene su mnogobrojne modifikacije [46], kao što je:

- dodavanje novih apsorbira neutrona (oko 80 elemenata)
- povišenje obogaćenja goriva (2,4% U-235) da bi se smanjio koeficijent reaktivnosti šupljina (mnogo se pažnje posvećuje variranju odnosa uran-voda-grafit)
- povećanje minimalno dozvoljene granice unošenja negativne reaktivnosti (s 15 na 30) apsorpcijskih šipki
- povećanje broja skraćenih apsorpcijskih šipki koje se ubacuju u jezgru s donje strane reaktora (s 24 na 32) kod RBMK 1000, pa sve do 40 kod RBMK-1500, a poboljšanja su također učinjena na njihovu automatskom ubacivanju u jezgru u slučaju aktiviranja zaštitnog sistema pri opasnosti.

Odmah nakon akcidentu (u travnju 1986) kontrolne šipke su spuštene u jezgru za 0,7 m, da bi njihova konfiguracija eliminirala mogući efekt pozitivne reaktivnosti koja se javlja kada se šipke kreću pod značajnom deformacijom neutronske polja (recimo pri smanjenom broju ubačenih kontrolnih šipki u jezgru). Navedene mjere i povećani broj apsorpcijskih šipki, zajedno s primjenom elektrodinamičkog sistema koji usporava šipke na kraju puta i time dozvoljava veću brzinu njihova ubacivanja, povećava brzinu unošenja negativne reaktivnosti u jezgru. Osim toga, poboljšana je i konstrukcija kontrolnih šipki.

Broj signala za obustavu reaktora u opasnosti povećan je još za:

- opadanje granica reaktivnosti u pogonu
- porast tlaka u prostoru jezgre reaktora i u prostorima primarnog kruga

- pad protoka vode kroz svaku grupu distribucijskih komora
- sniženje granice kavitacije cirkulacijskih pumpi.

Kontrolni sistemi su također poboljšani. Nekada je ciklus za računanje pogonske granične reaktivnosti trajao oko 2 sata (da bi operater dobio ispisani primjerak), što je sada smanjeno na 5 minuta, a rezultati se direktno iskazuju na ekranu u kontrolnoj sobi. Vrijeme za dobivanje svježih informacija na monitoru reducirano je na 5 sekundi, za parametre koji se mjere direktno, a na 2 minute, za parametre koji se izračunavaju. Greške uređaja za blokiranje registri- raju se nezavisno od bilo kakve intervencije persona- la.

Za simulaciju velikih akcidenata primijenjena je po- boljšana tehnika. Simulacija akcidenta s potpunim rezanjem komore jedne grupe kanala i istovremenog gubitka svih izvora električne energije pokazuje da temperature obloge elementa goriva ne prelaze 650 °C i da tlak u tlačnoj cijevi ne prelazi dozvoljene vrijednosti [46].

U procesu je razvoj i primjena postupka poboljšanja tehnoloških kanala (kontakt grafita i tlačnih cijevi te njihova zamjena).

Sve u svemu, sovjetski stručnjaci ne samo da ne odustaju od RBMK-tehnologije već tvrde da nakon svih poboljšanja izvedenih na ovome sistemu ne po- stoji mogućnost ponavljanja slijeda černobilskog ak- cidenta, a čak se govori i o daljem razvoju ovog siste- ma, te uporno ponavljaju prednosti koje on posjedu- je.

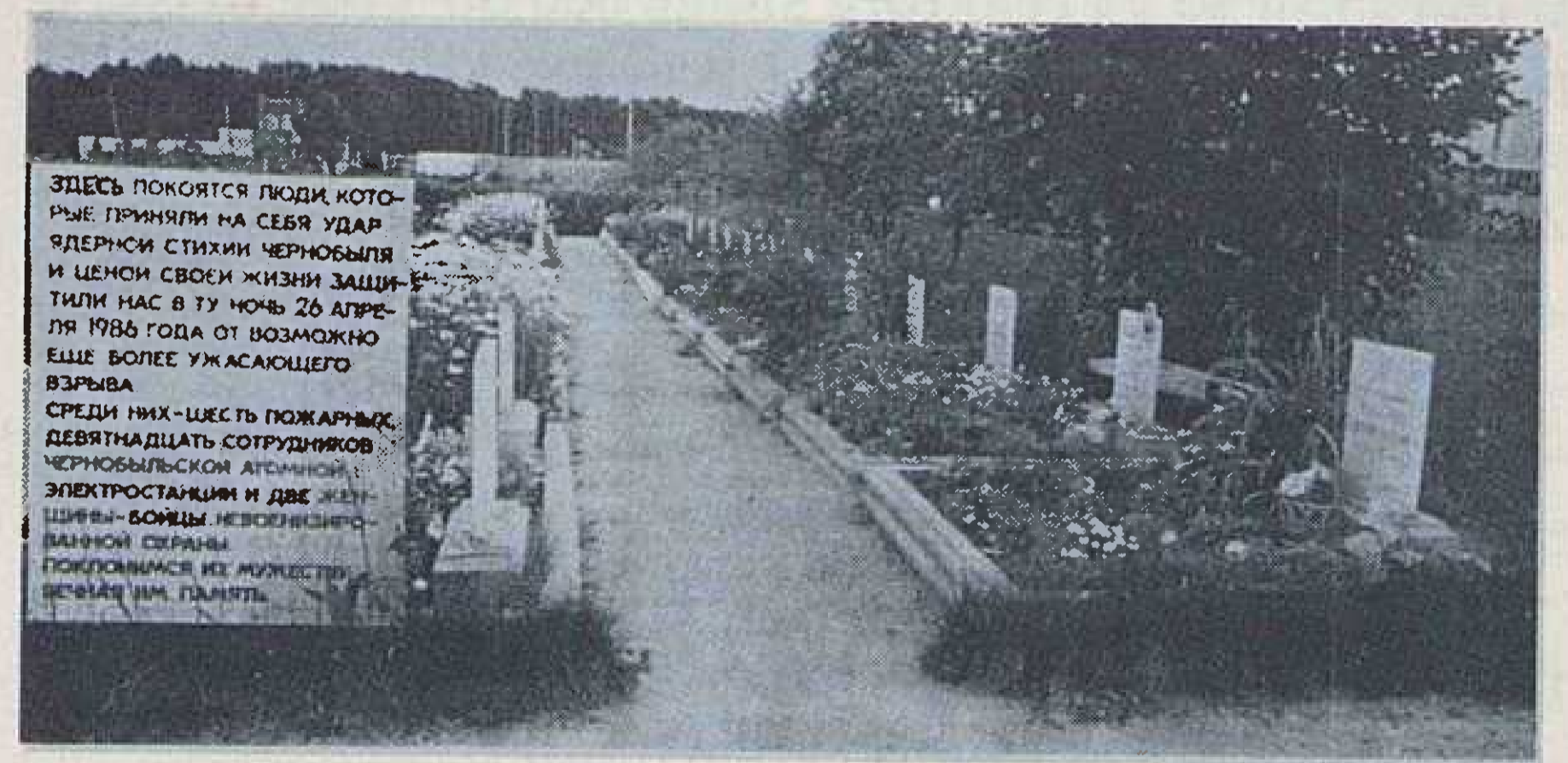
2.3. Učenje će biti dugotrajno

Potrebno je još mnogo vremena da bi se moglo tvr- diti kako je sve jasno o uzrocima i posljedicama akci- denta. To potvrđuju i svakodnevne nove spoznaje. Stupanj sigurnosti tehničko-tehnološkog sistema proizlazi iz kompromisa kvalitete i ekonomskih mo- gućnosti. U tom balansiraju, racionalna mjera se mora postići (zadovoljenje standarda i sigurnosnih kriterija). I inače može doći do nesreće i neizbježnih kazni koje su mnogostruko veće od preventivnih troškova. Ovaj akcident potvrdio je da sistem nije bio na komercijalnoj razini, a čovječanstvu preostaje da crpi bezbrojne pouke koje iz »eksperimenta« pro- izlaze. Čini se da je ovaj akcident primorao različita ljudska društva da međusobno surađuju i izmjenjuju informacije. U Moskvi je 15. 5. 1989. inauguriran WA- NO-cenmtar (World Assotiation of Nuclear Opera- tors), koji treba organizirati globalnu mrežu razmje- ne informacija i između nuklearnih elektrana u svije- tu. Članice su zemlje COMECON-a i Finska, a to je četvrti i posljednji centar ove asocijacije [23]. U Beču je također potpisan (u rujnu 1990) sporazum (IAEA i SSSR-a s Ukrajinom i Bjelorusijom) o osnivanju čer- nobilskog međunarodnog istraživačkog centra, u ko- jem bi se sovjetskim znanstvenicima (koji su angaži- rani tu još od 1986) pridružili i znanstvenici mnogih drugih zemalja. Prvi projekt Centra predviđa istraži- vanja iz sljedećih područja:

- dekomisija, tretiranje radioaktivnih otpadaka, priprema mjera za slučaj opasnosti te razmještaj skloništa
- efekti na ekosistem (radioekologija)
- radijacijska sigurnost i radijacija niske razine
- radiobiologija i epidemiologija.

Tu je potpisan i Memorandum između SAD i SSSR o kooperaciji u području upravljanja (zbrinjavanja) ra- dioaktivnim otpacima (razvoj politike i prakse s ot- padcima, evaluacija problema dekontaminacije i po- spremanja, istraživanje geologije odlaganja).

U Francuskoj je 1990. izašla knjiga Gregorija Medve- deva, ČERNOBILSKE BILJEŠKE, koja daje poseb- nu sliku nesreće. Ova je knjiga navodno bila zabra- njena u Sovjetskom Savezu. Napisana je još 1987, djelomično je objavljena (Novij Mir) 1989. Kratki sadržaj ovog »osobnog dnevnika« dao je J. Varley [47]. Mnoga pitanja koja se u knjizi postavljaju (ili se mogu postaviti) neće nikada dobiti pravi odgovor, ali te bilješke objašnjavaju mnoge detalje vezane za nuklearnu sigurnost u Sovjetskom Savezu, jer Med- vedov koristi mnogogodišnja vlastita iskustva, svje- dočenja očevidaca i ključnih ljudi elektrane te svih onih koji su bili neposredno uvedeni u slučaj i njego- ve posljedice. Medvedev je posjetio kontrolnu sobu Černobila-4 nekoliko dana nakon akcidenta, kao i moskovsku Kliniku broj 6, gdje su tretirane žrtve ne- sreće, a gdje je i sam boravio 1970. kada je bio ozra- čen. Sjeća se i svoje potresenosti pri posjetu groblja na periferiji Moskve (slika 10) gdje je pokopano 26 žrtava (uključivši 6 operatera i 6 vatrogasaca koji su primili najviše doze), prethodno zalemljenih u pocin- čane sanduke. Medvedev opisuje uloge mnogih akte- ra u drami, borbu i heroizam da bi spriječili još strašnije posljedice. Medvedev kaže da je i sam bio nekada uključen u ovakav eksperiment (pokus je nuden i drugim elektranama, ali ga je ovaj put pri- hvatilo vodstvo Černobila, koje u njemu nije ozbiljno sudjelovalo).



Slika 10. Prve žrtve černobilske katastrofe na moskovskom groblju

Među slabostima u sovjetskoj nuklearnoj industriji, Medvedev iznosi:

- tajnost (mi bi možda rekli »poslovna tajna«)
- suvišni optimizam u vezi sigurnosti
- pomanjkanje kritičnog stava prema tehnologiji (»nuklearni reaktori su obična ložišta, a operateri koji ih kontroliraju su obični ložači«)

- prevaga imperativa u troškovima sigurnosti (ograničavanja)
- nedostatak kadrova koji dovoljno detaljno i svestrano poznaju nuklearne elektrane (velika tehnička i sigurnosna kultura), a trebaju zauzimati položaje s velikom odgovornošću i s velikim ovlaštenjima.

Navodi još niz drugih nedostataka u kadrovskoj politici (recimo pogrešno privlačenje u nuklearnu industriju običnim parolama, »ugled«, »čast«, preskačući mnoge kriterije).

Interesantan primjer »tajnost« Medvedev navodi slučaj TMI-2 u Americi, koji je u Sovjetskom Savezu tretiran kao velika tajna. Naime, nepovoljne informacije bile su određene samo za »velike« rukovodioce. »Manji« rukovodioci dobivali su samo krnje informacije, one koje ne bi bile u kontradikciji sa »službenim« stavom o cjelokupnoj sigurnosti nuklearnih elektrana.

Medvedev upozorava na čitavu listu akcidenata koji su se javili prije Černobila-4:

- 7. 5. 1966. ekskurzija promptnim neutronima na malom reaktoru VK-50 (vrelvodni), koji je obustavljen injektiranjem borne kiseline, ali su ozračene 2 osobe.
- Od 1966. do 1979. neprestana pucanja goriva na Bjelojarsk 1 rezultirala su visokim dozama radnika održavanja.
- 7. 1. 1974., eksplozija posude za raspad radioaktivnih plinova u Lenjingrad 1 (bez posljedica).
- 6. 2. 1974. pucanje srednjega optočnog kruga u Lenjingrad 1, zbog udara isparavanja nakon hidrauličkog udara. Smrtno stradala 3 radnika.
- Listopad 1975. raspuklina u jezgri na Lenjingrad 1, ispuštanje dušika i emisija radioaktivnosti.
- 1977. Bjelojarsk 2, pregrijavanje i taljenje polovine elemenata goriva. Pri popravcima u toku godine dana radnici su bili izloženi znatnim dozama.
- 31. 12. 1978. Bjelojarsk 2, požar i pad krova turbinske hale na rezervoar turbinskog ulja. Oštećenje kabela za kontrolni sistem reaktora. Radnici koji su uspostavljali hlađenje reaktora u nuždi bili su izloženi visokim dozama.
- Rujan 1982. Černobil 1, lom elemenata goriva kao rezultat greške operatera.
- Rujan 1982. Armenia 1, eksplozija generatora dovela do požara u turbinskoj hali. Prema riječima Medvedeva velik broj osoblja pobjegao je iz elektrane u panici, pa je doveden kao ispomoć tim iz Kole.
- 27. 6. 1985. Balakovo 1, pri startu ispustio sigurnosni ventil. Smrtno stradalo 14 ljudi. Tom je slučaju pripisan »nemar pogonskog osoblja i skandalozno kršenje pogonskih pravila«.

Naravno, ti akcidenti nisu objavljeni (osim Armenia 1 i Černobil 1, 1982), a zahtjevi za redukcijom radioaktivnih ispuštanja dolazili su čak iz Finske i Švedske.

Medvedev misli da je u akcidentu Černobil-4 kadrovska politika odigrala važnu ulogu. Veli da je upravitelj elektrane Viktor Brjukanov bio specijalist za tur-

binu, a uvijek se radije okruživao ljudima koji su imali osnove u elektrotehnici i fosilnim elektranama nego s drugima iz nuklearnih elektrana. Nikolaj Fomin, glavni inženjer (elektrostruka), iskusan i s treningom, vratio se na posao mjesec dana prije akcidenta, nakon duge odsutnosti zbog niza ozljeda kralježnice (i potresa mozga) zadobivenih u prometnoj nesreći. Medvedev kaže da je on bio sam na gradilištu Černobila (inspekcija gradnje jedinice 5, koja je loše napredovala zbog kašnjenja dokumentacije i isporuke opreme) te je sreo Fomina i zabrinuo se zbog njegova ponašanja. Brjukanov kaže da je bio u depresiji, žaleći se na curenja u postrojenjima elektrane koja su bila u pogonu te izjavio da se osjeća vrlo umornim i da želi pobjeći negdje na drugi posao.

U vrijeme akcidenta najstarija osoba po funkciji u elektrani je bio zamjenik glavnog inženjera za proizvodnju, zadužen i za »znanstveni rad«, Anatolij Djatlov. On je i rukovodio eksperimentom. Njegovi nadređeni, Fomin i Brjukanov, spavali su kod kuće. Inače je Djatlov bio fizičar koji je nekada radio na malom reaktoru za pogon broda i nikada nije radio na elektrani (Medvedev se ranije sporio s Brjukanovim o tome da bi Djatlov mogao biti nadzorni operater, ali je presudio Brjukanov). Sva su trojica 1987. osuđena na po 10 godina zatvora. Za ilustraciju, možda ovdje još treba spomenuti da se stvari i dalje razjašnjavaju. Naime, nedavno je pušten A. Djatlov na slobodu, pošto je gotovo 4 godine odležao u zatvoru. Sada u javnosti odlučno opovrgava službeni sovjetski verziju Izvještaja u Beču [41]. U njegovu drugom pismu Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju (koje sada cirkulira i u SSSR-u) Djatlov navodi da su mnoge točke u Izvještaju bile namjerno obmanjujuće, da mnoga pravila koja su on i drugi operateri navodno prekršili nisu ni postojala. Kao primjer navodi da nisu postojala pravila koja bi spriječila rad reaktora na niskoj snazi. Ograničenje je bilo propisano nakon akcidenta, pošto je »NAUKA« objavila postojanje pozitivnog koeficijenta reaktivnosti snage na niskim razinama snage. Listu od 6 glavnih povreda pogonskih pravila odbacuje kao promišljen falsifikat.

I da bi se priča skratila, može se navesti još samo jedan detalj iz sadržaja »Zabilježki« Medvedeva, gdje opisuje prizor kada su dva mlada praktikanta poslana u reaktorsku zgradu da »ručno« ubace kontrolne šipke u reaktor, iako već nisu postojale ni šipke ni reaktor. Oba mladića primila su fatalne doze. Usprkos svemu Djatlov je dugo bio »uvjeren« da je reaktor čitav i da je bila samo eksplozija vodika u jednom spremniku vode sigurnosnog sistema. Takvu su poruku Brjukanov i Fomin poslali i u Moskvu.

3. ZAKLJUČNA DISKUSIJA

Vrlo je teško dati kratke poruke, odnosno jezgrovite zaključke o tako opširnom materijalu koji je generiran na temu Otoka tri milje i Černobila jer bi to mogla biti podebela knjiga. Ovdje će se upozoriti, u obliku zaključne diskusije, samo na bitne činjenice koje

potiču na razmišljanje, a isto tako omogućuju da se shvati što se događalo, kakve su posljedice i, na kraju kako te »eksperimente« na najbolji način iskoristiti.

3.1. Otok tri milje

Na prvi pogled netko može shvatiti da o akcidentu TMI-2 nije ni potrebno diskutirati jer nije bilo nikakve radiološke kontaminacije okoliša (kolektivna doza za populaciju unutar radijusa od 50 milja je 2 000 čovjek-rem, ili oko 0,8% od doze prirodne radijacije), da je to bilo skup istraživački poduhvat koji je iskorišten za usavršavanje sigurnosti nuklearnih reaktora, i to je sve. Međutim, nije tako. To je najveći akcident na komercijalnim nuklearnim elektranama u svijetu ako se RBMK proglašuje na nekomercijalnim. Troškovi TMI-2 akcidenta s gubitkom reaktora i taljenjem velikog dijela jezgre reaktora te rezultati analiza institucijskih pogrešaka, kvarova opreme i ljudskih grešaka rezultirali su ne samo u mnogim modifikacijama preprojekata već u mnogim drugim intervencijama u nuklearnoj industriji, uključujući i regulatorne vlasti. Prema tome, ne samo da je opravdana sva obzirljost tretmana ovog akcidenta već su rezultati tretmana vrijedni velike pažnje. Spoznalo se da ne postoje samo »mehaničke greške«, »ljudske greške«, »katastrofalni prirodni događaji« i »greške u projektu«, već da postoje i uzročni činitelji izvan ovih kategorija, kao što su »institucijske pogreške«. Treba zaista prihvatiti ono — »operater se ne smije nikada naći u situaciji koju inženjer nije prethodno analizirao, a inženjer pak ne smije nikada analizirati situaciju bez razmatranja reakcije operatera na tu situaciju«.

U TMI-2 akcidentu je centralna greška ne zatvaranja rasteretnog ventila tlačnika, što je rezultiralo neidentificiranim curenjem hladila kroz tlačnik. To obično se pojednostavljivalo kao »mehanički kvar« plus »greška operatera«. No, da bi se slika donekle upotpunila treba upozoriti bar na neke okolnosti koje su navele operatere da postupaju kako su postupili (redukcija protoka visokotlačnog injektiranja, isključivanje optočnih pumpi, neadekvatna procjena razine vode u tlačniku):

- U prvim minutama nakon ispada reaktora operateri su bili zauzeti procedurom za uspostavu stanja elektrane koje slijedi nakon ispada, što znači i održavanje razine u tlačniku (254 cm).
- U proceduri je stajalo: »Tlačnik ne smije nikada biti napunjen vodom do vrha (1016 cm), osim pri potrebi hidrostatskog testiranja.« Trening operatera ističe potrebu izbjegavanja punjenja tlačnika do vrha. Model simulatora ne reagira ako se tlačnik potpuno napuni vodom.
- Dvanaest sekundi nakon ispada rasteretni ventil tlačnika iskazivao je »zatvoreno«, a instrument razine do 6. minute je prešao gornju granicu skale (pogrešno pokazivanje).
- Kompjutor je bio preopterećen brojem alarmnih stanja, te alarm »visoke temperature« na liniji ispusta ventila nije prenesen na printer.

- Indikatori tlaka i temperature ispusne posude nalazili su se iza glavne kontrolne ploče.
- Sličan problem je analiziran na drugoj elektrani, ali nije poznato da li je NRC i/ili projektant na takav slučaj upozorio ostale elektrane.

Može se, dakle, zaključiti da operateri moraju imati uvijek pred sobom jasan pregled podataka koji su bitni za sigurnost postrojenja i u rasporedu za optimalno korištenje. Za tako kompleksni sistem kao što je nuklearna elektrana informacije trebaju biti u takvu obliku da se mogu adekvatno interpretirati i da omogućuju dijagnosticiranje.

3.2. Černobil

Teško se može zamisliti bilo koji reaktor koji nakon više grešaka i kvarova opreme ne bi bio ranjiv, a RBMK je posebno osjetljiv na propuste operatera i općenito na ljudske greške. Pozitivni koeficijent reaktivnosti šupljina i mogućnost da ukupni koeficijent reaktivnosti snage postane pozitivan na niskoj snazi samo je dio projektnih nedostataka. Takvu negativnu karakteristiku dobio je ponajprije zbog poboljšanja ekonomije goriva. Naime, da bi se dobila što veća energija iz zadane količine U-235, projektanti su odabrani takav omjer grafita i vode u jezgri da moderaciju neutrona može vršiti sam grafit.

U RBMK voda ima primarno ulogu apsorbera, pa pri stvaranju mjehurića pare ili njezina istiskivanja iz jezgre na drugi način raste pozitivna reaktivnost. Naročito je to izraženo pri malim snagama (temperatura) i niskom postotku U-235 (veći odgor), kada se iz odgovarajućih kanala izvade fiksni apsorberi, kao što je bilo u vrijeme akcidenta. Na normalnoj snazi prevladava Dopplerov koeficijent koji je uvijek negativan, a apsolutna mu vrijednost raste s temperaturom goriva jer se s temperaturom proširuje pojas energije neutrona koji se mogu apsorbirati u U-238. Zato je i dominantan koeficijent šupljina na niskoj snazi. U vrijeme akcidenta operateri su doveli jezgru u situaciju da je koeficijent šupljina bio na ekstremnoj vrijednosti od otprilike $+2 \times 10^{-6}/(\%)$.

Treba se još podsjetiti da su filozofija kontejnmenta, spori pad kontrolnih šipki u slučaju opasnosti, »pozitivni scram-efekt«, odsutnost brzog zaustavnog sistema i mogućnost isključenja zaštitnih sistema [45] bili dodatni nedostaci projekta.

U takvoj situaciji suviše je pouzdanja i obveza preneseno na operatere (procedure koje se i nisu uvijek slijedile).

Osim projektnih nedostataka i pogrešaka operatera, posebno treba komentirati institucijsku i opću problematiku sovjetskog društva. Prema [45] postavljaju se fundamentalna institucijska pitanja:

- Zašto se nedostaci RBMK projekta, dobro poznati u sovjetskoj nuklearnoj industriji, nisu savjesnije i dokraja nekome odgovorno prezentirali?
- Kako je bilo moguće nadzor nad nuklearnom elektranom povjeriti elektroinženjeru koji nije bio »specijalist za reaktore«?
- Zašto je bilo moguće kršiti pogonske propise s dizanjem ruku od svega, kao što je učinio zamjenik

- glavnog inženjera, najodgovorniji na elektrani za poštivanje pravila?
- Kako je bilo moguće izraditi program testa i njegovo izvršavanje, a da je potpuno zaobiden proces pregleda i odobravanja programa?
 - Gdje je u svemu tome bio sovjetski sigurnosni regulatorni sistem?

Čini se kao da se akcident dogodio i zbog toga da bi na površinu izbacio i najosjetljivije probleme upravljanja nuklearnom sigurnošću i na najvišim razinama sovjetske industrije. Pokazalo se da nije dovoljna samo »moralno-politička podobnost« ili imenovanje elektrane od »stvoritelja« političke partije (akademici u uvodu stručnih knjiga navode redni broj kongresa koji je najviše pomogao u izgradnji nekog tipa reaktora [24], već je vrlo važno znanje, marljivost i poštenje te nadasve dobra organizacija i pravi cilj.

Memoari Valerija Legasova (akademik, nuklearni fizičar, zamjenik direktora Kurčatov Instituta, rukovodio sancijom nuklearne katastrofe u Černobulu, koji se ubio na drugu godišnjicu akcidenta 27. 4. 1988), publicirani u »Pravdi« poslije njegove smrti, upozoravaju na značenje institucijskih pogrešaka u akcidentu. On je iskazao svoj osjećaj složenosti i konfuznosti organizacijske strukture koja je više naglašavala kolektivnu odgovornost za sigurnost i kvalitetu od individualne (»upravljanje sigurnošću putem komiteta«). »To je dovelo do velike neodgovornosti, kako pokazuje černobilsko iskustvo«, zaključuje Legasov. Za ilustraciju može se dodati slična tvrdnja i drugih stručnjaka: »Velik posao na usvajanju novog tipa reaktora, na razradi režima eksploatacije, odstranjenju uočenih nedostataka u procesu popravaka opreme i drugih bitnih nedostataka proveo je kolektiv lenjingradske nuklearne elektrane« [24]. U gradnji reaktora Legasov spominje brojne instance, gdje »produktivnost« nadilazi kvalitetu. Kaže, bilo je slučajeva da se pregledala dokumentacija zavarivanja i utvrđeni uredni potpisi zavarivača i radiografske kontrole zavariva, dok sam zavar uopće nije postojao. Sve u ime produktivnosti rada. Legasov, nadalje, upozorava kako je utvrđeno da je sistem za zaštitu reaktora RBMK imao neispravnosti, načinjeni su i prijedlozi za poboljšanje, ali se projektant ne žuri da to uzme u hitni dodatni posao i zamijeni kontrolni sistem. Također naglašava da gledanje na nuklearnu sigurnost pri eksperimentiranjima sličnim Černobilu nije bio rijedak slučaj. Izvedeni su eksperimenti prema programima pripremljenim na vrlo nemaran i neuredan način, podcjenjivala su se stanovišta projekatana i nuklearnih fizičara, a korektno popunjavanje procedure bilo je nešto što je trebalo tek izboriti. Kaže da je jedan direktor stvarno rekao: »Što se brinete, nuklearni reaktor je samo samovar«.

Aleksandar Kovalenko (sada šef za informiranje javnosti u Černobilu) također potvrđuje da je bilo kršenje pravila u nuklearnim elektranama i da je bivši direktor Brjuncanov i njegovo osoblje razvijalo tezu da su »instrukcije bile za idiote«. Operateri su također mislili da »nema stvari koje bi se činile s reaktorom da bi ovaj eksplodirao«. Operateri su bili svjesni pravila za minimalni broj apsorpcijskih šipki u jez-

gri, ali nisu znali da bi mogla nastati eksplozija. Mogućnost eksplozije nije tretirana u pogonskim propisima.

Kovalenko također upozorava na sličnost slijeda događaja u početnom stadiju Černobilskog akcidenta i onog koji se desio u Lenjingradu, ali umjesto da je černobilsko rukovodstvo studiralo dokumentaciju, »ono je za vrijeme testa u krevetu bilo pokriveno po glavi«. Novi direktor elektrane Černobil obećava pravi pristup nuklearnoj sigurnosti te između ostalog navodi da oni sada paze da se elektrana zaustavi čim postoji i najmanja nejasnoća u rješavanju nastalog problema. Ide se za tim da je kvaliteta ispred »proizvodnje pod svaku cijenu« i »izvršenja plana«. Granice sigurnosti opreme moraju biti potpuno jasne svima koji vode pogon. I Kovalenko misli da je ključni problem što je Partija donosila odluke o nuklearnoj energetici, a ljudi kao oni koji su osuđeni, trebaju odgovarati za posljedice. »Eksplozija, iako na najboljoj (?) elektrani u zemlji — bila je prirodna posljedica slučajeva... Sa našim sistemom upravljanja i donošenja odluka, nuklearna elektrana ne može biti sigurna. Zato je glavni zaključak: to nije eksplodirala elektrana, već naš administrativni, birokratski sistem. Osnovno je da svatko treba odgovarati za svoje postupke. Potrebno je precizno definirati granice ovlasti i odgovornosti. Mora se razjasniti tko za što odgovara«.

Mihail Gorbačov također izjavljuje da su Černobil i akcidenti u SSSR-u donijeli pravu pokoru i da su simptomi dubljih slabosti u sovjetskom društvu. »Mi smo se mučili s akcidentima«, kaže on, slijedeći nesreću na uralskom plinovodu u lipnju 1989. »Iza mnogih od njih stoji nemarnost, neodgovornost i nedostatak prave organizacije. Ove stvari se događaju dosta često i ne mogu se zanemariti.« Znak ohrabrenja je ipak postojanje sklonosti da se ljudi suoče s pogreškama i da na njima uče. U intervjuu »Izvestijama«, V. Asmolv iz Kurčatovljeva instituta, uspoređujući suprotne reakcije na akcident TMI onima u SSSR-u, izjavio je da zapadne zemlje masovno rade na nuklearnoj sigurnosti, dotle je sovjetsko gledište bilo da je »nuklearna energija sigurna jer je sigurna«, pa nisu ulagana dovoljna sredstva koja bi se koristila za unapređenje sigurnosti. »To je bio produkt godina apatije ljudi i ekonomske stagnacije«, kaže Asmolv.

Sve nam je to tako bliko (navedene izjave i mišljenja) da se netko može zapitati zašto je to potrebno ponavljati. Na sve to je ipak bilo potrebno upozoriti iz mnogo razloga. Iako je RBMK-sistem tehnološki bitno različit od PWR-sistema, katastrofa u Černobilu velika je lekcija za sve one koji su uključeni u sigurnosnu problematiku bilo kojeg tipa nuklearnih reaktora. Tako je to u svijetu i shvaćeno, pa se sigurnosna tehnika i postupci neprestano analiziraju i usavršavaju. Nuklearna energetika je u današnje vrijeme neizbježna i u svakom pogledu u najmanju ruku ravnopravna svim ostalim tehnologijama bazične proizvodnje energije. Preostaje samo da se maksimalno nauči iz načinjenih grešaka i da se stečena znanja maksimalno koriste u budućnosti. Ideal je vi-

soke tehnologije ne tražiti heroje koji dovedeni u bezizlaznu situaciju to moraju postati, već ulaganje mnogo znanja i znoja da bi se katastrofe mogle predvidjeti i pouzdano spriječiti.

Od 15. do 17. travnja 1991. održan je u Parizu [55] zajednički sastanak francuskoga i sovjetskoga nuklearnog udruženja pod nazivom »Nuklearni akcidenti i energetska budućnost, lekcije naučene iz Černobila«. U uvodnom referatu L. Bolšov (direktor Instituta za nuklearnu sigurnost Sovjetske akademije znanosti) sa suradnicima tvrdi da su glavni čimbenici slijeda događaja u akcidentu bili pozitivni koeficijent reaktivnosti šupljina i nedostaci u projektu kontrolnog i sigurnosnog sistema. Ljudski faktor se više ne naglašava. E. Adamov (šef RBMK projekta) u svom referatu oprezno objašnjava da sam pozitivni »scram-eft« ne može dati dovoljno reaktivnosti za pobjeg reaktora, već u kombinaciji s redukcijom protoka hladila, kavitacijom pumpi ili isparavanjem može dovesti do znatnog oštećenja goriva i okolnog pucanja kanalnih cijevi te konačno i do eksplozije. Vjerojatno da će put do »prave« istine biti dugačak ne samo zbog poteškoća u rekonstrukciji događaja već i zbog različitih interesa sudionika uključenih u problem. Strani eksperti možda suviše temelje svoje analize na Izvještaju [31, 32] iz Beča 1986. godine, i to bilo zbog jezične barijere (raspoloživa dokumentacija i literatura), bilo zbog nepristupačnosti same dokumentacije i informacijskog sistema. Osim toga, Zapad nije toliko zainteresiran za RBMK-sisteme.

No da li smo mi dovoljno naučili iz tuđih grešaka? Teško je dati pozitivan odgovor [42]. No, to je posebna tema za neku drugu priliku.

LITERATURA

- [1] Report of The President's commission on the accident at Three Mile Island, October 1979, Washington D. C.
- [2] Nuclear News, izdanje American Nuclear Society, Special Report, April 6, 1979. (ANS, 555 N. Kensington Ave. La Grange Park, Illinois 60525)
- [3] Time, April 9, 1979. (The Weekly Newsmagazine)
- [4] Evaluation of Long Term Post Accident Core Cooling of TMI-2, NRC, Safety Report, April 1979.
- [5] Nuclear Engineering International, May 1979., Članak: Not one, but two LOCAs at Tree Mile Island
- [6] Baza podataka o problemima TMI-2 od 1972 do 1980. prema Nuclear Power Experience Inc. P. O. Box 544, Encino, California 91316
- [7] The Rogovin Report on TMI-2, Nuclear Safety Journal, The Nuclear Safety Information Center, Oak Ridge National Laboratory, of the US Department of Energy, Vol. 21, No. 3, 1980
- [8] V. VUKOVIĆ, »Slušaj s reaktorom TMI-2«, časopis »Sigurnost«, brojevi 2, 3 i 4, Zagreb 1980
- [9] V. VUKOVIĆ, »Neke specifičnosti u projektiranju nuklearnih elektrana«, časopis *Energija*, Zagreb, 1986, br. 4.
- [10] NUREG-0660, NRC Action Plan Developed as a Result of the TMI-2 Accident, Vol. 1, Vol. 2., May 1980.
- [11] NUREG-0737, Clarification of TMI Action Plan Requirements, Nov. 1980.
- [12] W. E. BURCHILL, »Physical Phenomena of a Small-Break Loss-of-Coolant Accident in a PWR«, Nuclear Safety, Vol. 23, Sept-Oct. 1981.
- [13] T. H. PIGFORD, »The management of nuclear safety: A review of TMI after two years«, Nuclear News, March 1981.
- [14] J. R. IRELAND, T. R. WEHNER, and W. L. KIRCHNER, »Thermal-Hydraulic and Core-Damage Analyses of the TMI-2 Accident«, Nuclear Safety, Vo. 22, Sept.-Oct. 1981.
- [15] R. A. KNIEF, »Nuclear Energy Technology Theory and Practice of Commercial Nuclear Power«, Hemisphere Publishing Corporation, New York 1981.
- [16] NUREG-1355, The Status of Recommendations of the President's Commission on the Accident at the Three Mile Island, A ten-Year Review, March 1989.
- [17] NUREG-1435, Vo. 1, Status of Safety Issues at Licensed Power Plants, TMI Action Plan Requirements, April 1991.
- [18] R. W. WRIGHT, USA NRC, Washington, D. C., Current Undersanding of In-Vessel Core Melt Progression, Severe accidents in NPP's, IAEA and NEA symposium, Sorrento, 21 – 25 March 1988.
- [19] V. VUKOVIĆ, »Deset godina kasnije«, članak, časopis »Sigurnost« 31, Zagreb 1989.
- [20] G. R. EIDAM E. L. TOLMAN and other, »TMI-2 Deueling Conditions and Summary of Research Findings, Severe Accidents in NPP's«, IAEA and NEA Symposium, Sorrento, 21 – 25 March 1988.
- [21] V. VUKOVIĆ, »Ljudski faktor u nuklearnim katastrofama«, Savjetovanje »Sigurnost i pouzdanost u tehnici« Cavtat 1988.
- [22] J. VARLEY, »End to clean-up programme in sight«, Nuclear Engineering International, March 1989.
- [23] Nuclear Ingeneering International, June 1989.
- [24] N. A. DOLLEZAL i I. Ja. EMELJANOV, »Kanalnij Jadernij Energetičeskij Reaktor«, Atomizdat, Moskva 1980.
- [25] A. N. KLIMOV, »JADERNAJA fizika i jaderne reaktori«, Energoatom izdat, Moskva 1985.
- [26] N. N. PONOMAREV-STEPANOJ i grupa autora, »Teplovidelenije v jadernom reaktore«, Energoatom izdat, Moskva 1985.
- [27] A. G. SAMOJLOV, »Teplovidel'jajuščie elementi jadernih reaktorov,« Energoatomizadat, Moskva 1985.
- [28] V. V. GIRNIS i grupa autora, »Montažoborudovanija atomnih elektrostancij«, Visšja škola, Moskva 1985.
- [29] The British PWR, Special NEI Publications The Quadrant, Sutton, Surrey, England
- [30] Nuclear Safety after Three Mile Island and Chernobyl, Proceedings of International Approach to Nuclear Safety, Simposium 8 – 10 June 1988. Blackpool, UK
- [31] USSR State Committee on the Utilisation of Atomic Energy, The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences, August 1986, Vienna
- [32] International Nuclear Safety Advisory Groups, Summary Report on the Post Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, IAEA, Vienna 1986.
- [33] Report of the U. S. Department of Energy's Team Analyses of the Chernobyl-4 Atomic Energy Station Accident Sequence (DOE/NE-0076), Nov. 1986.
- [34] U. S. NRC, Report on the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Station (NUREG 1250), 1987.
- [35] U. S., NRC, Implications of the Accident at Chernobyl for Safety Regulation of Commercial NPP's in the United States (NUREG-1251), Aug. 1987.

- [36] N. HAWKES, G. LEAN, D. LEIGH, R. MCKIE, P. PRINGLE i A. WILSON, »The Worst Accident in The World«, Copyright The Observer Ltd. 1986, prijevod, Globus, Zagreb (Najgora nesreća na svijetu).
- [37] One year after Chernobyl IAEA, Division of Public Information, June 1987.
- [38] National Geographic, May 1987, Chernobyl, One Year After
- [39] B. VLAHOVIĆ, »Černobilj pred sudom«, Magazin *Start*, Zagreb, 8. 8. 1987.
- [40] S. RIPOON, »Chernobyl two years later«, Nuclear News, May 1988.
- [41] Two years after Chernobyl, IAEA News Features, Vienna, 15 April 1988.
- [42] D. BEK-UZAROV, »Nakon černobiljskog akcidenta: greške, pouke i iskustva«, *Nuklearna tehnologija* br. 1, 1988., Izdanje Instituta »B. Kidrič« Vinča — Beograd
- [43] V. VUKOVIĆ, »Primjenjivost iskustva akcidenta s RBMK reaktorom na PWR sisteme«, ORKOM IV, Bled 1988.
- [44] V. VUKOVIĆ, »Izvještaj s puta na seminar«, Nuclear Safety after TMI and Chernobyl, Blackopool UK, 8–10. June 1988.
- [45] D. MOSEY, »Reactor Accidents«, Nuclear Safety and the Role of Institutional Failure, NIE Special Publications, 1990.
- [46] E. O. ADAMOV, »The Soviet RBMK: where do we go from here?«, NEI, June 1990.
- [47] J. VARLEY, »Lessons from an insider's notebook«, NEI, June 1990,
- [48] IAEA signs agreement on Chernobyl Centre, NEI, Nov. 1990.
- [49] S. A. KHAN, »The Chernobyl source TERM: A Critical Review«, Nuclear Safety Vol. 31–3, June-Sept. 1990
- [50] S. BELAYEV, A. BOROVOI, V. VOLKOV and A. GAGARINSKI, »Chernobyl Five Years After«, Nuclear Europe Worldscan 3–4/1991.
- [51] W. BURKART and N. E. A. CROMPTON, »Assessing Chernobyl's Radiological Consequences«, Nuclear Europe Worldscan 3–4/1991
- [52] Z. MEDVEDEV, »Chernobyl revisited-five years on«, NEI, April 1991.
- [53] U. S. NRC, Status of Safety Issues at Licensed Power Plants, TMI Action Plan Requirements, Vol. 2 (NUREG-1435)
- [54] V. F. TITOV, »Repairing and replacing SGS at Soviet 1000 MWe PWRs«, NEI, January 1991.
- [55] J. VARLEY, »No easy answers to Chernobyl questions«, NEI, June 1991.

THREE MILE ISLAND AND CHERNOBIL

Long-term accident consequences and scientific lessons

The paper presents detailed circumstances and consequences of the two biggest accidents in the nuclear energy field which have occurred up to now.

DREI MEILENINSEL UND TSCHERNOBIL

Langeristige folgen des unfalls und wissenschaftliche lektionen

Im artikel spricht man ausführlich über die Umstände und die Folgen der zwei bis heute grössten unfälle in der nuklearen Energetik.

Naslov pisca:

Vladimir Vuković, dipl. inž.
Nuklearna elektrana Krško,
68270 Krško, Vrbina 12,
Slovenija

Uredništvo primilo rukopis:
 1991-07-09.



MAŠINOIMPEX

Poduzeće za vanjsku trgovinu
41000 Zagreb, Varšavska 9

Phone 041/457-111

Fax 041/424-090, 426-269

Telex 21177, 21254 MAEX YU

ASTRA MAŠINOIMPEX je poduzeće za vanjsku trgovinu, specijalizirano za export i import kompletnih objekata, postrojenja, opreme, repromaterijala, strojeva, dijelova i alata za sve grane industrije; obavlja i vanjskotrgovinsko zastupanje i posredovanje u prometu roba i uslugama, turističku i ugostiteljsku djelatnost u poslovanju s inozemstvom, financijski inženjering, marketing i konzultersku djelatnost u vanjskotrgovinskom poslovanju.

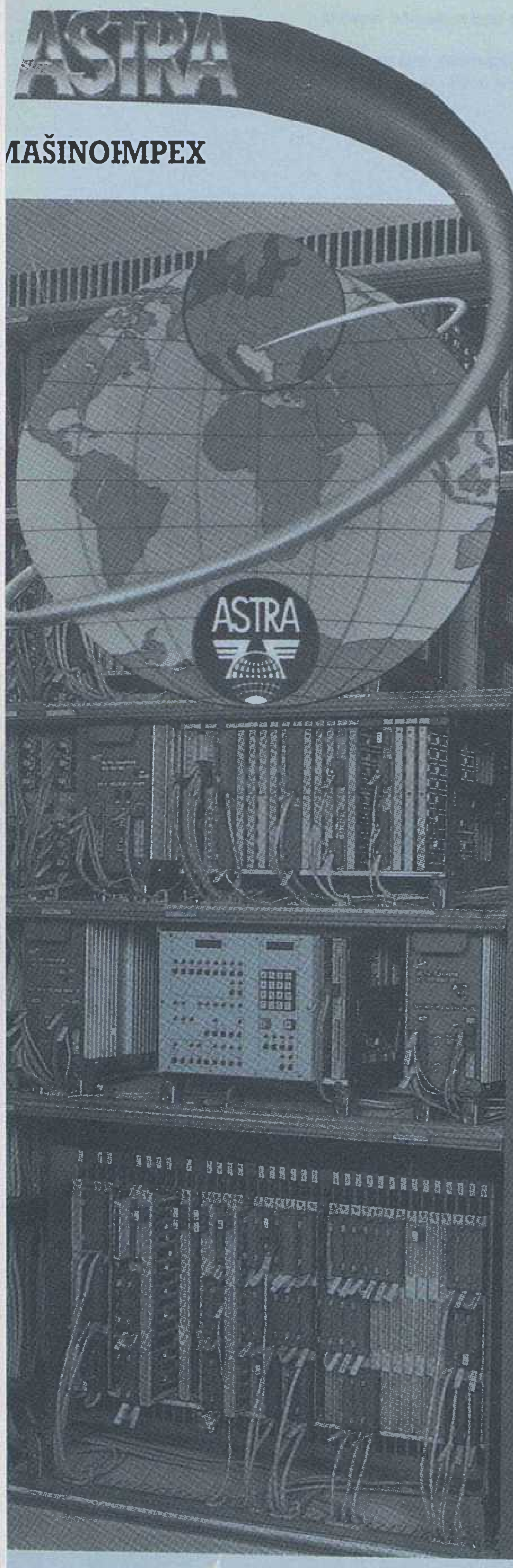
U nedostatku prostora nemoguće je nabrojiti sve važnije izvozne reference ASTRA MAŠINOIMPEXA u mnoge

države svijeta: plasman domaćih telefonskih i telegrafskih međugradskih centrala, postrojenja i opreme za prehrambenu i kemijsku industriju, sirojo i elektrostrojogradnje, strojeva za obradu drveta, tekstilnu i kožarsku industriju, automatskih alatnih strojeva i alata, proizvoda metaloprerađivačke industrije, stakla, keramike, porculana, kože, gume, tekstila i druge robe.

ASTRA MAŠINOIMPEX istodobno ima i značajnu ulogu u uvozu postrojenja, moderne opreme i repromaterijala potrebnog domaćoj proizvodnji. Našim posredstvom u Jugoslaviji su izgrađeni i modernizirani mnogi privredni objekti: rafinerije i petrokemijska postrojenja, kemijske i tekstilne tvornice, postrojenja za dobivanje i preradu obojenih metala, tvornice papira, stakla, za preradu plastičnih masa, oprema za željeznička transportna poduzeća, poštanske telefonsko telegrafске organizacije i

radioteleviziju, oprema za energetske objekte itd.

Osnovna značajka poslovnog programa ASTRA MAŠINOIMPEXA sastoji se u različitim modalitetima čvrstog partnerstva s brojnim domaćim izvoznim proizvođačima i tradicionalnoj povezanosti kroz privrednu suradnju s uglednim inozemnim partnerima. U našem poslovanju posebnu aktivnost usmjerujemo na složenije i više oblike privredne suradnje: kooperacije i osnivanje pojedinih kapitalnih dioničarskih i mješovitih društava za izgradnju infrastrukturnih objekata i tvornica atraktivnih proizvoda po najsuvremenijim svjetskim tehnologijama. Naša uloga u osnivanju mješovitih društava sastoji se u povezivanju stranih i domaćih ulagača-osnivača na temelju osmišljenih poslovnih programa, te realizacija svih vanjskotrgovinskih i izvoznih uvoznih zadataka.



SA ASTRA MAŠINOIMPEXOM NA INOZEMNOM TRŽIŠTU POSTIŽETE CILJ U SVAKOJ TRŽIŠNOJ KOMBINACIJI

ODRŽAVANJE ENERGETSKIH TRANSFORMATORA

Antun Mikulecky — Sonja Čabrajac, Zagreb

UDK 621.314.005

PREGLEDNI ČLANAK

Odgovarajuće održavanje energetskih transformatora u pogonu jedan je od preduvjeta za njihov pouzdani rad. Ono obuhvaća nadzor (dijagnostiku stanja) i servisiranje transformatora. U radu su opisane dijagnostičke metode i postupci koji se mogu primijeniti na transformatorima u pogonu, a preporučene su i učestalosti primjene dijagnostičkih metoda. Također su opisani osnovni postupci održavanja važnijih sklopova energetskih transformatora. Rad je rezultat dugogodišnjeg praćenja ponašanja transformatora u pogonu, studija kvarova transformatora, te pripadajuće literature i propisa, i treba ga shvatiti kao podsjetnik o održavanju uljnih energetskih transformatora.

Ključne riječi: održavanje transformatorskih većih snaga, dijagnostička ispitivanja, izolacijski sustav, servisiranje.

1. UVOD

Održavanje energetskih transformatora u pogonu skup je aktivnosti čiji su sastojci nadzor i servisiranje. Pod nadzorom se razumijeva pravovremeno periodičko određivanje stanja transformatora u pogonu ili, kraće rečeno, dijagnostika stanja transformatora, a pod servisiranjem se razumijevaju aktivnosti u smislu provjere funkcionalnosti, a po potrebi i zamjene pojedinih dijelova transformatora pri čemu može biti izvršena i demontaža transformatora.

Dijagnostika stanja energetskih transformatora podrazumijeva primjenu prikladnih mjerenja i postupaka za određivanje prisutnog stupnja degradacije i/ili oštećenja pojedinih sklopova transformatora, a provodi se zbog procjene vremena u kojem će pojedini sklopovi transformatora još zadovoljavati glede zahtijevanih podnosivih naprezanja (preventivna dijagnostika), odnosno s ciljem da se utvrdi opseg i uzrok kvara (dijagnostika kvara).

Održavanje transformatora je u funkciji povećanja pouzdanosti rada transformatora tijekom vijeka trajanja. Najčešći pristup ovoj problematici u literaturi jest preko funkcionalnih komponenti, pri čemu se održavanje razmatra za svaku komponentu posebno (održavanje izolacijskog sustava, sklopke, rashladnog sustava itd.). Takvim pristupom gubi se osjećaj cjeline, a često su izostavljena i međudjelovanja pojedinih komponenti. Funkcija energetskog transformatora je da transformira električnu energiju jednog naponskog nivoa u drugi. To je cilj koji se kvalitetno postiže uvažavanjem tehničke, ekonomske i ekološke problematike. Funkciju transformatora ostvaruju sve komponente zajedno, kao cjelina, te zbog toga smatramo da održavanju transformatora treba tako i pristupiti.

Ovaj rad treba shvatiti kao podsjetnik o održavanju energetskih transformatora, a posebno se odnosi na

transformatore s izolacijskim sustavom izrađenim od papira uronjenog u mineralno ulje, najvišeg napona namota većeg od uključivo 20 kV i nazivne snage veće od uključivo 5 MVA. Iznesena znanja mogu se primijeniti i na transformatore manjih snaga i nižih napona uz uvažavanje njihovih specifičnosti i ekonomičnosti primjene pojedinih dijagnostičkih metoda i postupaka održavanja.

Članak je rezultat dugogodišnjeg praćenja ponašanja transformatora u pogonu, studija kvarova energetskih transformatora i literature i propisa iz područja održavanja i ispitivanja transformatora i materijala.

2. DIJAGNOSTIKA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA U POGONU

Dijagnostiku u osnovi sačinjavaju mjerne metode, procedure i ekspertna znanja (kriteriji; vrednovanje rezultata mjernih metoda i procedura) koja su rezultat teorijskih, eksperimentalnih i iskustvenih spoznaja o pojavama u energetskim transformatorima u pogonu. Uvijek treba imati na umu da su mjerne metode i ekspertna znanja međusobno uvjetovani, pri čemu je odlučujuća točnost i primjenjivost mjernih metoda glede konkretnog problema. Dijagnostički sustav treba biti tako koncipiran da može pravovremeno registrirati i ocijeniti poremećaj u transformatoru, pri čemu treba paziti da se izbjegnu nepotrebna isključenja zbog preosjetljivosti ili kvarovi zbog njegove nedovoljne osjetljivosti.

2.1. Opis i mogućnosti osnovnih dijagnostičkih metoda za transformatore u pogonu

Osnovne odlike i mogućnosti dijagnostičkih metoda i postupaka pregledno su navedene u tablici 1.

Tablica 1. Pregled dijagnostičkih metoda i postupaka

Dijagnostička metoda	Stanje pogona	Status metode	Sposobnost detekcije	Dijagnostički rezultat
Fizikalno-kemijska svojstva ulja	UP	1	V/S	svojstva ulja, podobnost za primjenu, stanje kvalitete i stupanj ostarjelosti ulja, sadržaj inhibitora
Kromatografska analiza plinova	UP	1	V	termička i dielektrička preopterećenja ulja i papira
Stupanj polimerizacije papira	VP	1	M	ostarjelost papira
Visokoučinska tekućinska kromatografija ulja	UP	2	S/M	ostarjelost papira
Struja magnetiziranja, prenosni omjer i grupa spoja	VP	1	S/M	grube greške na namotima, spojevima, sklopkama, premještačima i jezgri
Omski otpor namota	VP	1	S	spojevi u namotu i izvan njega, kontakti sklopki i premještača
R, C i tgδ izolacije transformatora	VP	1	S	vлага, onečišćenost, ostarjelost sistema izolacije
C i tgδ kapacitivnih provodnih izolatora	VP	1	V	vлага, starenje, kratko spojeni kondenzatori, nedostaci mjernih priključaka
Rasipni induktiviteti	VP	1	V/S	mehaničke deformacije namota
Odziv u frekv. i vremenskoj domeni	VP	1/2	M	mehaničke deformacije namota
Otpor izolacije jezgre	VP	1	M	mehanička i električna oštećenja steznog sustava jezgre i magnetskih usmjerivača
Termovizija	UP	1	V/S	loši kontakti izvan kotla, topla mjesta na kotlu
Vizualni pregled	VP/UP	1		grube mehaničke greške, curenje ulja, stanje dehidratora . . .
PI ultrazvučnom metodom	UP	1	S	parcijalna dielektrička preopterećenja
Buka	UP	1/2	M	mehanički nedostaci steznog sistema jezgre i namota

Oznake: UP — u pogonu
VP — van pogona

1 — u redovnoj primjeni
2 — u pripremi za primjenu

V — visoka
S — srednja
M — mala

2.1.1. Fizikalno-kemijske metode

Fizikalno-kemijska svojstva ulja

Određuju se sljedeća svojstva: boja i čistoća, probojni napon, sadržaj vode, neutralizacijski broj, talog, faktor dielektričkih gubitaka, specifični otpor, granična površinska napetost, oksidacijska stabilnost, plamište, stinište, gustoća, viskozitet, sadržaj inhibitora i kemijska struktura ulja. Svrha ispitivanja je utvrđivanje podobnosti ulja za primjenu i ocjena stanja njegove kvalitete. Na temelju rezultata mjerenja moguće je odrediti korektivne akcije u smislu dovođenja ulja u stanje zadovoljavajuće za primjenu. Ukratko bismo objasnili pojedina svojstva ulja važna za ocjenu stanja u eksploataciji:

Boja i čistoća: boja nije kritično svojstvo, ali je korisno u komparativnom smislu (brza promjena boje može biti znak ubrzanog starenja ili onečišćenja): smanjena čistoća ulja može upućivati na prisutnost slobodne vode, taloga, grafita i drugih onečišćenja.

Probojni napon: upućuje na sposobnost ulja da izdrži dielektrička naprezanja; u slučaju niskih probojnih napona upućuje na onečišćenje ulja (voda, vodljive i nevodljive čestice . . .), ali visoki probojni naponi ne upućuju na odsutnost svih vrsta onečišćenja.

Sadržaj vode: voda u ulju potječe iz procesa proizvodnje ulja, ovlaživanja iz atmosfere ili nastaje kao produkt starenja celuloze; utječe na dielektrička

svojstva ulja (ovisno o količini i stanju u kojem se nalazi: u otopini ili kao slobodna voda); slobodna voda izrazito snižava probojni napon i specifični otpor, a u manjoj mjeri povećava faktor dielektričkih gubitaka; osim toga povećanje sadržaja vode u ulju ubrzava starenje celulozne izolacije.

Neutralizacijski broj: predstavlja mjeru kiselih sastojaka odnosno onečišćenja ulja; njegova vrijednost je zanemariva za nerabljena ulja, a s vremenom eksploatacije raste kao posljedica oksidacijskih procesa starenja; uzima se kao važan pokazatelj kada ulje treba regenerirati ili zamijeniti.

Talog (topljiv i netopljiv): posljedica je starenja ulja i celulozne izolacije, odnosno onečišćenja zbog pogonskog stanja (netopljivi produkti starenja, niti različitog podrijetla, grafit, produkti korozije . . .); može imati utjecaja na dielektrička svojstva ulja i na svojstva ulja kao rashladnog medija.

Faktor dielektričkih gubitaka i specifični električki otpor: ove karakteristike su vrlo osjetljive na prisutnost topljivih polarnih onečišćenja, produkata starenja ili koloida; promjene mogu biti mjerljive i za neka onečišćenja koja se ne mogu utvrditi drugim metodama.

Granična površinska napetost: mjeri se na granici ulje-voda, a upućuje na topljiva polarna onečišćenja i produkte degradacije; vrijednost se prilično brzo mijenja u početnom stadiju starenja, zbog čega rezultate treba interpretirati zajedno s ostalim karakteristikama ulja.

Oksidacijska stabilnost: određuje se mjerenjem produkata starenja ulja u laboratorijskim uvjetima, pri čemu se mjeri sadržaj taloga, hlapljive i topljive kiseline; kod rabljenih ulja daje podatak u kojoj mjeri je životna dob ulja reducirana u odnosu na novo ulje.

Sadržaj inhibitora: inhibirana ulja stare mnogo sporije nego neinhibirana ulja sve dok je prisutan inhibitor. Inhibitor se u procesu starenja troši (veže produkte starenja). Nakon utroška inhibitora ulje stari brže, što treba spriječiti pravovremenim doinhibiranjem.

Strukturalna analiza ulja: provodi se metodom infracrvene spektrofotometrije i daje podatke o kemijskoj strukturi ulja (sadržaj parafinskih, naftenskih i aromatskih ugljikovodika, inhibitora i nekih kemijskih onečišćenja). U slučaju ubrzanog starenja ulja može se procijeniti stupanj kemijske degradacije. Kod inhibiranih ulja daje podatke o utrošku inhibitora te se može procijeniti potreba za doinhibiranjem.

Kromatografska analiza plinova u transformatoru

Metodom plinske kromatografije određuju se plinoviti produkti razgradnje ulja i papira (celuloze) koji su otopljeni u transformatorskom ulju i/ili izdvojeni u plinskom releju kao posljedica određenih fizikalno-kemijskih procesa koji su u osnovi termičke (pregrijanje, topla mjesta) i/ili električke (parcijalna izbijanja, električni luk) naravi. Osim toga, dobivaju se i osnovni podaci o starenju izolacije transformatora. Plinskom kromatografijom registriraju se i kvantificiraju fizikalni procesi, može se odrediti da li su zahvatili ulje i/ili celuloznu izolaciju, ali se bez primjene drugih dijagnostičkih metoda ne može locirati izvor pojave (npr. ako se radi o termičkom procesu: koji dio transformatora se pregrijava). Iz navedenoga proizlazi da se samo na temelju rezultata kromatografske analize ne može donijeti ocjena o stupnju ugroženosti pogonske sigurnosti transformatora.

Interpretacija rezultata obavlja se prema međunarodno priznatim metodama, od kojih su pojedine više ili manje iskoristive u tehničkom smislu, a sve se u osnovi temelje na karakterističnim omjerima plinova. Ne postoje standardizirani kriteriji za dozvoljeni nivo koncentracija karakterističnih plinova.

Metoda plinske kromatografije ima visoku efikasnost detekcije prisutnih procesa degradacije, koja, zasada, premašuje sposobnost uočavanja dotičnih procesa ostalim dijagnostičkim metodama.

Stupanj polimerizacije papira

Izolacijski papir je po kemijskom sastavu čista celuloza. Visokopolimerizirane molekule glukoze tvore duge lance (celulozna vlakna) koji su međusobno umreženi vodikovim mostovima. Dužina lanca molekule celuloze izražava se prosječnim viskozimetrijskim stupnjem polimerizacije. Pod utjecajem temperature u prisutnosti kisika nastupa cijepanje (skraćnje) lanaca, što se očituje kao smanjenje stupnja po-

limerizacije (depolimerizacija molekula). U fizikalnom smislu to znači slabljenje mehaničkih svojstava papirne izolacije, a u tehničkom smanjenje otpornosti transformatora na dinamičke sile kratkog spoja.

Stupanj polimerizacije određuje se na uzorcima papira s namota i izvoda, termički i mehanički najopterećenijih dijelova transformatora. To znači da je transformator potrebno otvoriti, a vjerojatno i izvaditi iz kotla, što iziskuje velike troškove. Troškovi se mogu smanjiti svrstavanjem transformatora, sličnih po tehničkim karakteristikama i režimu pogona, u grupe. U pogodnom trenutku, pri remontu, iz predstavnika grupe uzimaju se i analiziraju uzorci papira, a rezultati odnosno zaključci proširuju se na cijelu grupu sličnih transformatora.

Visokoučinska tekućinska kromatografija ulja

Ovom novijom metodom (nije još u operativnoj primjeni) procjenjuje se ostarjelost papirne izolacije transformatora i njezin preostali vijek trajanja analizom u ulju sadržanih produkata starenja papira (furana). Cilj je, dakle, isti kao i kod određivanja stupnja polimerizacije papira, ali na temelju uzorka ulja, što znači da otpadaju problemi vezani uz uzimanje uzoraka papira. Valja pretpostaviti da će ova metoda u dogledno vrijeme postati dopuna plinskoj kromatografiji.

2.1.2. Električke metode

Mjerenje struja magnetiziranja, omjera prijenosa i grupe spoja

Struje magnetiziranja, omjer prijenosa i grupa spoja mjere se pri niskom naponu (obično 380 V) u jednofaznom ili trofaznom spoju voltmetrima i ampermetrima. Metode su jednostavne, ali je njihova efikasnost u dijagnostičkom smislu relativno slaba. Otkrivaju se grube greške u namotima i spojevima (prekid, postojani kratki spoj), regulacijskim sklopkama i premještačima (mehanizam sklopke i premještača, lom kontaktnih letvi, prekid) i jezgri (postojani kratki spoj oko stupa ili jarma). U svim navedenim primjerima reagirat će zaštita transformatora, što znači da ove metode daju rezultate kada se kvar već dogodio. Kromatografska analiza plinova iz transformatora, mjerenje omskih otpora i rasipnih induktiviteta namota dopunit će rezultate predmetnih metoda.

Mjerenje omskih otpora namota

Provodi se istosmjernom strujom $U-I$ metodom, a kod velikih transformatora, posebno generatorskih, i posebnim kompenzacijskim metodama. Zbog relativno dugih vremenskih konstanti stabilizacije struje mjerenje traje dugo (približno jedna smjena), posebno u slučaju zahtjeva za mjerenjem omskih otpora namota u svim položajima regulacijskih sklopki odnosno premještača. Metoda solidno otkriva loše spojeve u strujnom putu (spojevi paralela u namotu, loši kontakti na spojevima i provodnim izolatorima, regulacijskim sklopkama i premještačima). Kao dopuna ovoj metodi koristi se kromatografska analiza pli-

nova iz transformatora, a u slučaju sumnje na kontakte provodnih izolatora i termovizijsko snimanje.

Mjerenje otpora, kapaciteta i faktora dielektričkih gubitaka izolacije transformatora

Mjerenja se provode *U-I* metodom, mosnim ili za tu svrhu posebno razvijenim metodama radi ustanovljavanja općeg stanja glavne izolacije (između namota i prema uzemljenim dijelovima) transformatora, a ne daju nikakve praktički vrijedne podatke o unutrašnjoj izolaciji namota. Metode su u dijagnostičkom smislu srednjih mogućnosti i daju posredan odgovor na pitanja ovlaženosti, onečišćenosti i ostarjelosti izolacije. Za pojašnjenje eventualnih nepravilnosti utvrđenih ovim metodama koristi se fizikalno-kemijska analiza ulja i stupanj polimerizacije papira, a u dogledno vrijeme i visokoučinska tekućinska kromatografija ulja.

Kapacitet i faktor dielektričkih gubitaka kapacitivnih provodnih izolatora

Mjerenje se provodi mosnim ili posebnim metodama u slučaju kada provodni izolator nema mjernog priključka. Metoda je dijagnostički visoko vrijedna jer pouzdano određuje stanje izolacije provodnih izolatora (ostarjelost i ovlaženost izolacije, kratko spojeni kondenzatori, stanje mjernog priključka). Kao dopunski podaci koriste se rezultati termovizijskog snimanja, kromatografske i fizikalno-kemijske analize ulja iz provodnog izolatora. Uzimanje potrebne količine ulja za analizu može biti problem zbog relativno male količine ulja u provodnom izolatoru.

Mjerenje rasipnog induktiviteta transformatora

Metoda se koristi za otkrivanje mehaničkih deformacija namota i steznog sustava prouzročenih dinamičkim silama u kratkom spoju. Zbog zahtijevane visoke točnosti provodi se mosnom metodom, a mjerenje se provodi za svaku fazu i par namota posebno. Metoda je jednostavna, a dijagnostički je srednjih mogućnosti. Postoje li prethodni rezultati na dotičnom objektu, mogućnosti su joj znatno veće. U slučaju dvojbene rezultata dopunjuje se metodom procjene deformacija namota pomoću mjerenja odziva transformatora u frekventnoj i vremenskoj domeni.

Mjerenje odziva transformatora u frekventnoj i vremenskoj domeni

Cilj metode je otkrivanje mehaničkih deformacija namota. Mjerenje se provodi pomoću generatora sinusnog napona promjenljive frekvencije, odnosno generatora niskonaponskih impulsa napona oblika sličnih kao kod standardnog udarnog ispitnog napona i prikladnog registratora napona. Napon se dovodi na jednu od stezaljki transformatora, a na ostalima se mjeri odziv, i to se provodi za sve kombinacije stezaljki. Rezultati mjerenja se prikazuju u grafičkom obliku. Odstupanja odziva u frekventnoj odnosno vremenskoj domeni, uspoređujući različite faze transformatora odnosno prethodna mjerenja, upućuju na mehanička oštećenja namota. U dijagnostičkom smislu metoda je male efikasnosti, i to ponaj-

prije zbog toga što mjerenje i interpretacija rezultata zahtijeva veliko iskustvo. Zbog toga je s uspjehom provode samo usko specijalizirane institucije.

Mjerenje otpora izolacije jezgre

Mjerenje je vrlo jednostavno provesti ako je uzemljenje jezgre izvedeno u dostupnoj priključnoj kutiji. U protivnom potrebno je otvaranje transformatora. Metodom se ustanovljavaju mehanička i električka oštećenja jezgre i njezina steznog sustava te magnetskih usmjerivača. U praksi je malih dijagnostičkih sposobnosti, i to zbog relativno velikog broja transformatora s nedostupnim uzemljenjem jezgre.

2.1.3. Optičke dijagnostičke metode

Termovizijsko snimanje transformatora

Posebnom termovizijskom kamerom transformator se snima u infracrvenom dijelu spektra. Metoda u mjernom smislu ima visoku točnost, ali u dijagnostičkom smislu može se ocijeniti kao srednje efikasna zbog ograničenosti na vidljive dijelove. Daje dobre rezultate u otkrivanju pregrijanja na provodnim izolatorima (loš kontakt) i kotlu transformatora (pregrijanja zbog lutajućih struja, koncentracije rasipnog magnetskog toka ili zbog specifičnih problema vezanih za izvode protjecane velikim strujama).

Vizualni pregled

Unatoč izraženoj subjektivnosti, vizualni pregled možemo smatrati dijagnostičkom metodom. Otkrivaju se grube mehaničke (lomovi) i termičke (promjena boje i izgleda) greške, curenja ulja, stanje dehidrataora, opće stanje rashladnog sustava, itd. . . Poduzima se i u smislu definitivne potvrde dijagnoza dobivenih drugim metodama. Unatoč relativnoj jednostavnosti zahtijeva iskusnog i stručnog izvršioca.

2.1.4. Akustičke dijagnostičke metode

Mjerenje parcijalnih izbijanja ultrazvučnom metodom

Pojam parcijalnih izbijanja (PI) podrazumijeva djelomične proboje unutar izolacijskog sustava koji ne uzrokuju momentalni definitivni proboj izolacije. To su pojedinačni izboji koji nastaju pražnjenjem dijela električki opterećenog prostora. PI oštećuju izolaciju (ulje i papir) i mogu biti uzrok proboja transformatora. Veličina oštećenja ovisi o trajanju i intenzitetu izbijanja. Intenzitet PI izražava se u pikokulonima (pC). To je naboj koji daje izvor da bi nadomjestio izbijeni naboj u dijelu izolacije gdje se javljaju PI. Uzroci PI mogu biti: prevelika dielektrička naprezanja u glavnoj izolaciji i izolaciji namota i izvoda, loši kontakti, dijelovi transformatora u električnom polju na nedefiniranom potencijalu i onečišćenost izolacije vodljivim, ali i nevodljivim nečistoćama. Posljedice PI su električki, akustički i kemijski efekti koji se mogu registrirati odgovarajućim mjernim metodama.

Najosjetljivije su električke mjerne metode, ali nisu primjenljive za energetske transformatore u pogonskim uvjetima.

Akustičke mjerne metode su slabije osjetljive (oko 1 000 pC), ali su prikladne za pogonske uvjete. Na kotao transformatora u pogonu postavljaju se akustički detektori odgovarajućega frekventnog opsega čiji se signali prate osciloskopom i/ili digitalnim recorderom. Obradom signala može se odrediti iznos, a s više ili manje uspjeha i lokacija PI. Metoda je osrednje dijagnostički vrijedna. Mogućnosti su joj veće pri kontinuiranom motrenju (on-line sistemi: mogu se nabaviti na tržištu) ili kada su provedena prethodna mjerenja. Jednostavna je i kratkotrajna, ali za njezino je izvođenje potreban posebno osposobljen ispitivač.

Kao djelotvorna dopuna ovoj metodi koristi se kromatografska analiza.

Mjerenje buke

Mjerenjem buke transformatora u pogonu moguće je ukazati na mehaničke nedostatke (popuštanje) steznog sistema jezgre i eventualno namota. Metoda je u fazi uvođenja u primjenu.

2.2. Učestalost dijagnostičkih ispitivanja

Utvrđivanje stanja transformatora u pogonu podrazumijeva sustavno provođenje dijagnostičkih ispitivanja. Prvi problem koji treba riješiti jest kategorizacija energetskih transformatora. U literaturi je najčešća kategorizacija po najvišem naponu opreme. Nedostatak je što se važnost transformatora u sistemu izražava samo putem napona, a zanemaruje se vrsta i funkcija odnosno posebni zahtjevi s obzirom na pogonsku sigurnost. U literaturi o sistematizaciji kvarova transformatora pojavljuje se kategorizacija izražena peteroznamenastim brojem, [1], gdje znamenke simboliziraju najviši napon, vrstu i funkciju, mogućnost regulacije pod opterećenjem, tip magnetiskog kruga i starost transformatora. Navedena kategorizacija je stručno korektna, ali rezultira velikim brojem grupa od kojih je, u dijagnostičkom smislu, velik broj identičnih. Prema našem iskustvu, predlažemo kategorizaciju energetskih transformatora na sljedeći način:

grupa I: energetski transformatori najvišeg napona opreme većeg od 170 kV i svi transformatori bez obzira na napon, kod kojih se zahtijeva povećana pouzdanost pogona (generatorski transformatori, transformatori kod kojih prekid pogona uzrokuje velike štete, transformatori s posebnom važnošću, itd.);

grupa II: energetski transformatori najvišeg napona opreme od uključivo 72,5 do 170 kV;

grupa III: energetski transformatori najvišeg napona opreme nižeg od 72,5 kV i nazivne snage veće od 5 MVA.

Korisnik transformatora svrstava transformator u određenu grupu prema najvišem naponu opreme i specifičnostima pogona. Transformatori u specifičnim uvjetima pogona i zahtijevanom povećanom pogonskom sigurnošću svrstavaju se u grupu I.

Pouzdanost pogona transformatora ovisi o njegovoj kvaliteti, pogonskim uvjetima i načinu održavanja. Grupe transformatora treba shvatiti kao razrede zahtjevnosti odnosno stupnjeve strogosti glede održavanja. Najniži zahtjevi su za grupu III, a najviši za grupu I.

Dijagnostička ispitivanja, mogu biti redovna (prethodna dijagnostička ispitivanja upućuju na normalno stanje) ili izvanredna (prethodna ispitivanja upućuju na odstupanja od normalnog stanja).

2.2.1. Učestalost redovnih dijagnostičkih ispitivanja

Predlažemo da se dijagnostička ispitivanja provode u vremenskim intervalima prema tablicama 2. i 3. Učestalost predloženih redovnih ispitivanja može se mijenjati tijekom vijeka trajanja transformatora. Povećanjem učestalosti ispitivanja u početnom razdoblju pogona (uhodavanje) nastoji se povećati pouzdanost pogona koja je zbog eventualnih skrivenih grešaka (nastalih tijekom izrade, transporta ili montaže na terenu) smanjena. Osim toga, tako dobiveni početni podaci imaju veliko značenje za dijagnostiku

Tablica 2. Učestalost redovnih dijagnostičkih ispitivanja energetskih transformatora

	Grupa I.	Grupa II.	Grupa III.
Fizikalno-kemijska ¹ analiza ulja	A 1	A C 3	A 5
Kromatografska analiza plinova iz transformatora	A B 1	B C 2	C
Stupanj polimerizacije papira	²	²	²
Visokoučinska tekućinska kromatografija	Operativno se još ne primjenjuje		
Struje magnetiziranja, omjeri prijenosa i grupa spoja	A 2	A 5	A ²
Omski otpori namota	A 2	A 5	A ²
Otpor, kapacitet i faktor dielektričkih gubitaka	A 2	A 5	A ²
Kapacitet i faktor dielektričkih gubitaka provodnih izolatora	A 2	A 5	A ²
Rasipni induktiviteti transformatora	A 2	A 5	A ²
Odziv transformatora u vremenskoj i frekventnoj domeni	³	³	³
Otpor izolacije jezgre	A 5	A 10	A ²
Termovizijsko snimanje transformatora	B 1	B 2	C 5
Vizualni pregled transformatora	Prema uputi korisnika i/ili proizvođača		
Parcijalna izbijanja ultrazvučnom metodom	C 2	C 5	—
Buka transformatora u pogonu	C 5	C	C

Oznake:

A — prije (prvog) puštanja u pogon, odnosno nakon remonta u kojem je poduzet zahvat na ulju

B — nakon 3 mjeseca pogona

C — nakon 12 mjeseci pogona.

Brojčana oznaka predstavlja interval primjene u godinama.

Tablica 3. Učestalost redovnih fizikalno-kemijskih ispitivanja ulja

	Grupa I.	Grupa II.	Grupa III.
Broj i čistoća	A 1	A C 3	A 5
Probojni napon	A 1	A C 3	A 5
Sadržaj vode	A 1	A C 3	A 5
Neutralizacijski broj	A 1	A C 3	A 5
Talog	A 1	A C 3	A 5
Faktor diel. gubitaka i specifični el. otpor	A 1	A C 3	A 5
Granična površinska napetost	A 1	A C 3	A 5
Oksidacijska stabilnost	A 5	A 10	A
Sadržaj inhibitora	A 2	A 5	A
Strukturna analiza	4	4	4

Oznake su iste kao za tablicu 2.

Opaske za tablice 2 i 3:

- ¹ Vidi tablicu 3.
- ² Tijekom ili nakon remonta.
- ³ Primjenjuje se ako mjerenje rasipnih induktiviteta upućuje na dvojbene rezultate.
- ⁴ Primjenjuje se ako ispitivanja ulja upućuju na ubrzano starenje.

transformatora u pogonu. Povećanom učestalošću u kasnijem razdoblju nastoji se spriječiti proces naglog pogoršanja stanja zbog starenja. Odluku o tome donosi, nakon provedenih ispitivanja, ekspert za dijagnostiku. Povećanje učestalosti dijagnostičkih ispitivanja u kasnijem razdoblju nije uneseno u tablice 2. i 3.

Tablice 2. i 3. obrađuju transformatore u pogonu (pod naponom). Montirani transformatori napunjeni uljem koji nisu pod naponom skloni su upijanju vlage, kao i transformatori u pogonu. Zbog toga smatramo da transformatore koji su dulje vrijeme izvan pogona treba podvrgnuti sljedećim ispitivanjima:

- grupa I: kontrola probojnog napona ulja svaka 3 mjeseca i vode u ulju svakih 6 mjeseci;
- grupa II: kontrola probojnog napona ulja svakih 6 mjeseci i vode u ulju svake godine;
- grupa III: kontrola probojnog napona ulja svake godine.

Navedene učestalosti ispitivanja vrijede uz prosječne uvjete okoliša.

Predložene učestalosti pojedinih dijagnostičkih ispitivanja nešto su veće nego što je to u zapadnoeuropskoj literaturi (npr. [2]).

2.2.2. Izvanredna dijagnostička ispitivanja

Izvanredna dijagnostička ispitivanja poduzimaju se na zahtjev korisnika transformatora, a posebno:

1. ako rezultati redovnih dijagnostičkih ispitivanja pokazuju odstupanja od uobičajenih vrijednosti;
2. nakon reakcije zaštite transformatora, osim onda kada je nepobitno dokazano da je uzrok reakcije zaštite izvan transformatora;
3. nakon izrazitih nenormalnih događaja u mreži koji imaju utjecaj na pogonsko stanje transformatora (na primjer: bliski kratki spoj, neuobičajena i-

/ili nedozvoljena preopterećenja, prekoračenje dozvoljenih temperatura ulja i/ili namota zbog kvara rashladnog sustava itd.).

Upute za izbor i učestalost izvanrednih dijagnostičkih metoda i postupaka ne postoje. U ovisnosti o konkretnom slučaju (karakter i iznos odstupanja od normalnog stanja, važnost transformatora u sustavu, pogonski uvjeti i iskustva sa sličnim transformatorima) korisnik i proizvođač transformatora u suradnji s ekspertima za dijagnostiku određuju opseg i učestalost dijagnostičkih ispitivanja. Izvanredna dijagnostička ispitivanja provode se dok se ne odredi i, ovisno o utvrđenom utjecaju na pogonsku sigurnost, ne ukloni uzrok odstupanja od normalnog stanja.

3. POSTUPCI ODRŽAVANJA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA

Prema u uvodu navedenim definicijama, održavanje se sastoji od nadzora i servisiranja. Na temelju rezultata nadzora donosi se odluka o izvođenju nekog od postupaka servisiranja.

Održavanje energetskih transformatora treba provoditi u skladu s uputama proizvođača transformatora. Međutim, u praksi se događa da te upute ne postoje ili su manjkave.

U sljedećim odjeljcima navedena su načela održavanja energetskih transformatora.

3.1. Održavanje izolacijskog sustava

Izolacijski sustav transformatora (ulje-papir) pbd utjecajem termičkih, električkih i mehaničkih napreznja, vlage, kisika, te drugih vanjskih i unutarnjih onečišćenja s vremenom brže ili sporije slabi (stari). Preventivnim dijagnostičkim metodama prati se proces starenja i otkrivaju pojave i uzroci ubrzane degradacije izolacije kako bi se utvrdili pravovremeni postupci za održavanje sustava izolacije u stanju koje osigurava odgovarajuću pouzdanost pogona. Ocjena stanja izolacijskog sustava u pogonu donosi se na temelju rezultata odgovarajućeg opsega ispitivanja. Stanje izolacijskog sustava u smislu funkcionalne sposobnosti kvalificira se na sljedeći način:

- a) ispravno ili normalno stanje, kada su sve izmjerenne karakteristike unutar područja prihvatljivosti;
- b) odstupanje pojedinih karakteristika izvan područja prihvatljivosti, kada su iznosi i uzrok odstupanja takvi da se primjenom odgovarajućih metoda na terenu može povećati izolacijska sposobnost;
- c) rizik za daljnji pogon nastupa kada rezultati ispitivanja pokazuju visok stupanj djelomične i/ili opće degradacije; prije eventualne sanacije stanja potrebna je detaljnija ekspertna analiza;
- d) stanje sumnjivo na smanjenu pouzdanost, kada su izmjerena određena, ali nespecifična odstupanja, a nema dovoljno podataka o vrsti, intenzitetu i mjestu degradacije.

Primjena metoda za održavanje izolacijskog sustava u ispravnom stanju počinje u proizvodnji transfor-

matora, a podrazumijeva sljedeće faze: izbor kvalitetnih materijala i njihovu kontrolu, čistoću i kvalitetu izrade, vakuumsko sušenje aktivnoga dijela transformatora, vakuumsku obradu izolacijskog ulja, punjenje transformatora uljem pod vakuumom, primjenu efikasnog načina zaštite izolacijskog sustava itd. U toku rada u transformator ulaze vlaga i zrak, a transport vode odvija se u smjeru: zrak — ulje — papir. Kisik iz zraka u prisutnosti vlage izaziva oksidaciju izolacijskih materijala ulje — papir, a nastali produkti (kiseline, talog, voda, degradirana celuloza...) neposredno su odgovorni za stanje izolacijskog sustava. Prema tome, onečišćenja izolacijskih materijala zahtijevaju najprije njihovo otkrivanje, a zatim uklanjanje.

Obrada izolacijskog ulja

Ona je nužna kako za nova nerabljena ulja prije punjenja transformatora u tvornici ili na terenu, tako i za rabljena ulja iz transformatora u pogonu ili skladišnih spremnika, koja su ovlažena i/ili sadrže mehaničke nečistoće. Najefikasnije se provodi pomoću vakuumskih uređaja za obradu ulja, koji se sastoje od grubih i finih filtara, grijača ulja, uređaja za vakuumiranje i komore za otplinjavanje, a koriste se i za obradu ulja iz transformatora kružnim tokom (transformator — vakuumski uređaj). Efikasnost i vrijeme obrade ovise o kapacitetu uređaja, te optimalizaciji parametara: temperature, protoka i vakuuma.

Regeneracija ulja

Kemijski degradirana ulja, koja još nisu u visokom stupnju kemijske destrukcije, mogu se regeneracijom dovesti u stanje zadovoljavajuće za primjenu. Obrada se provodi propuštanjem ulja kroz komore punjene aktivnim sredstvima (prirodni ili sintetski adsorbenti), koja zadržavaju produkte kemijske razgradnje ulja (kiseline i talog), a mogu se uklanjati i druga kemijska onečišćenja, te fine čestice grafita. Regeneriranom ulju treba dodati inhibitor oksidacije.

Sušenje izolacijskog sustava

Sušenje izolacijskog sustava poduzima se u slučaju prekomjernog ovlaženja izolacije koje može nastati tijekom pogona, predugog stajanja transformatora izvan pogona, prilikom transporta ili izlaganjem atmosferskim utjecajima zbog pregleda ili popravka. U okviru zahvata sušenja potrebno je utvrditi i ukloniti uzroke ovlaženja izolacije.

Metoda sušenja transformatora na terenu ovisi o raspoloživoj opremi i o vakuum propusnosti kotla. Iako nedovoljno efikasna, metoda koja se često mora primijeniti jest sušenje pomoću cirkulacije vrućeg ulja. Proces se može ubrzati dodatnim zagrijavanjem kotla transformatora vanjskim grijačima. Za provedbu postupaka nužan je uređaj za vakuumsku obradu ulja,

Kod kotlova otpornih na vakuum primjenjuje se vakuumsko sušenje koje se sastoji od zagrijavanja toplim uljem, ispuštanja ulja i vakuumiranja (proces se ponavlja potreban broj puta). Najefikasnija metoda

za sušenje i ispiranje transformatora na terenu jest obrada uljnim parama (oil-spray postupak).

Provedba navedenih postupaka zahtijeva specijalizirane ekipe i opremu.

Regeneracija izolacijskog sustava

Provodi se kad ispitivanja ulja i izolacijskih karakteristika namota upućuju na oslabljenu izolacijsku sposobnost radi kemijske degradacije. Navodimo dva glavna postupka za regeneraciju izolacije transformatora:

Regeneracija pomoću novog ulja. Postupak se provodi pomoću visokokvalitetnoga, inhibiranoga novog ulja uz istovremeno ispiranje namota i unutrašnjosti transformatora. Iscijedeni aktivni dio ispire se novim uljem (po mogućnosti prskanjem), a zatim se cijedenje pospješuje punjenjem dušikom. Pranje se ponavlja punjenjem sa zagrijanim novim uljem uz cirkulaciju, zagrijavanje i vakuumiranje. Važno je kontinuirano filtriranje ulja u cirkulacijskom ispiranju. Proces se provodi do stagnacije promjene električkih veličina, a efikasnost se određuje u odnosu na početno stanje.

Regeneracija pomoću uređaja za regeneraciju ulja. Regeneracija se može provesti i kružnom cirkulacijom ulja između transformatora i uređaja za regeneraciju ulja, ali samo kod manjih jedinica, zbog malog protoka ulja kroz uređaj za regeneraciju. Postupak uključuje i primjenu uređaja za vakuumsku obradu ulja, koji je najčešće sastavni dio uređaja za regeneraciju ulja.

3.2. Održavanje steznog sustava namota energetskih transformatora

Namoti u transformatoru su stlačeni određenim aksijalnim silama. Te sile se realiziraju pomoću steznog sustava namota transformatora. Sile kojima su namoti štlačeni određene su rezultantnim aksijalnim silama koje nastaju u kratkom spoju transformatora. Odgovarajuća stlačenosť namota jedna je od ključnih pretpostavki u osiguravanju otpornosti transformatora na dinamičke sile kratkog spoja. U završnoj fazi montaže transformatora namoti, koji su već prošli postupak mehaničke stabilizacije, podvrgavaju se izračunatim montažnim aksijalnim silama. Međutim, unatoč provedenoj mehaničkoj stabilizaciji namota, aksijalna sila kojom su namoti tijekom montaže transformatora stlačeni, tijekom pogona polagano opada. Prema [3] aksijalne sile kojima su namoti stlačeni smanjile su se nakon 28 mjeseci pogona na 78 % početne aksijalne sile (mjerenje je obavljeno na transformatoru snage 90 MVA pomoću specijalne mjerne opreme ugrađene u toku proizvodnje). Prema istom izvoru navodi se da je, kada se aksijalne sile smanje na 70 % početne vrijednosti, potrebno izvršiti dotlačivanje, ali nije navedeno nakon koliko godina pogona se pojavljuju takvi uvjeti. Komplikiranost zahvata dotlačivanja ovisi o tipu primijenjenoga steznog sustava (informacije se mogu dobiti od proizvođača transformatora) pri čemu je uvijek potrebno otvoriti kotao transformatora. Na

temelju naših iskustava procjenjujemo da bi transformatore trebalo dotlačiti nakon približno 10 godina pogona u sklopu generalnog remonta.

3.3. Održavanje provodnih izolatora

Provodni izolatori energetskih transformatora ne zahtijevaju posebno održavanje, osim pranja površine (učestalost ovisi o zagađenosti okoliša), kontrole nivoa izolacijske tekućine i pritegnutosti kontakata. Neki drugi zahvati se primjenjuju samo onda kada relevantne dijagnostičke metode ukažu na problem koji je potrebno sanirati.

3.4. Održavanje regulacijskih preklopki i premještača

Održavanje regulacijskih preklopki svodi se na pravovremenu izmjenu dijelova koji se tijekom rada troše. Svi potrebni zahvati i materijal navedeni su u uputama proizvođača. Premještači ne zahtijevaju posebno održavanje. Kod regulacijskih preklopki i premještača kojima se malokad vrši promjena položaja regulacije potrebno je svake dvije godine obaviti manipulaciju preklopkama ili premještačima tako da se prođu svi položaji.

3.5. Održavanje rashladnog sustava transformatora

Rashladni sustav transformatora sastoji se od hladnjaka, upravljačkog sustava i cjevovoda (ovisno o vrsti rashladnog sustava, neki dijelovi mogu biti izostavljeni). Održava se prema uputi proizvođača a svodi se na sljedeće:

1. ONAN hlađenje: čišćenje rashladnih površina od nečistoća (učestalost ovisi o zagađenosti okoliša), sanacija curenja i dotjerivanja antikorozivne zaštite.
2. ONAF hlađenje: isto kao pod 1 i održavanje motora ventilatora (električka kontrola, podmazivanje i čišćenje).
3. OFAF hlađenje: isto kao pod 2 i održavanje uljnih pumpi (električka kontrola i čišćenje; većina uljnih pumpi se podmazuje transformatorskim uljem te dodatno podmazivanje nije potrebno).
4. OFWF hlađenje: održavanje čistoće rashladnih površina kod ove vrste hlađenja svodi se na kontrolu padova pritiska u hladnjaku posebno promatrajući vodenu i uljnu stranu. Kada, uz određen protok, pad pritiska premaši unaprijed određeni iznos, hladnjak se mora očistiti. Kod hladnjaka s jednostrukim stijenkama treba uvijek održavati pretlak s uljne prema vodenoj strani čime se onemogućava eventualni prodor vode u transformator. Kod vodenih hladnjaka sa dvostrukim stijenkama dozvoljava se pretlak vode prema ulju, a zaptivenost se nadzire utvrđivanjem pojavljivanja tekućine u međuprostoru. Uljne pumpe održavaju se isto kao pod 3.

Upravljački sustav rashladnog sustava održava se kako slijedi:

1. Provjera funkcionalnosti zaštite i signalizacije rada uljnih pumpi i ventilatora.
2. Provjera ispravnosti rada uređaja za signalizaciju prekoračenja dopuštene temperature i uređaja za upravljanje rashladnim sustavom.

3.6. Održavanje sustava disanja transformatora

Većina standardnih transformatora izvedena je s otvorenim sustavom disanja i zaštitom ulja od vlage pomoću dehidratora punjenog silikagelom. Za efikasnost sušenja važna je vizualna provjera stanja silikagela i njegova pravovremena zamjena odnosno sušenje. Ovaj dehidrator propušta zrak, tj. kisik, pa se zato ulje štiti od oksidacije pomoću inhibitora koji se u pojedinim fazama može i naknadno dodavati. Zaštita sistema od vlage i kisika, koji su presudni za oksidaciju, pogotovo kod termički napregnutih sistema (generatorski transformatori), moguća je zatvaranjem transformatora prema zraku ugradnjom membrane u konzervator, hermetizacijom prema atmosferi (kod manjih jedinica), zaštitnom atmosferom dušika iznad ulja i kontinuiranom kemijskom obradom ulja pomoću sintetskih smola (npr. zeolita). Pojedini od navedenih efikasnijih sistema zaštite mogu se izvesti u sklopu remonta transformatora, što može produljiti životni vijek izolacijskog sustava.

3.7. Održavanje kotla i konzervatora

Unutrašnjost kotla i konzervatora zaštićuje se od korozije reaktivnom temeljnom bojom, koja je dovoljna zaštita ako površine nisu dulje izložene atmosferskim utjecajima. Dodatna unutarnja zaštita površinskim premazima provodi se ovisno o zahtjevima korisnika.

S vremenom se pojavljuje korozija metalnih dijelova kao posljedica akumulacije vlage i kiselih produkata degradacije ulja, što je naročito izraženo u konzervatoru (kondenzacija vlage i hlapivih kiselina iz ulja). Temeljita unutarnja sanacija moguća je jedino tijekom remonta.

Vanjska antikorozivna zaštita, tj. vanjski premazi, saniraju se prema potrebi, a obavezno svakih pet godina. Postupak se sastoji od čišćenja abrazivnim i/ili kemijskim sredstvima (odmašćivanje). Zatim se nanose premazi temeljne i završne boje odgovarajuće kvalitete i nijanse.

Brtveni materijali gube elastičnost starenjem, zbog čega dolazi do curenja ulja naročito na toplijim mjestima. Gumirana pluta, koja imaju prednost u normalnim klimatskim uvjetima, nepovoljna su za vlažne i tropske krajeve.

Izmjena brtvi zahtijeva djelomično ili potpuno ispuštanje ulja, pa o lokaciji brtve ovisi i veličina zahvata.

4. ZAKLJUČAK

Pravilnim održavanjem energetskih transformatora u pogonu može se povećati njihova pouzdanost i vijek trajanja, što je veoma važno za funkcionalnost elektroenergetskog sustava.

Ocjenjuje se korisnim formirati stručnu ekipu pod pokroviteljstvom Hrvatske elektroprivrede koja bi sudjelovala pri izradi uputa, propisa i preporuka iz područja održavanja energetskih transformatora.

Daljnji rad na ovom području treba usmjeriti prema usavršavanju postojećih i uvođenju novih dijagnostičkih metoda te definiranju kriterija (graničnih vrijednosti pojedinih dijagnostičkih parametara) za određivanje stanja transformatora u pogonu.

LITERATURA

- [1] »An international survey on failures in large power transformers in service«
Final report of Working Group 05 of Study Committee 12 (Transformers), Electra No. 88, 1983
- [2] »Überwachung und Instandhaltung der flüssigen und festen Isolierung von Wicklungen in Öl«, ÖVE, Wien, 1987.
- [3] Peter Kienast: »Messung der axialen Wicklungseinspannkkräfte mit Dehnungsmeßstreifen an Leistungstransformatoren«, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 87 (1988, Heft 10
- [4] »Dielectric diagnosis of electrical equipment for AC applications and its effects on insulation coordination«, Presented at the CIGRE 1990 Session, Paris, 26. 08. – 01. 09.
- [5] »Supervision and maintenance guide for mineral insulating oils in electrical equipment«, IEC 422, Second editions 1989–04
- [6] »IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment«, ANSI/IEEE C 57.106 – 1977

POWER TRANSFORMER MAINTENANCE

Suitable power transformer maintenance is one of the preconditions of its reliable service. It includes both the control (state diagnosis) and the transformer maintenance. In this work, diagnosis methods and procedures are described, that can be applied when transformers are operating and the frequency of those methods is recommended. The basic maintenance procedures of significant power transformer components are also described. This work is the result of a long-time transformer behaviour observation, the study of transformer faults, literature and regulations and it should be considered a reminder on oilimmersed power transformer maintenance.

WARTUNG DER ENERGETISCHEN TRANSFORMATOREN

Die entsprechende Wartung der energetischen Transformatoren im Betrieb ist eine der Voraussetzungen für ihre zuverlässige Arbeit. Die Wartung umfasst die Überwachung (Diagnostik der Lage) und das Transformatorservice. In der Arbeit werden diagnostische Methoden beschrieben, sowie Verfahren die auf Transformatoren im Betrieb angewendet werden können. Es wurden auch häufigere Anwendungen der diagnostischen Methoden empfohlen. Es wurden auch Grundmethoden der Eartung von wichtigeren Schaltungen beschrieben. Die Arbeit ist ein Ergebnis der langjährigen Beobachtung der Transformatoren im Betrieb, das Studium der Schaden der Transformatoren, sowie der dazugehörigen Literatur und der Vorschriften. Die Arbeit sollte man als ein Nachschlagewerk über die Wartung der 01 – energetischen Transformatoren betrachten.

Naslov pisaca:

Antun Mikulecky, dipl. inž.

Sonja Čabrajac, dipl. inž.

Končar, Institut za

elektrotehniku

41000 Zagreb, Fallerovo šet. 22,

Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:

1991 – 09 – 17.



PROIZVODNI PROGRAM

Energetski kabele za napone:

1 kV-s termoplastičnom izolacijom
10 kV-s izolacijom od:
— umreživog polietilena
— etilen-propilena

20 kV — s izolacijom od:
— umreživog polietilena
— termoplastičnog polietilena
35 kV — s izolacijom od:
— umreživog polietilena
— etilen-propilena

Termoplastikom izolirani instalacijski vodovi i kabele.

Gumom izolirani instalacijski vodovi i kabele.

Brodski kabele izolirani etilen-propilenom i plaštom od neoprena.

Kabele i konektori za aerodromske instalacije.

Samonosivi kabelelki snopovi Elkalex-1.

Telekomunikacijski kabele s izolacijom i plaštom od termoplastičnih materijala.

Telefonske montažne žice.

Optički kabele.

Specijalni vodovi i kabele.

Rudarski kabele.

Kabelelki setovi sa konektorima.

Lakirana žica.

Aluminijska, alu-čelična i užad iz aluminijske legure.

Čelična užad za dizalice, brodove i druge namjene.

Umreživi polietilen



»ELKA« Tvornica električnih kabele — Zagreb, Žitnjak bb, P.O.B. 150
Tel.: 232-200 — Telex: 21-193; Telefax: 223-898

RAZLOZI ANALIZE TURBOGENERATORSKOG AGREGATA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Mr. Alfredo Višković, Plomin

UDK 621.314.11

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Rad pronalazi razloge analiza ponašanja turbogeneratorskog agregata u elektroenergetskom sistemu, te njegovo modeliranje na sabirnicama beskonačne snage, čiji je primjer obraden.

Ključne riječi: generator, prijelazna stabilnost, sabirnice beskonačne snage.

UVOD

Stabilnost elektroenergetskog sistema s mnoštvom generatora koji ga opskrbljuju energijom postao je vrlo zamršen problem. Dogodili su se i opisani su raspadi sistema koji su prouzročili velike štete, a bili su posljedica nestabilnosti u pogonu.

Sinhroni generator jest sinhron jer radi s isto takvim generatorima paralelno, te oni moraju biti u sinhronizmu, tj. raditi s istom frekvencijom. Nije moguće uopće paralelni rad takvih generatora ako se njihova frekvencija i najmanje razlikuje.

U perturbacijama dolazi do međusobnih razlika u frekvencijama, ali to je samo kratkotrajno u prolaznom stanju. Upravo su ta dinamička stanja bitna za prosuđivanje stabilnosti pogona. Za određivanje stanja ovako složenih sistema služe Parkove jednadžbe. Odredi se točka u mreži koja služi kao stezaljke generatora na koji je priključen sistem.

Ovaj rad govori o stabilnom radu sinhronih strojeva. Električna energija proizvodi se sinhronim generatorima, koji rade na jedinstvenoj mreži na koju je ukopčano mnoštvo generatora. Sinhroni generator ima posebna svojstva koja se svode na sinhroni rad čim rade najmanje dva generatora paralelno na istoj mreži. Njihov sinhronizam sastoji se u tome što moraju bezuvjetno raditi pri istoj frekvenciji, savršeno točno, a to znači da najmanje odstupanje u frekvenciji onemogućuje paralelni rad. To je u stacionarnom radu generatora.

U prolaznim stanjima, koja nastaju pojavom smetnje u radu, može se pojaviti odstupanje u frekvenciji koje je prolaznog karaktera, ali zato postoje i dodatni uvjeti koji moraju biti zadovoljeni da bi generator ostao u stabilnom radu.

Kretanje stroja je stabilno ako promjene parametara koje opisuju rad generatora ne prelaze iznose, koji taj rad onemogućuju. Kvaliteta električne energije zahtijeva konstantnost napona, konstantnost frekvencije i stalnost isporuke električne energije po ko-

ličini i trajanju. Smetnje ometaju rad generatora. One su sadržane u promjenama tereta koji u krajnosti može biti kratki spoj. Usto kao smetnje se računaju i pojava viših harmonika u naponu i struji te odstupanje od simetričnog trofaznog sustava.

Otklonski kut magneta rotora mjerodavan je da li će stroj biti u sinhronizmu. Ako je po promjenama prirast snage po jedinici promjene otklona pozitivan, stroj je stabilan te ostaje u sinhronizmu. To je kriterij stabilna rada generatora. U prolaznim stanjima važno je trajanje prolazne pojave. Ako ta pojava nije preduga, stroj će ostati stabilan. Mnoštvo generatora radi paralelno. Po nekoliko njih su direktno spojeni u elektranama, a većina međusobno vezana vodovima. Vodovi slabe vezu među generatorima, te ih je teže održati u stabilnom radu.

Takav je bio slučaj u jugoslavenskoj mreži u početku kad je često dolazilo do raspada sistema. Kad su vodovi energetski pojačani, sistem je postao znatno stabilniji.

KAKO PROMATRATI STABILNOST U TOLIKOM MNOŠTVU GENERATORA

Ovaj rad objašnjava na primjeru rad agregata na beskonačno izdašnu mrežu ili »sabirnice beskonačne snage«. Takva mreža nema unutarnje impedancije, dakle unutarnjeg pada napona. Takva je analiza dovoljno točna kad postoji mnoštvo generatora.

Treba naći točku priključka gdje može biti zadovoljen taj uvjet. Tada preostaje agregat, turbina i generator i električni vod kojim je agregat povezan sa »sabirnicama beskonačne snage« [3].

Agregat je elektromehanički sistem te prema tome upravlja magnetskom i kinetičkom energijom koje su međusobno vezane silom konverzije. Obje te energije dolaze do izražaja nastupom smetnje i početkom prolaznog stanja, samo je razlika u vremenskim konstantama. Magnetska se energija mijenja mnogo kra-

ćom vremenskom konstantom nego kinetička energija. Kinetička energija pomaže ostajanje agregata u sinhronizmu, iako se magnetska energija razgradi u velikom stupnju. Kratki spoj u beskonačno izdašnoj mreži se ne osjeća u agregatu i predstavlja za njega malu smetnju. S druge strane, kratki spoj pri agregatu se ne osjeća u takvoj mreži, jer se tamo raspoređuje na mnoštvo generatora. Zato je u nastavku opisan najpovoljniji izbor za proučavanje stabilnosti, agregat na sabirnicama beskonačne snage.

Matematičkim modelom turbogeneratorskog agregata usvaja se sistem strujnih i magnetskih krugova, odnosno upotrijebljene su integrirane veličine struje i napona te magnetskog toka i magnetskog napona. Veza na mehanički sistem postiže se konverzionom silom koja se stvara u generatoru. Mehaničke integrirane veličine su brzina rotacije agregata i moment vrtnje. Magnetski krug stroja je karakterističan po tome što se jedan dio magnetske jezgre pokreće, a to je bitno u konverziji mehaničke energije u električnu.

Kada je stroj definiran elektromagnetski, postavljene su osnovne jednadžbe stanja. Mehaničke veličine su zadane momentom tromosti, eventualno momentom elastičnosti koji se ovdje zanemaruje i trenjem koje se obračunava kao opterećenje stroja. Veza između električnog i mehaničkog sistema jest moment konverzije koji se predstavlja brzinom rotacije i elektromagnetskim veličinama obuhvaćenoga magnetskog toka i električnom strujom u namotu. Kad je sistem trofazni, simetrični, moguće ga je pretvoriti u novi sistem, dvoosni koji inače ima vrlo dugu tradiciju. Primjena računala ne traži neki novi sistem, već bi se moglo ostati u normalnom trofaznom sistemu. Prednost je dvoosnog sistema da njegove osi -d i -q rotiraju zajedno s rotorom, a potrebne jednadžbe stanja postaju preglednije. Os -d se postavlja u simetralu magneta na rotoru, a -q os je okomita na -d os, to jest ona je u simetrali međumagnetskoga prostora. Veličine prebačene u -d os ne mijenjaju se vremenski ako je trofazni sistem simetričan. Prema tome su postavljene jednadžbe stanja naponske i mehaničke. To vodi na nelinearni sistem diferencijalnih jednadžbi koje se mogu rješavati sami numerički.

MATEMATIČKI PRIKAZ AGREGATA

Za točno određivanje zahtjeva na električni stroj nužno je točno poznavanje njegova ponašanja u domenama primjene. Odavno je poznat način kako se to postiže: ponašanje stroja opisuje drugi Kirchoffov zakon za njegove strujne krugove i drugi Newtonov aksiom za mehaničku vrtnju rotora.

Nezavisne koordinate ovakvog sistema (varijable stanja) mogu se birati na razne načine, na primjer to mogu biti struja $[i]$ i kut $[\delta]$ između referentnih osi statora i rotora.

Tako se dobiva matematički prikaz stroja:

$$[u] = [R][i] + \frac{d\delta}{dt} \frac{\partial[L]}{\partial\delta} [i] + [L] \frac{\partial[i]}{\partial t}$$

$$J \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_{\text{meh}} - \frac{1}{2} [i]_t \frac{\partial[L]}{\partial\delta} [i].$$

Nužan je uvjet za elektromehaničku konverziju postojanje elektromagnetskog zakretnog momenta u stroju i to da u određenom intervalu vrtnje postoji njegova srednja vrijednost.

Mora dakle nužno biti:

$$M_c = \frac{1}{2} [i]_t \frac{\partial[L]}{\partial\delta} [i] \neq 0.$$

Isključi li se trivijalni uvjet da mora postojati vektor struje, preostaje uvjet:

$$\frac{\partial[L]}{\partial\delta} \neq 0.$$

Prema tome, osnovni je uvjet za uopće postojanje elektromehaničke konverzije da induktivitet stroja, točnije njegova matrica, ovisi o položaju rotora prema statoru (kut δ).

Taj uvjet vodi na periodički promjenljive koeficijente

$$\delta i \frac{\partial[L]}{\partial\delta}$$

u matematičkom modelu, što čak i pri konstantnoj brzini vrtnje, kada otpada jednadžba gibanja, stvara velike teškoće za analitičko rješavanje. Ako je brzina vrtnje promjenljiva, što je u općem ponašanju stroja neizbježno, tada osim periodičnosti koeficijenata, što se može izbjeći odgovarajućom transformacijom koordinata, dolazi i do izrazite nelinearnosti u obliku umnoška varijabli. Javlja se umnožak $\delta i [L]$ u naponskim jednadžbama i umnožak struja $[i]$ u jednadžbi gibanja. Ovaj sistem je rješavan numeričkom integracijom.

Vjerodostojnost modela uvelike ovisi o točnosti induktiviteta L , što je ujedno i osnovna pretpostavka da se uz zadane parametra ostvari optimalni stoj.

Koristeći se modelom s diskretiziranim parametrima, pretpostavlja se da namoti stvaraju samo protjecanje s čistom sinusnom raspodjelom u zračnom rasponu, zanemarena je nejednolikost zračnog rasporeda zbog utora, a permeabilnost željeza smatrana je beskonačnom. Mogu se uzimati u obzir i neke dodatne pojave koje nastaju zbog složene konfiguracije realnog stroja. Tako se, na primjer, utjecaj prostornih viših harmoničkih članova protjecanja namota, koji po svojoj naravi induciraju u armaturi napon osnovne frekvencije, prikazuje dodatnim nadomjesnim induktivitetom tzv. dvostruko ulančenim rasipanjem.

ISTRAŽIVANJE NA MODELU POJEDINAČNI STROJ – SABIRNICE BESKONAČNE SNAGE

Matematički model namijenjen za istraživanje uvjeta stabilnog rada sinhronog generatora, odnosno elektroenergetskog sistema svodi se na rješavanje dvaju nizova jednadžbi [1]:

1. Algebarskih jednadžbi:

$$[q([x], [y])] = [0]$$

2. Diferencijalnih jednadžbi prvog reda (pošto se diferencijalne jednadžbe višeg reda svedu na odgovarajući broj diferencijalnih jednadžbi prvog reda):

$$\left[\frac{dy}{dt}\right] = [f([y], [x])].$$

U takvom postupku je karakteristično da se rješavanje sastoji od dvije faze:

1. Određivanje parametara ustaljenog pogonskog stanja koje prethodi poremećaju. Do njih se dolazi rješavanjem navedenih algebarskih jednadžbi. Dobivene vrijednosti služe kao početne u proračunu prijelazne pojave koja slijedi poremećaju.
2. Simultano rješavanje navedenih algebarskih jednadžbi i nevedenih diferencijalnih jednadžbi.

Time se dolazi do željenog cilja, a taj je određivanje vrijednosti kuta rotora generatora u pojedinim diskretnim vremenskim trenucima.

Ispitivanje je provedeno da bi se za izabrana pogonska stanja vršio simetrički kratki spoj na sabirnicama beskonačne snage, pri kratkom spoju uzbude i pri poremećaju turbinskog momenta.

Promatrano je vladanje generatora u vremenskim intervalima od trenutka 0 radijana (pogonsko stanje).

Smetnja nastupa kod 50 radijana i traje po izboru, kada se iskopča, te agregat dalje promatra do 1 400 radijana, odnosno 4 000 radijana. Vrijeme trajanja kvara [2] odgovara u promatranim slučajevima kritičnom vremenu t_{kr} . Za rješavanje diferencijalnih jednadžbi iskorištava se metoda Runge–Kutta četvrtog reda. Program je pisan u fortranu i izračen na računaru VAX. Krivulje karakteristika crtane su plotrom. Izabran je turbogenerator iz literature snage 160 MVA, 3 000 o/min, napona 15 kV, struje 6 158 A, napona uzbude 375 V, struje uzbude 926 A i faktora snage 0,85, zadanih reaktancija i vremenskih konstanti [2].

Izračunati su induktiviteti i otpori. Izabrana su tri različita opterećenja:

$$\begin{aligned} P1 &: 1,00 + j 0,62 = 1,177 \angle 31,788^\circ \\ P2 &: 1,00 + j 0,00 = 1,000 \angle 0^\circ \\ P3 &: 0,41 + j 0,25 = 0,480 \angle 31,788^\circ . \end{aligned}$$

Rezultati simulacije kratkog spoja pri raznim stacionarnim uvjetima:

Točke opterećenja	Trajanje kratkog spoja u radijanima	Tkr	Grafički prikazi u prilogu
P1	124 125	124	1.1. 1.2.
P2	117 118	117	1.3. 1.4.
P3	331 332	331	1.5. 1.6.

Rezultati simulacije poremećaja u uzbuđenom krugu:

Simulacija poremećaja uzbuđenog napona u jed. vrijed.	Vrijeme promatranja ponašanja generatora u radijanima	Nastanak kvara T ₂ u radijanima	Vrijeme trajanja kvara u radijanima	Grafički prikazi u prilogu
V _F = 0	4 000	50	3 950	1.7.

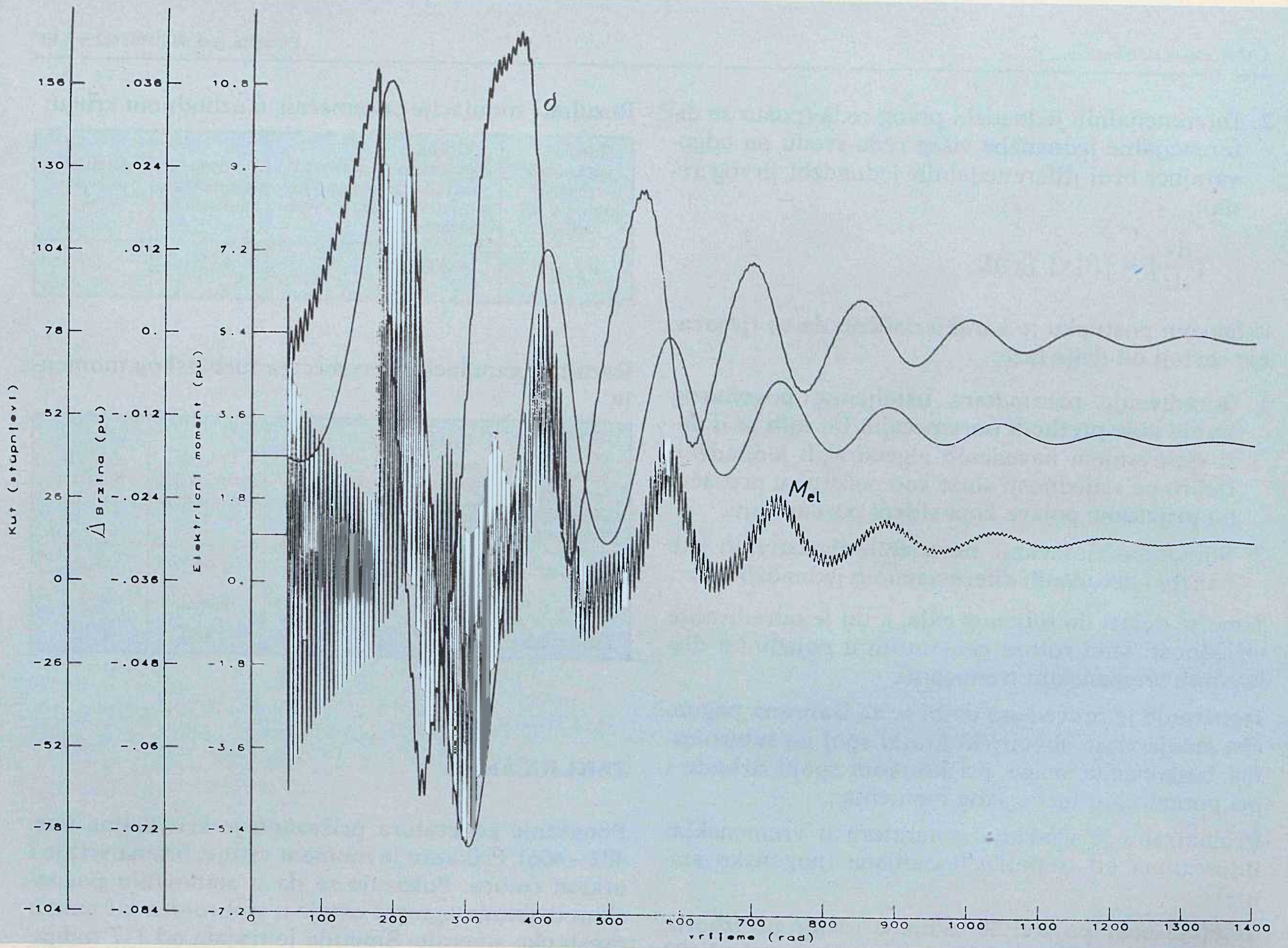
Rezultati simulacije poremećaja turbinskog momenta:

Simulacija poremećaja turbinskog momenta u jediničnim vrijednostima	Vrijeme promatranja ponašanja generatora u radijanima	Nastanak kvara T ₂ u radijanima	Vrijeme trajanja kvara u radijanima	Grafički prikazi u prilogu
T _m = 0	4 000	50	3 950	1.8.
T _m = 0,5	4 000	50	3 950	1.9.
T _m = 0,5	4 000	50	100	1.10.

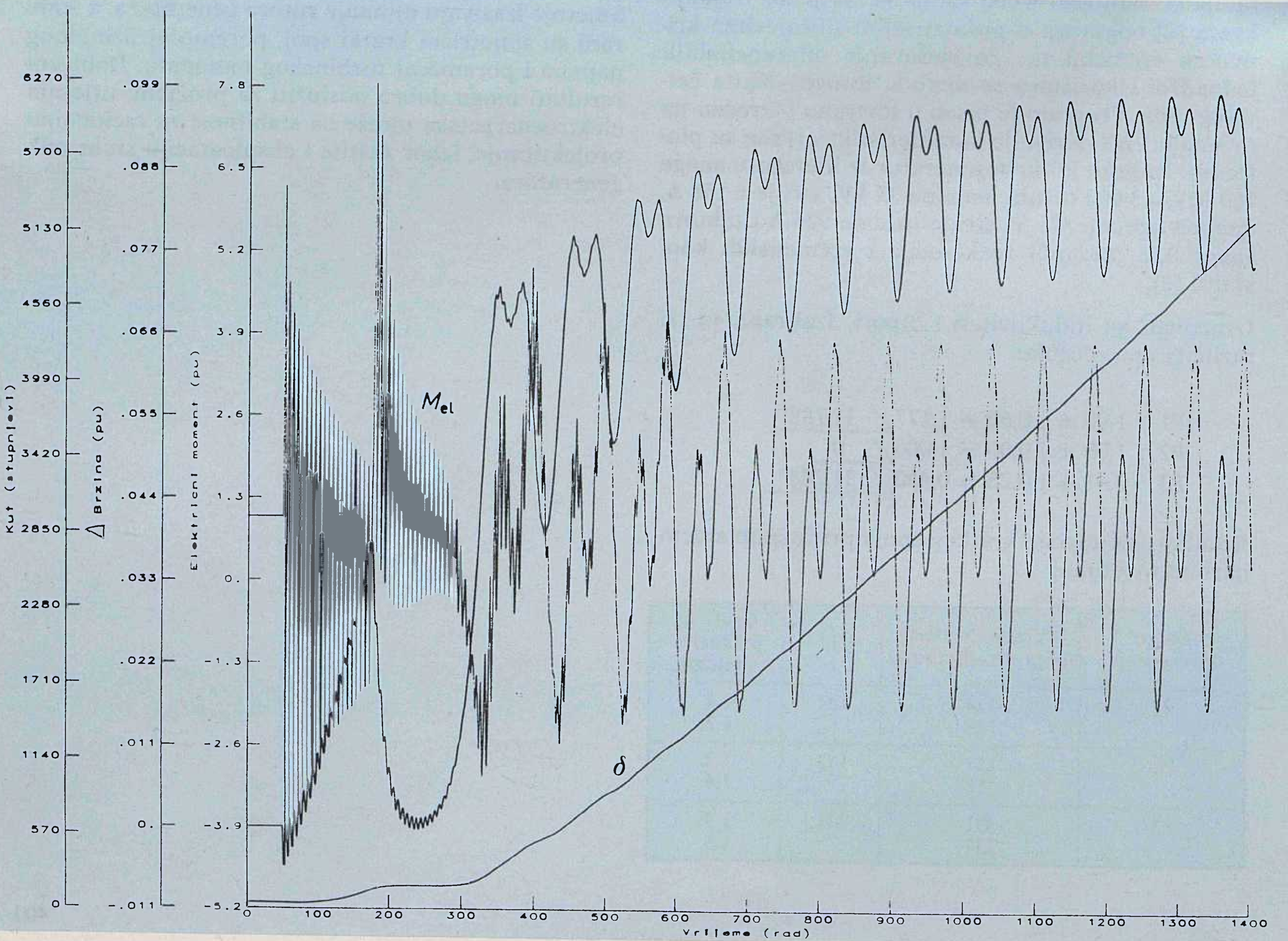
ZAKLJUČAK

Ponašanje generatora prikazano je krivuljama (str. 402–406). Prikazan je moment vrtnje, brzina vrtnje i otklon rotora. Pokazuje se da u stanovitim pogonskim uvjetima agregat ostaje u sinhronizmu i nakon prestanka smetnje. Smetnja je trajala od 117 radijana do 332 radijana.

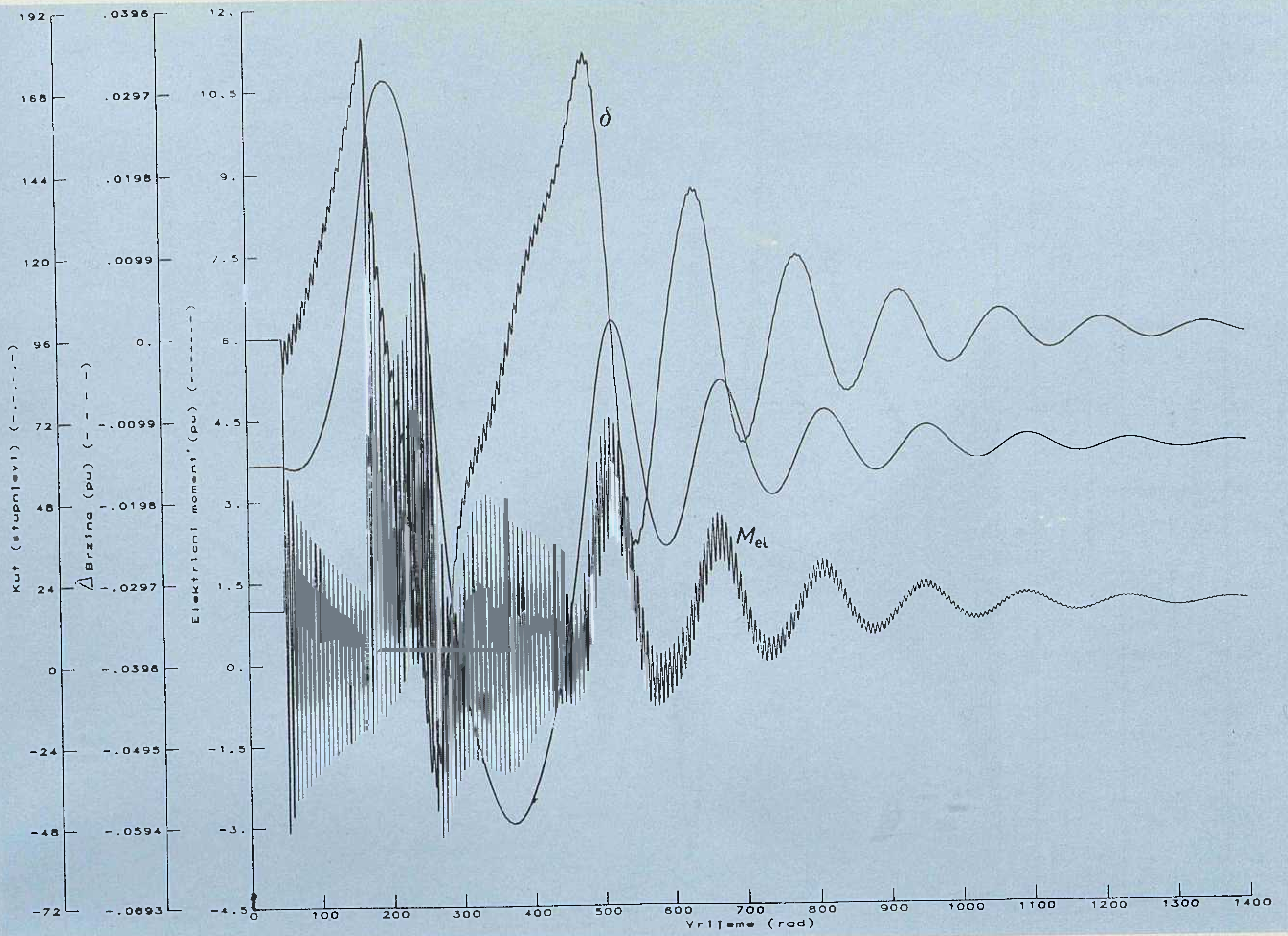
Smetnje izazivaju njihanje rotora generatora, a izabrani su simetrični kratki spoj, poremećaj uzbuđenog napona i poremećaj turbinskog momenta. Dobiveni rezultati mogu dobro poslužiti za procjenu utjecaja elektroenergetske mreže na stabilnost za racionalno projektiranje, izbor zaštite i eksploataciju sinhronih generatora.



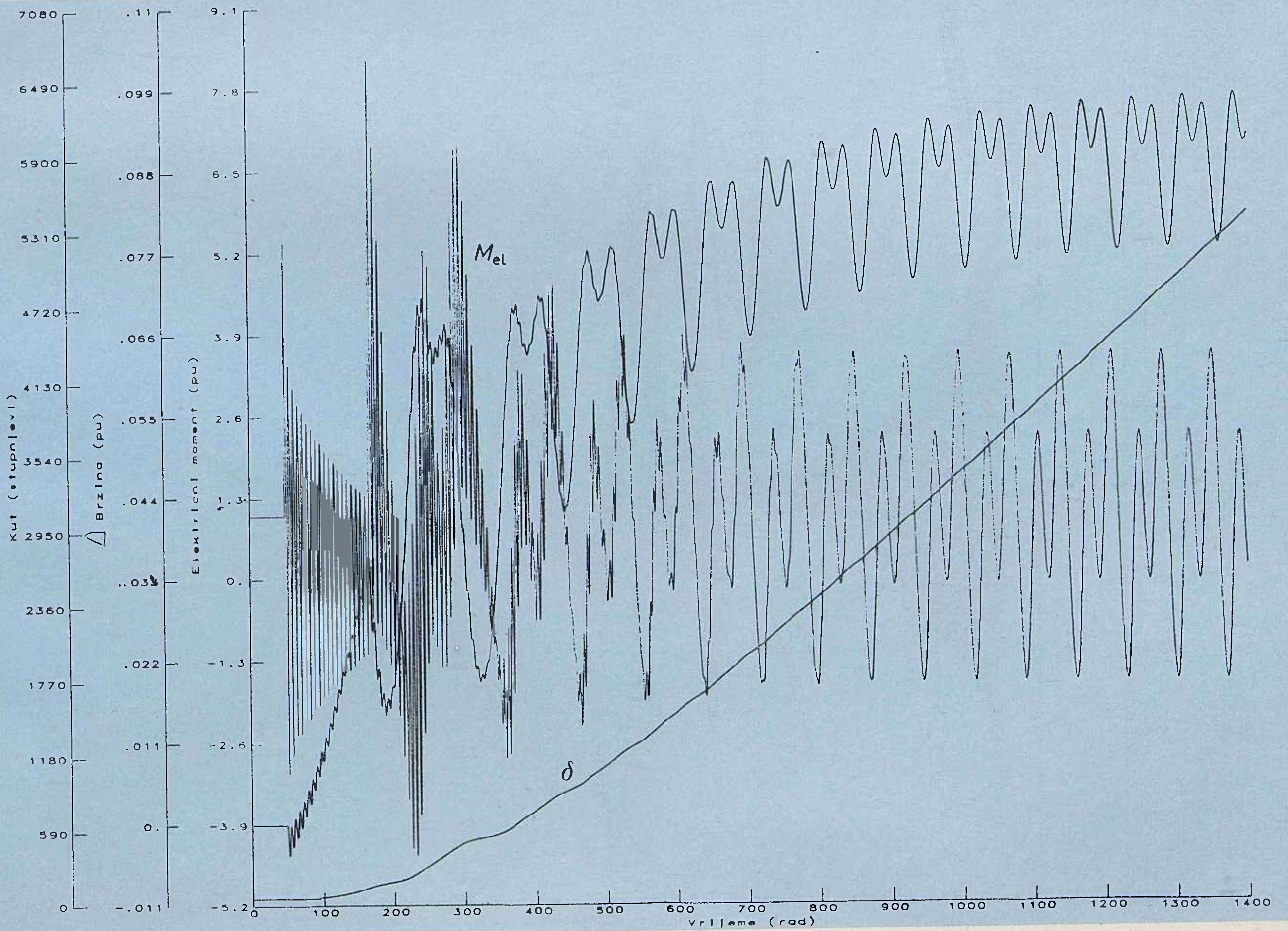
Slika 1.



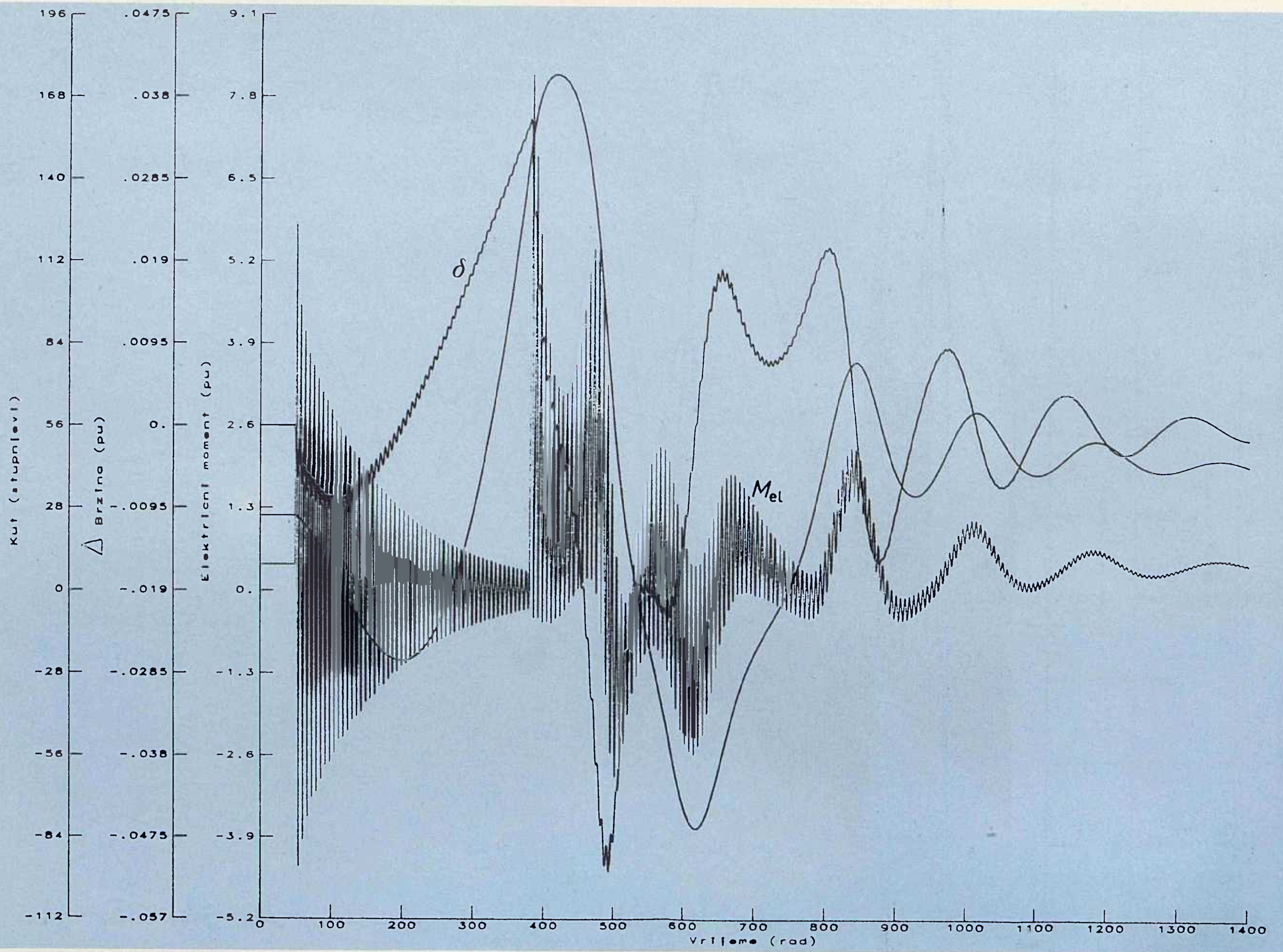
Slika 2.



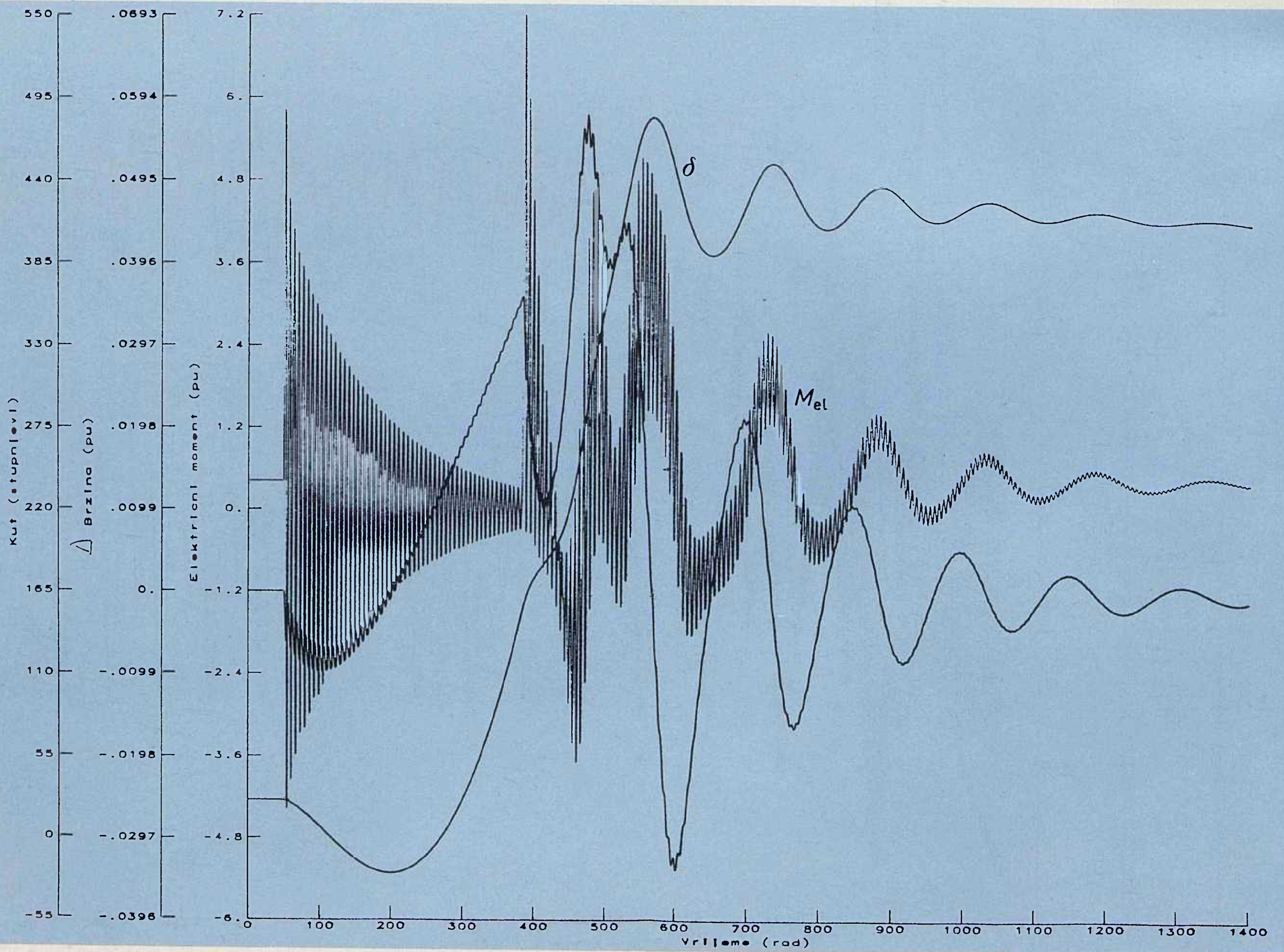
Slika 3.



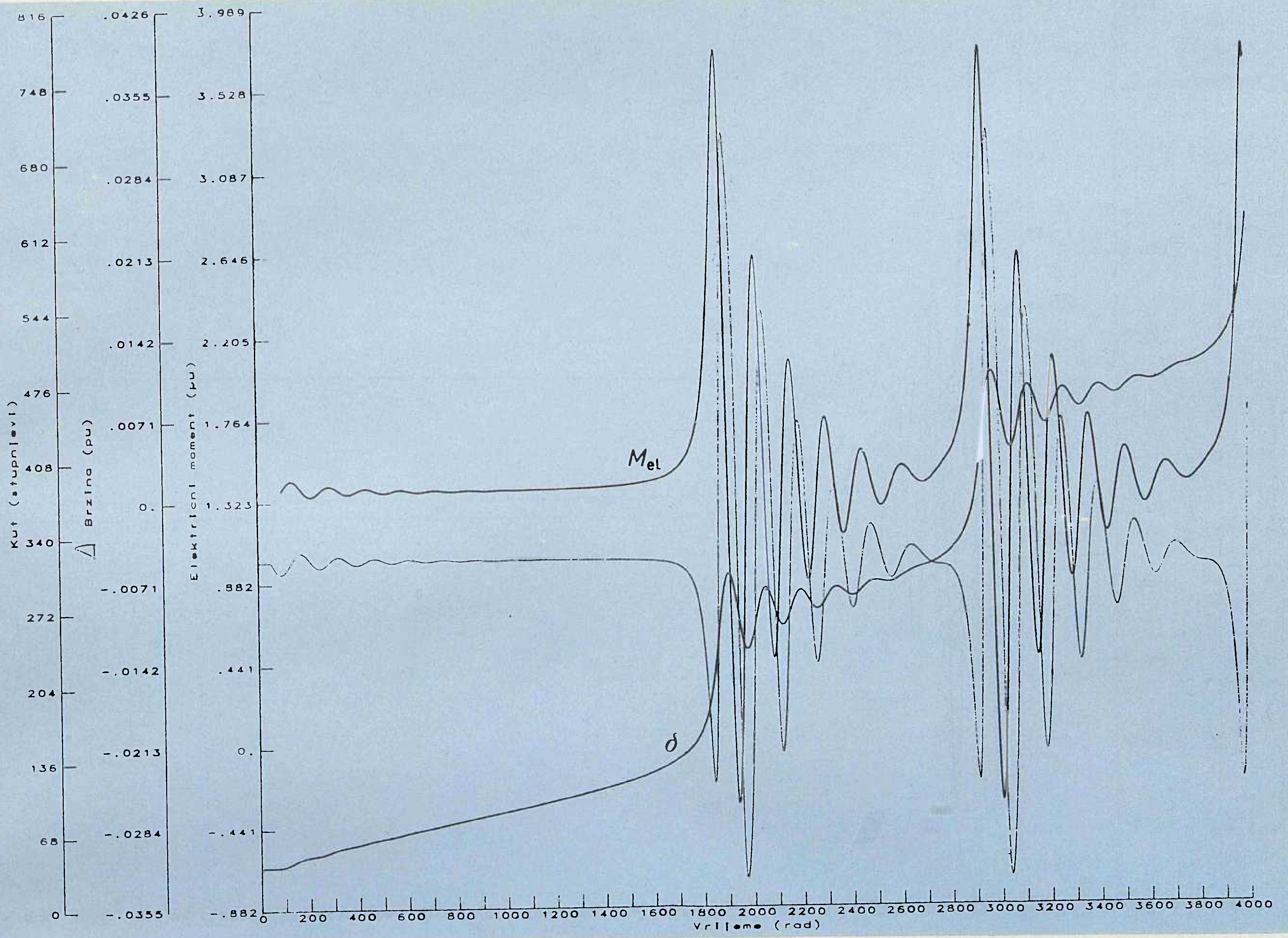
Slika 4.



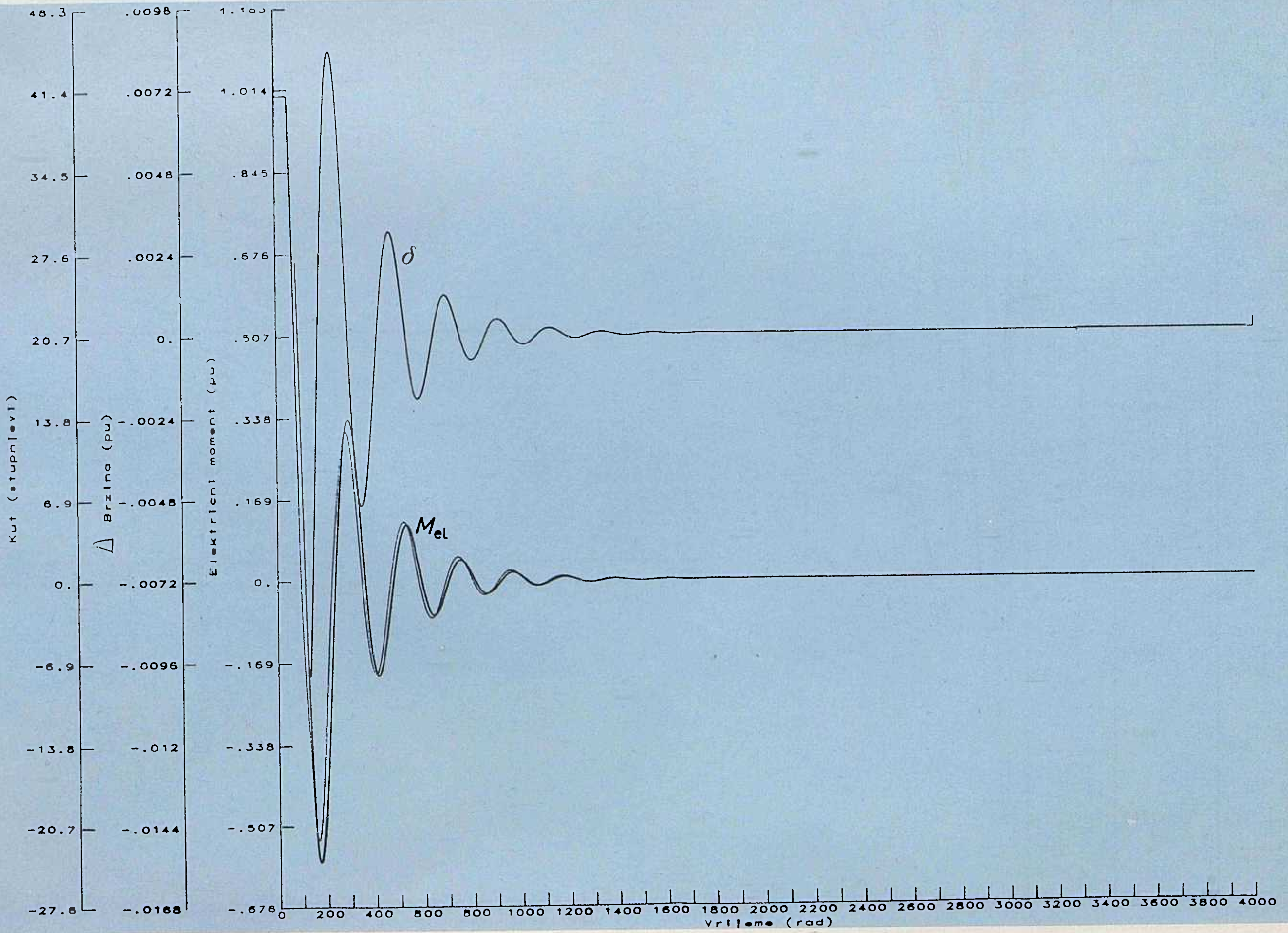
Slika 5.



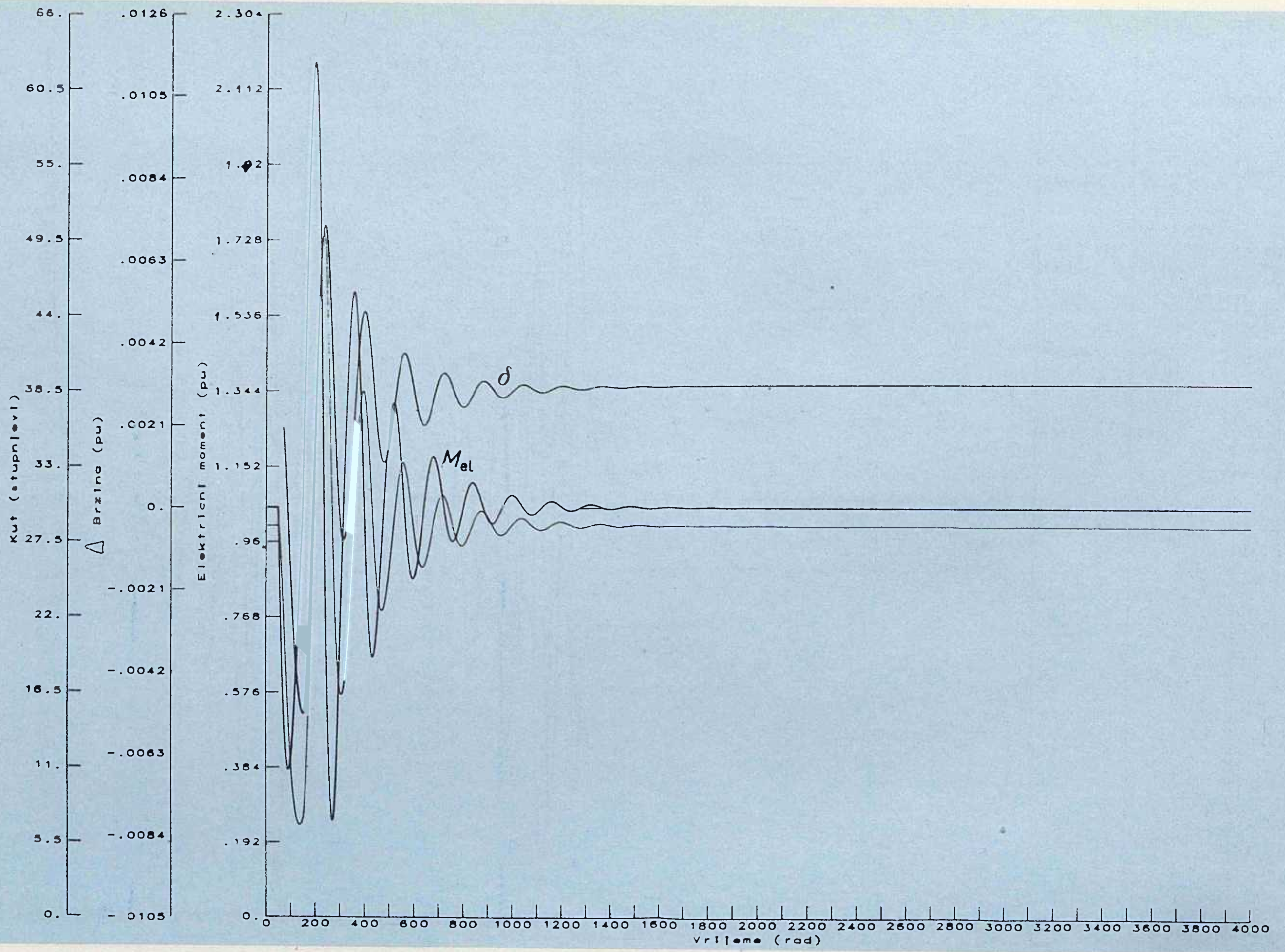
Slika 6.



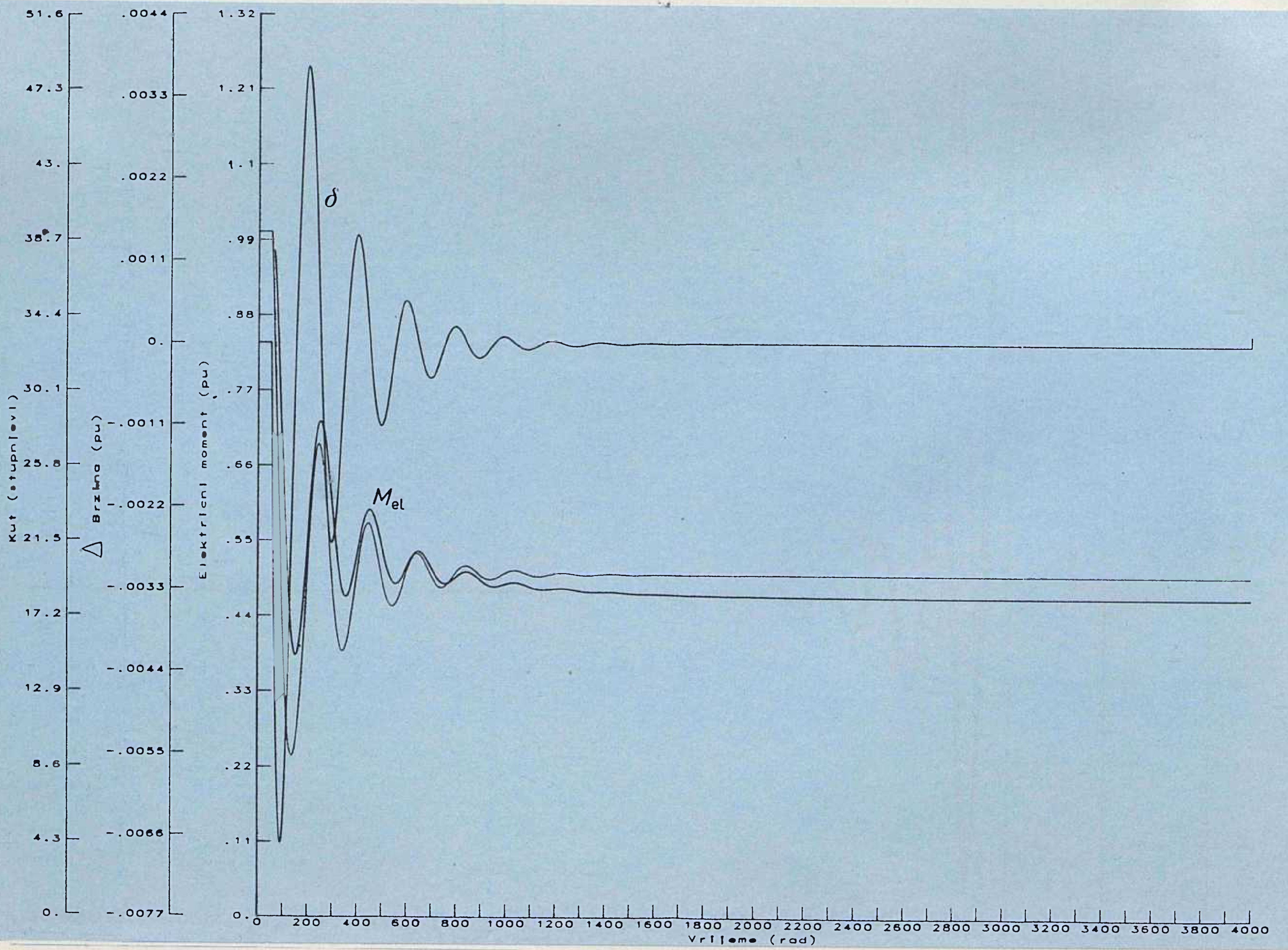
Slika 7.



Slika 8.



Slika 9.



Slika 10.

LITERATURA

- [1] ANDERSON P. M, A. A.FOUAD, »Power system control and stability«, The Iowa University Press, Ames, Iowa, USA, 1977.
- [2] GELOPULOS D. P., »Time from notion and time response of the models in transient, mid-term and long-term stability programs, Trans, IEEE – PAS – 88, 1983.
- [3] LASZLO Z. RACZ, BELA BOKAY, »Power system stability«, Akademiai KIADO, BUDAPEST, 1988.

REASONS OF A TURBO-GENERATOR UNIT ANALYSIS IN AN ELECTRIC-POWER SYSTEM

This work seeks the reasons of behaviour analysis of a turbogenerator unit in an electric-power system and its modelling on infinite bus, whose example is worked out.

GRÜNDE FÜR DIE ANALYSE DES TURBOENERGETISCHEN AGGREGATS IM ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEM

Die Arbeit spricht über die Gründe der Analyse des Verhaltens des turboenergetischen Aggregats im elektroenergetischen System, sowie sein Modellieren in den Sammelstellen der unendlichen Kraft, deren Beispiel beschrieben wurde.

Naslov pisca:

Mr. Alfredo Višković, dipl. inž.
Hrvatska elektroprivreda
Sektor za inženjering
52234 Plomin, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1991-09-24.

»Brodomaterijal« je u okviru svog širokog polja djelatnosti stekao ugled obavljajući i mnoge poslove za Elektroprivredu.

Postao je priznata firma na području građenja trafostanica 110/20 kV i 110/35 kV po sistemu inženjeringa i isporukom opreme za DV 110 kV i DV 400 KV.

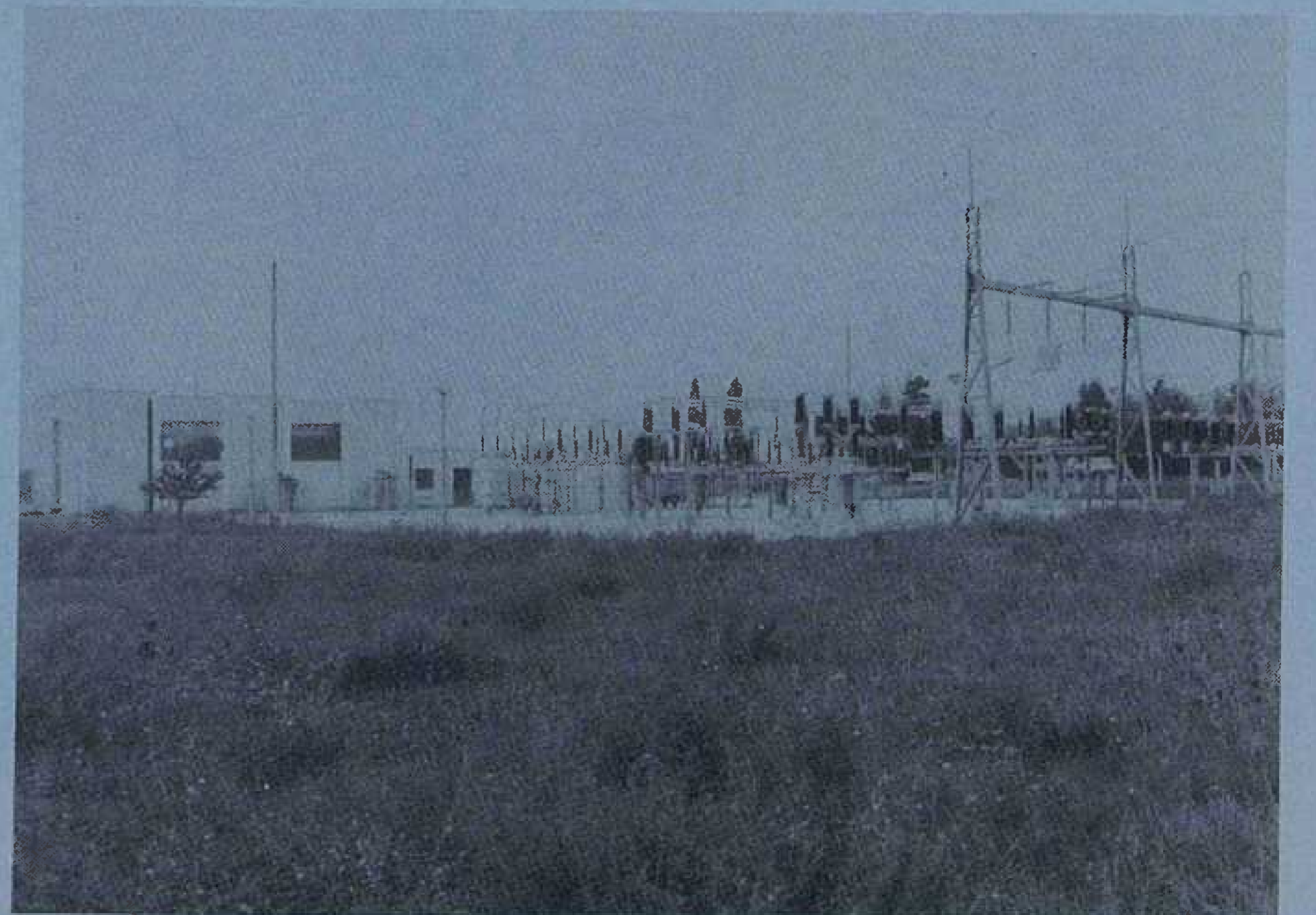
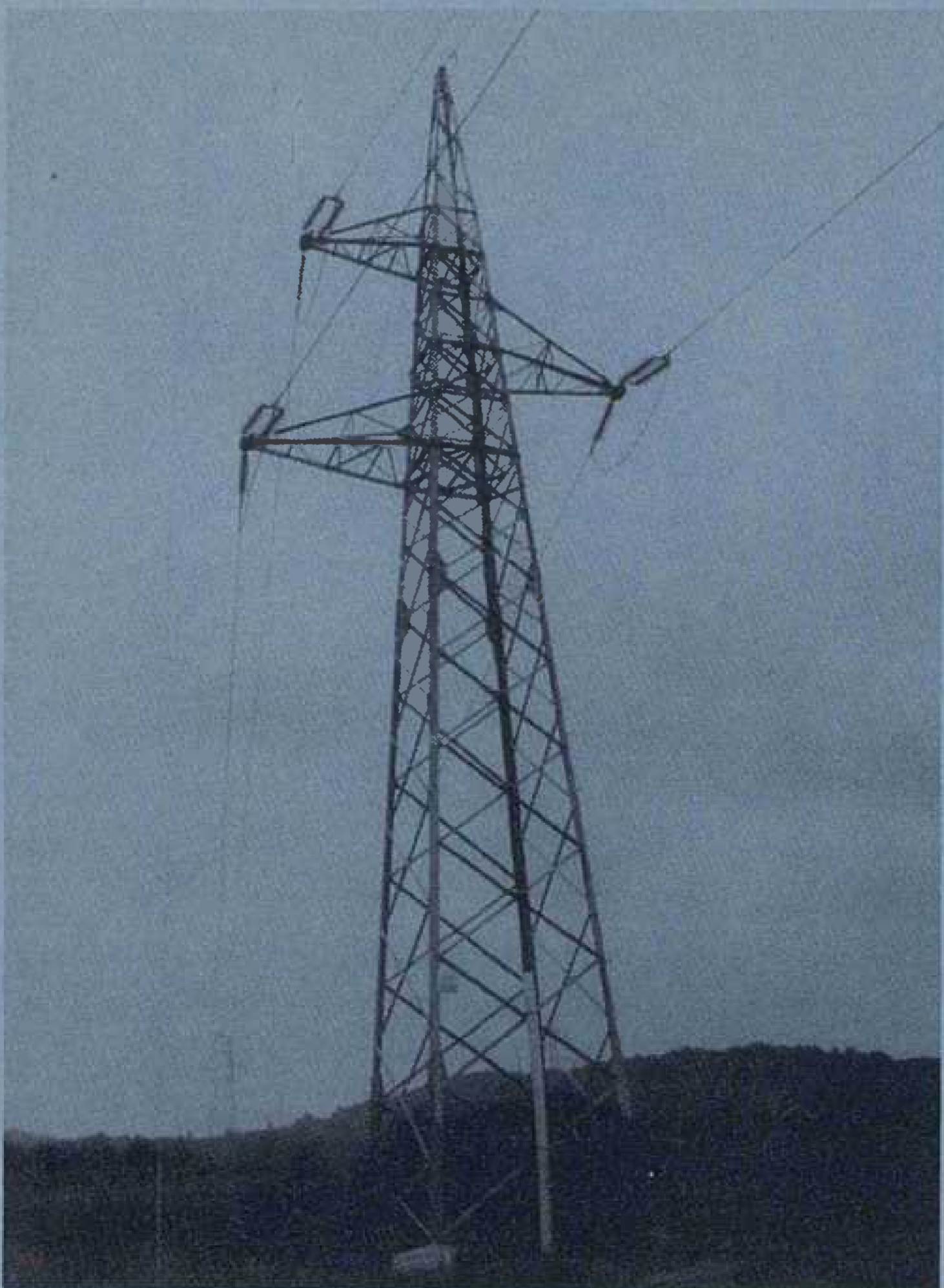
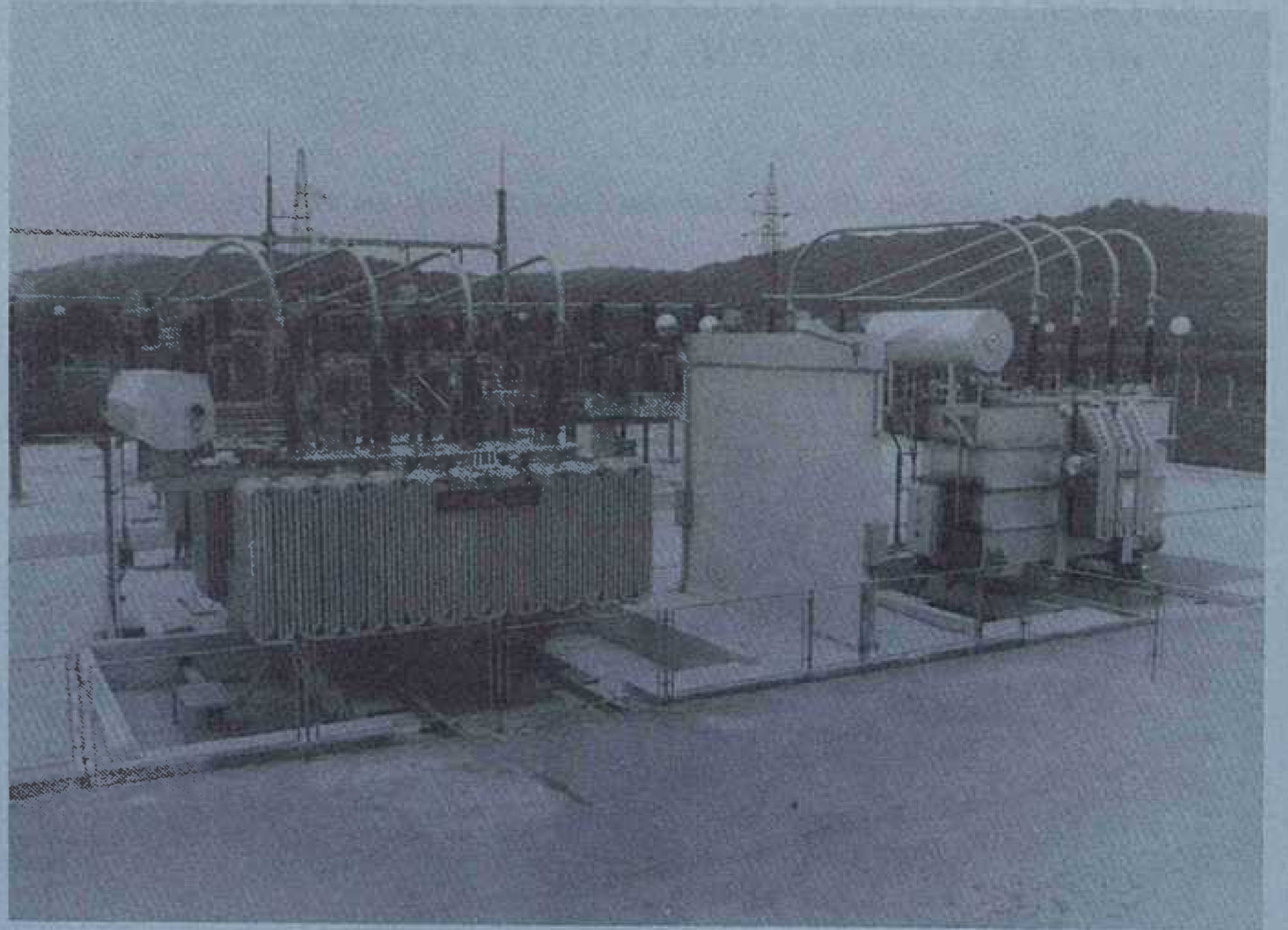
Na regiji Hrvatskog primorja i Istre obavio je sljedeće poslove za Hrvatsku elektroprivredu:

- uvoz podmorskih kabela za Krk – Rab 110 kV,
- isporuka kompletne opreme za TS 110 kV Rovinj – Lošinj – Šijana,
- DV 110 kV Rovinj – Vodnjan – Pula
- isporuka opreme za DV 400 kV TS Melina – TS Tumbri
- isporuka opreme i izgradnja objekta po sistemu ključ u ruke za TS Matulji 110/20 kV.

Za sve informacije izvolite se obratiti na poslovnicu Elektromaterijal 146, na telefone:

051/211-211 kućni: 206, 207 i 211

051/213-541, (telefax br. 32-882 ili 213-541, telex br. 24205).



KAKO ISKORISTITI TOPLINU TRANSFORMATORA

Dr. Zdenko Godec, Zagreb

UDK 621.314
PREGLEDNI ČLANAK

Opisana su neka tehnička rješenja, mogućnosti i ograničenja pretvorbe niskotemperaturne otpadne topline transformatora u korisnu energiju za grijanje. Dan je poseban osvrt na uvjete koji, ako su zadovoljeni, osiguravaju nesmetan i pouzdan rad transformatora. Primjenom ovih rješenja već danas se mogu očekivati znatne uštede kada se korištenje otpadne topline planira unaprijed, a nešto manje uštede ako se uređaj ugrađuje naknadno.

Ključne riječi: transformator, gubici, otpadna toplina, niskotemperaturno grijanje.

1. UVOD

Toplina se smatra otpadnom kad se neiskorištena odvodi u okoliš i uzrokuje nepoželjno zagrijavanje zraka ili/i vode.

U transformatoru pri transformaciji električne energije nastaju neizbježni gubici energije koji zagrijavaju transformator. Ta toplina se obično neiskorištena odvodi u okoliš pomoću izmjenjivača topline (hladnjaka), a kod velikih transformatora se dodatno u tu svrhu troši još i električna energija za pogon ventilatora i pumpa.

Do ekonomske krize početkom sedamdesetih godina nije se ozbiljno razmišljalo o alternativnim sustavima za dobivanje topline, jer su jeftina i pouzdana postrojenja za jeftino primarno gorivo davala vrlo jeftinu toplinu. Nagli porast cijene naftnih derivata doveo je u pitanje ekonomičnost postojećih sustava i nametnuo traženje novih rješenja koja bi omogućila dobivanje jeftine topline zbog izmijenjenih odnosa cijena. Istovremeno raste i svijest ljudi o potrebi očuvanja čistoga i zdravoga životnog okoliša, pa se rješenjima koja manje zagađuju čovjekov okoliš daje prednost.

Posljednjih desetak godina razvijeno je više sustava za korištenje otpadne topline transformatora. Opisana su neka tehnička rješenja, mogućnosti i ograničenja pretvorbe otpadne topline transformatora u korisnu energiju za grijanje. Dan je poseban osvrt na uvjete koji, ako su zadovoljeni, osiguravaju nesmetan i pouzdan rad transformatora.

Svrha je članka upoznati širi krug ljudi s ovom mogućnošću uštede energije, te potaknuti izgradnju odgovarajućeg uređaja za korištenje otpadne topline transformatora u sklopu neke transformatorske stanice i tako prikupiti korisna iskustva sa stajališta korisnika i proizvođača transformatora.

2. TRANSFORMATOR KAO IZVOR TOPLINE

Pri transformaciji električne energije u transformatoru nastaju gubici. Oni se kreću od 2 do 8 kW po svakom MVA nazivne snage transformatora. To npr. samo u jugoslavenskoj distributivnoj električnoj mreži napona 110 kV iznosi više od 900 GWh gubitaka godišnje (oko 1% ukupno proizvedene električne energije).

Gubici u transformatoru sastoje se od gubitaka praznog hoda P_o i gubitaka zbog tereta P_t . Gubici P_t su pri nazivnom opterećenju tri do osam puta veći od P_o . Gubici praznog hoda ovise samo o naponu, a gubici tereta o kvadratu struje:

$$P_{uk} = P_o + P_{tn} * (I/I_n)^2. \quad (1)$$

Ti gubici se pretvaraju u toplinu i zagrijavaju dijelove transformatora. Dio te topline odvodi se konvekcijom i zračenjem preko površine kotla. Taj dio otpadne topline P_k se ne može iskoristiti. On je relativno malen i može se procijeniti izrazom:

$$P_k = A_k * (w_k + w_z), \quad (2)$$

gdje je A_k [m²] — toplinski aktivna površina kotla, w_k [W/m²] — gustoća toplinskog toka zbog odvođenja topline konvekcijom i w_z [W/m²] — gustoća toplinskog toka zbog zračenja topline.

Gustoće toplinskog toka ovise o srednjem zagrijanju ulja Θ_{mc} i temperaturi okoliša \mathcal{G}_{ok} :

$$w_k = 65,67 * \Theta_{mc}^{1,333} * (273 + \mathcal{G}_{ok})^{-0,6325}, \quad (3)$$

$$w_z = \varepsilon * 2, * \Theta_{mc}^{1,25} * (1 + 0,011 * \mathcal{G}_{ok}), \quad (4)$$

gdje je ε — emisioni koeficijent zračenja koji ovisi o vrsti, hrapavosti i boji površine (ε je 0,92 za obojene površine, 0,55 za aluminijski premaz i 0,27 za pocinčane površine).

Dio otpadne topline transformatora koji se može koristiti jest onaj koji se odvodi, pomoću odvojenih hladnjaka (cijevnih hladnjaka, radijatora, AF-hladnjaka i vodenih hladnjaka):

$$P_c = P_{uk} - P_k = P_o + P_{tn} \cdot (I/I_n)^2 - A_k \cdot (w_k + w_z). \quad (5)$$

Za grube se procjene pretpostavlja da se može iskoristiti samo dio otpadne topline transformatora približno jednak:

$$P = P_{tn} \cdot (I/I_n)^2. \quad (6)$$

Jedino ako se kotao transformatora toplinski izolira, može se računati s ukupnim gubicima P_{uk} .

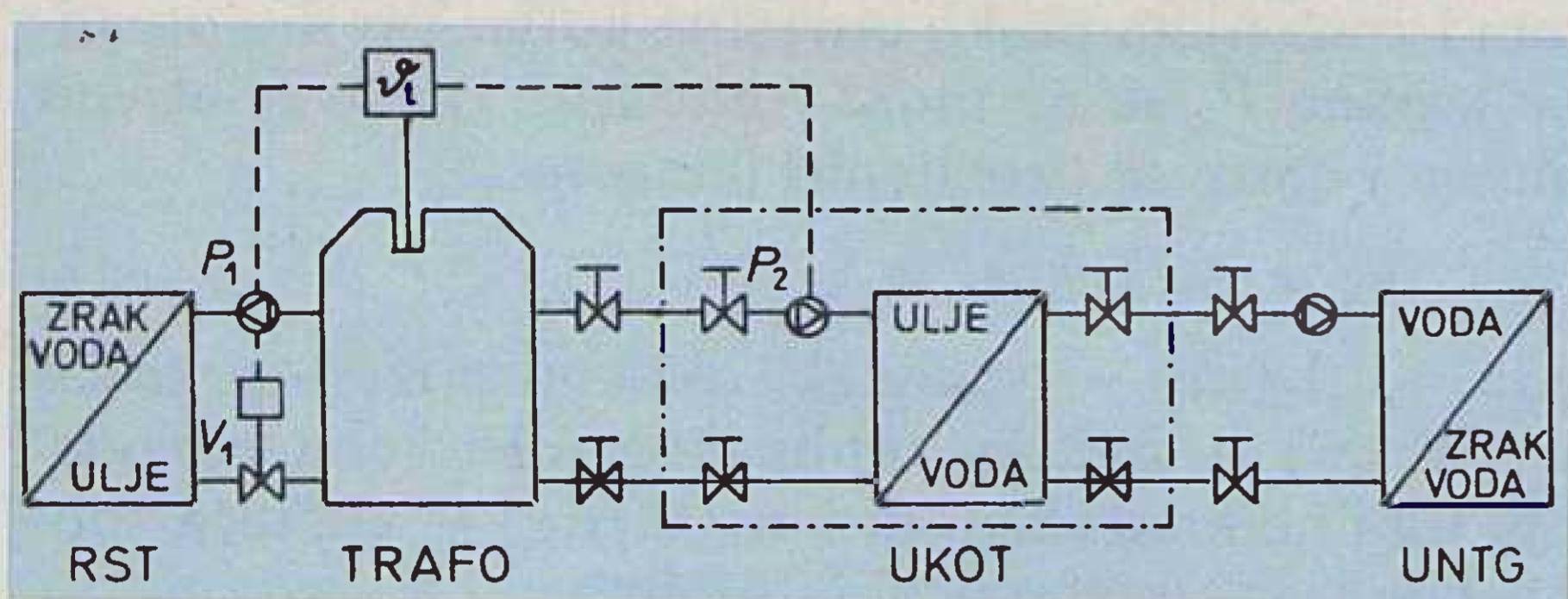
Sa stajališta sustava za korištenje otpadne topline (SKOT), transformator je nekvalitetan izvor jer raspoloživa količina topline ovisi o opterećenju transformatora, a ne o potrebama sustava za grijanje. Za SKOT su prikladniji transformatori s približno stalnim opterećenjima. Povoljna je okolnost da su potrebe za toplinom veće zimi, kada su obično i opterećenja transformatora veća. Odgovarajućim upravljanjem SKOT-om taj se nedostatak može ublažiti.

Da bi korištenje otpadne topline transformatora bilo ekonomično, potrebno je prema [1] najmanje 30 kW pri 50%-tnom opterećenju transformatora.

Temperaturni nivo otpadne topline transformatora obično iznosi približno 60°C, pa je temperatura vode na izlazu iz izmjenjivača SKOT-a najčešće oko 50°C. Uređaji koji koriste toplinsku energiju na tom temperaturnom nivou su tzv. uređaji za niskotemperaturno grijanje.

3. TEHNIČKA RJEŠENJA SUSTAVA ZA KORIŠTENJE OTPADNE TOPLINE TRANSFORMATORA

Sustav za korištenje otpadne topline transformatora (SKOT) sastoji se od transformatora i njegova rashladnog sustava (TRAFO + RST) kao izvora topline, uređaja za korištenje topline transformatora (UKOT) i uređaja za niskotemperaturno grijanje (UNTG) — vidi sl. 1.



Slika 1. Sustav za korištenje otpadne topline transformatora (SKOT)

Treba uočiti da se UKOT u osnovi priključuje paralelno postojećem rashladnom sustavu transformatora (RST) i da preuzima u cjelosti ili samo djelomično hlađenje transformatora, dok RST ostaje u rezervi spreman za pogon.

RST treba biti izveden tako da se po potrebi može isključiti te uključiti UKOT. RST može biti s prirodnim strujanjem ulja i zraka (ONAN) i prirodnim strujanjem ulja i prisilnim zraka (ONAF) — tada u cjevovodu između hladnjaka i transformatora nema pumpe. Za RST s prisilnim strujanjem ulja i zraka ili

vode (OFAF, OFWF) i dirigiranim strujanjem ulja i prisilnim zraka ili vode (ODAF, ODWF) pumpa P1 je sastavni dio RST-a. Temperatura ulja u najvišem sloju regulira se termometrom u džepu koji upravlja ventilom V1 i pumpom P1, te pumpom P2. Pri uključivanju transformatora, uz uključen UKOT, ventil V1 je zatvoren i pumpe P1 i P2 ne rade. Kada temperatura ulja prijeđe neku podešenu vrijednost (npr. 55°C) proradi pumpa P2 i ponovno se isključuje kad temperatura ulja padne ispod npr. 45°C. Ako odvođenje topline SKOT-om nije dovoljno, pa temperatura ulja prijeđe gornju granicu (npr. 60°C), otvara se ventil V1 i uključi pumpa P1 kako bi se transformator dodatno hladio sa RST.

Osnovni dio UKOT-a je izmjenjivač topline ulje-voda (ili vrlo rijetko ulje-zrak). To može biti standardan vodeni hladnjak za protočnu vodu, s tom razlikom što sada voda cirkulira u zatvorenom krugu podsustava za grijanje i što je njezina temperatura na ulazu u hladnjak viša (oko 45°C). Zbog povećanih zahtjeva na sigurnost rada transformatora vodeni hladnjak se izrađuje s dvostrukim cijevima [2] ili se ugrađuje obični vodeni hladnjak sa sigurnosnim sklopom za sprečavanje prodora vode u uljotok transformatora [3,4]. Uputno je da UKOT sadrži i ormarić za upravljanje i zaštitu, s kojim čini cjelinu koja se može jednostavno ugraditi između transformatora i podsustava za niskotemperaturno grijanje prostora ili/i sanitarne vode.

Podsustavom za niskotemperaturno grijanje može se grijati prostor (radni i stambeni, staklenici, itd.), odnosno voda (sanitarna, bazeni i sl.). Uređaj za grijanje može se koristiti samo toplinom transformatora (monovalentni sustav), ali je sigurnije a i ekonomičnije kada se koristi i nekim drugim izvorom topline koji radi po potrebi (npr. kad su vanjske temperature ekstremno niske ili za vrijeme dugotrajnijeg prekida rada transformatora).

U literaturi je najdetaljnije opisan UKOT (tzv. THL-blok) koji je razrađen u nekadašnjoj Njemačkoj DR i prvi put pušten u pogon 1977. godine [3–5]. Otada do 1988. godine ugrađeno je više od 200 THL-blokova [6]. Radi se o tipiziranom rješenju za toplinsku snagu oko 150 kW, predviđenom da se priključi na transformator s OFAF-hlađenjem. Ovisno o raspoloživim gubicima u transformatorskoj stanici ugrađuje se potreban broj THL-blokova. THL-blok sastoji se od okvira u koji su ugrađeni uljna pumpa, izmjenjivač topline ulje-voda, upravljački ormarić, servoventili za vodotok, ručni ventili za uljotok, kontaktni manometar za automatski nadzor pretlaka ulja prema vodi i elektromagnetski ventili za automatsko smanjenje tlaka vode u slučaju prekida napajanja. Nazivni učin izmjenjivača od 150 kW postiže se pri temperaturi ulja na ulazu od 60°C, temperaturi ulazne vode 45°C i nazivnim protocima ulja od 100 m³/h, te vode od 18 m³/h. Učin izmjenjivača znatno ovisi o protocima i temperaturi obaju fluida [4]. Izmjenjivač je izveden običnim cijevima. Prodor vlage (vode) u uljotok transformatora sprečava sigurnosni uređaji koji osigurava stalni pretlak u uljotoku od barem 20 kPa prema vodotoku.

Sustav koji je razvio Transformator Union koristi se kod transformatora s ONAN i ONAF hlađenjem [1,7]. Za razliku od prethodnog sustava kod kojeg se temperatura ulja na ulazu u hladnjak ϑ_l pri uključenom UKOT-u održava na određenoj temperaturi (kod 65°C se ukapča RST, a kod 55°C se iskapča), bez obzira na opterećenje transformatora i temperaturu okoliša, kod sustava Transformator Union temperatura ulja ϑ_l podešava se pomoću regulacijskog podsustava TELEPERM tako da, ako je temperatura okoliša niža od 2°C , temperatura najtoplije točke ϑ_h ne prelazi 80°C , tj.:

$$\vartheta_l = 80 - 1,1 * \Theta_{nu} * (I/I_n)^{1,6}, \quad (7)$$

gdje je Θ_{nu} — srednje zagrijanje namota prema ulju. Kada je temperatura okoliša više od 2°C , nema potrebe za višom temperaturom u podsustavu za grijanje, pa se granična vrijednost temperature ϑ_l održava na 57°C , neovisno o opterećenju transformatora. Kada UKOT ne odvodi dovoljno topline i temperatura ulja prijeđe automatikom postavljenu graničnu vrijednost, uključuje se i RST. U [7] su navedeni tehnički podaci sustava za korištenje otpadne topline transformatora snage 40 MVA s ONAN-hlađenjem. Sustav se koristi za zagrijavanje 320 m^2 prostora za stanovanje na 22°C . Sustav karakteriziraju sljedeće veličine: protok ulja $21 \text{ m}^3/\text{h}$, protok vode $3,4 \text{ m}^3/\text{h}$ i nazivni učin izmjenjivača ulje-voda 40 kW pri temperaturama ulja na ulazu i izlazu $57/53^\circ\text{C}$ i temperaturama vode $40/50^\circ\text{C}$.

Osim spomenutih, u literaturi su opisani i eksperimentalni sustavi u kojima se iskorištava toplina transformatora s OFAF-hlađenjem: [8] (Češkoslovačka), [9] (SAD — prikazan je sustav u kojem je 5 transformatora svaki sa svojim UKOT-om spojen u zajedničku mrežu za grijanje) i [10] (Švedska — grije staklenik za uzgoj cvijeća i povrća). Sustavi s ONAN ili ONAF hlađenim transformatorima opisani su u [11] (Z. Njemačka), [12] (Nizozemska) i [13] (Švicarska). Jedan SKOT s OFWF hlađenim transformatorom opisan je u [14]. Prema [15], i u Danskoj postoji SKOT s dva 125 MVA transformatora.

4. POGONSKA SIGURNOST TRANSFORMATORA

Korištenje transformatora kao izvora topline ipak je sekundarnog značenja. Primarno je pouzdana opskrba potrošača električnom energijom. Dva su moguća uzroka za smanjenje pouzdanosti transformatora kada je uključen u sustav za korištenje otpadne topline: mogućnost bržeg starenja izolacije transformatora i eventualni prodor vode u uljotok.

Na temelju laboratorijskih ispitivanja brzine razgradnje izolacije ovisno o temperaturi i iskustvenog vijeka trajanja transformatora pri normalnim radnim uvjetima smatra se da vijek trajanja transformatora iznosi otprilike 30 godina. Kako se stvarni vijek određenog transformatora ne može unaprijed odrediti zbog niza drugih faktora i slučajnih događaja koji na njega utječu, prihvaćena je metoda da se računa relativno trošenje »života« transformatora (r) zbog

povišene temperature najtoplije točke ϑ_h u odnosu na »normalno« trošenje pri temperaturi najtoplije točke namota 98°C uljnih transformatora [16]:

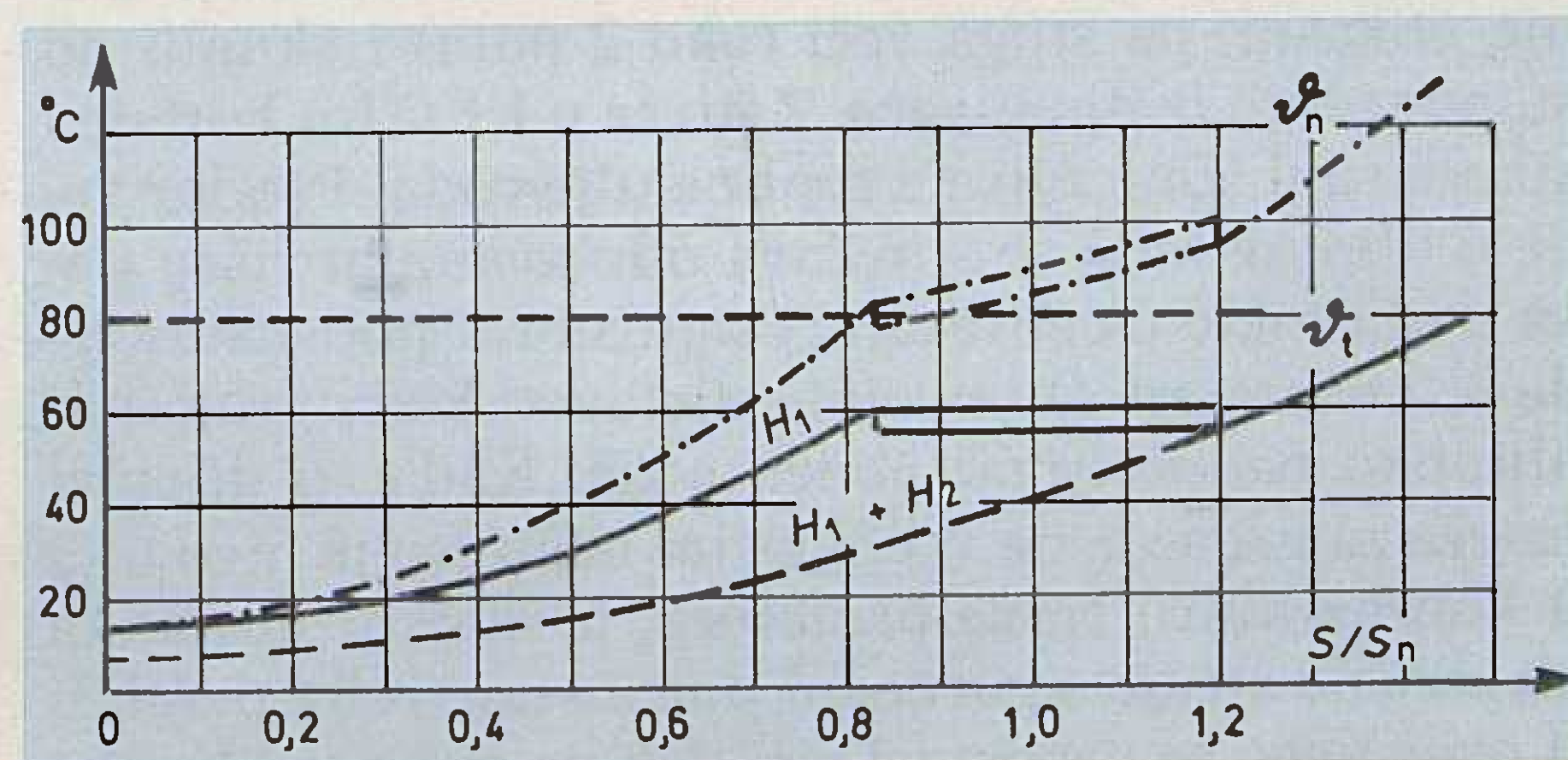
$$r = 2^{\frac{\vartheta_h - 98}{6}} \quad (8)$$

Za svakih 6 K više temperature najtoplije točke trošenje »života« je dvostruko brže, odnosno trajanje izolacije smanjuje se napola. Ta relacija (Montsingerov zakon) vrijedi za opseg temperatura od 80°C do 140°C .

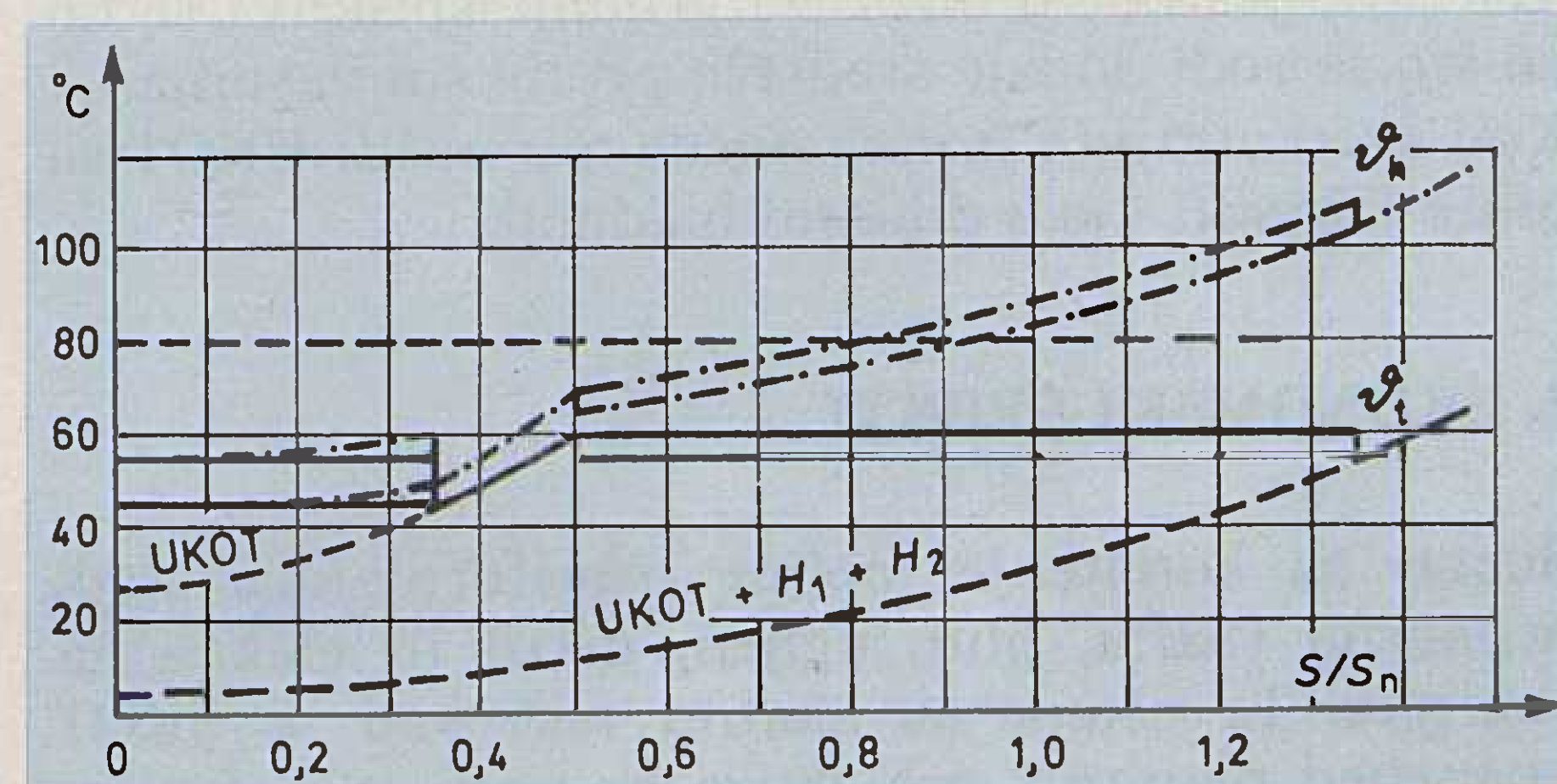
Razdoblja ubrzanog starenja pri radu transformatora pod punim teretom, uz temperature okoliša više od 20°C , kompenziraju se razdobljima sporijeg starenja pri nižim temperaturama okoliša. Većina transformatora se, osim toga, malokad tereti punom snagom.

Kada je izolacija na temperaturi nižoj od 80°C , smatra se da je starenje zanemarivo ($r = 0,125$).

Usporedbom temperaturnih dijagrama transformatora bez prigrađenih uređaja za korištenje topline transformatora i s njima može se procijeniti utjecaj UKOT-a na starenje transformatora. Na slici 2. prikazane su temperature ulja u najvišem sloju ϑ_l i temperature najtoplije točke namota ϑ_h OFAF hlađenih transformatora s dvije grupe hladnjaka, pri temperaturi okoliša 0°C . Prva grupa hladnjaka uključuje se odmah, a druga kada temperatura ulja naraste do 60°C . Kada temperatura ulja padne ispod 55°C , druga grupa hladnjaka se isključuje. Na slici 3. prikazan je dijagram temperatura istog transformatora s prigrađenim UKOT-om, koji postiže puni učin pri 50%-tnom opterećenju transformatora. UKOT je uključen umjesto prve grupe hladnjaka i radi intermiti-



Slika 2. Temperature ulja u najvišem sloju ϑ_l i najtoplije točke namota ϑ_h transformatora s dvostepenim OFAF hlađenjem, pri temperaturi okoliša 0°C



Slika 3. Temperature ulja u najvišem sloju i najtoplije točke namota istog transformatora, pri temperaturi okoliša od 0°C , s uređajem za korištenje otpadne topline

rajuće pri opterećenjima transformatora manjim od 35% nazivnog, a kod većih opterećenja je uključen stalno. Kada temperatura ulja prijede 60°C, uključuju se obje grupe hladnjaka i ponovno se isključuju kada temperatura ulja padne ispod 55°C.

Iz dijagrama je vidljivo da je starenje zanemarivo do 82% nazivnog tereta u prvom slučaju, a do 80% u drugom ($\vartheta_h \leq 80^\circ\text{C}$). Pri većim opterećenjima, od 82% do 120% nazivnog, starenje je jednako u oba slučaja, a kod još većih opterećenja manje je u drugom slučaju, jer je rashladni učin hladnjaka uvećan za učin UKOT-a. Optimiranjem sustava (u konkretnom slučaju sniženjem gornje granične temperature ulja na 57°C) postiže se ne samo da transformator ne stari brže u cijelom području opterećenja već i da ima bolje karakteristike preopterećenja kad je UKOT uključen.

Kod SKOT-a koji je razradio Transformator Union za transformatore s hlađenjem ONAN i ONAF, kod kojega se osigurava da je temperatura najtoplije točke niža od 80°C, korištenje otpadne topline također neće skratiti vijek trajanja transformatora.

Moglo bi se zaključiti da se u slučaju korištenja otpadne topline transformatora treba svakako analizirati starenje za svaki konkretni slučaj i podesiti nivoje temperatura ulja tako da ne dođe do ubrzanog starenja izolacije.

Prodor vode u uljotok transformatora sprečava se upotrebom izmjenjivača topline ulje-voda vrste Shell and tube s dvostrukim cijevima i međuprostorom radi signalizacije propuštanja tekućine. Kod takvog hladnjaka tlak u vodotoku smije biti veći od tlaka u uljotoku. Ti su izmjenjivači, međutim, toplinski manje efikasni, pa stoga veći (oko 2 puta) i skuplji od standardnih izmjenjivača. Zato se u UKOT-u koriste i standardni izmjenjivači topline ulje-voda. Prodor vode u uljotok tada se sprečava održavanjem višeg tlaka u uljotoku. Odgovarajući sigurnosni podsustav tada je obavezan. On počinje djelovati kada pretlak u uljotoku padne ispod podešenoga. Kada su dijelovi mreže za grijanje na većoj visini nego što je nivo ulja u konzervatoru transformatora, u slučaju nestanka električne struje sigurnosni podsustav treba reagirati prije nego se uspostavi viši tlak na strani vodotoka od onoga na strani uljotoka. Uz zadovoljenje tog uvjeta ni standardni izmjenjivač topline ulje-voda neće smanjiti pouzdanost rada transformatora.

Smrzavanje vode u mreži za grijanje sprečava se tako što se vodi dodaje sredstvo protiv smrzavanja. Kod kratkotrajnih preopterećenja u nuždi UKOT se može koristiti i kao dodatni hladnjak.

5. EKONOMSKI EFEKTI

Sustav za korištenje topline transformatora šteti primarnu (nafta, plin, ugljen, drvo) ili električnu energiju. Te uštede su znatno veće kad se SKOT unaprijed planira i projektira za novu transformatorsku stanicu nego kad se ugrađuje naknadno. Naknadna ugradnja zahtijeva prilagođenje rashladnog sustava transformatora kao i postojeće mreže za gri-

janje koja je obično predviđena za više temperature (90/70°C). Niže temperature vode zahtijevaju veće površine grijaćih tijela. Potrebno povećanje površine radijatora može se grubo procijeniti izrazom [18]:

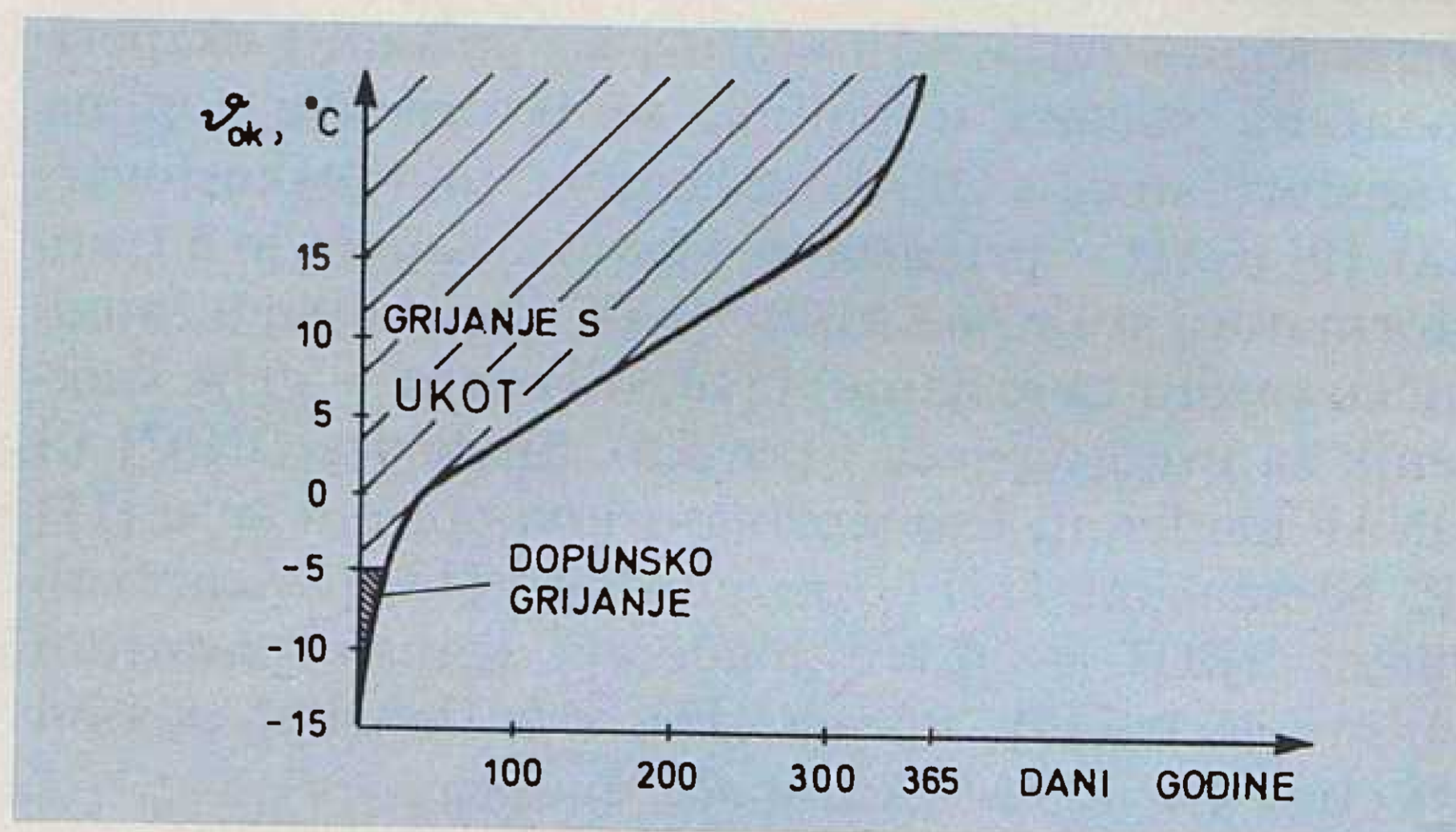
$$f = (60/\Delta\vartheta)^{1,3}, \quad (9)$$

gdje je $\Delta\vartheta$ — temperaturna razlika srednje temperature vode i temperature zraka u prostoriji koju treba grijati, a 60 K je standardna temperaturna razlika između temperature vode (80°C) i zraka u prostoriji (20°C).

Ekonomičnije je koristiti grijača tijela specijalno razvijena za niskotemperaturno grijanje [19–21].

Općenito su niskotemperaturni sustavi za grijanje povoljniji s termodinamičkog stajališta i rentabilniji, a i ugodniji za čovjeka. Troškovi održavanja su manji, ali je početna investicija veća.

Kod monovalentnog sustava se UKOT obično projektira tako da pokriva potrebe toplinske energije za vanjske temperature do -12°C . Temperature niže od ovih su vrlo rijetke (slika 4), a kratkotrajno prekoračenje jedva da utječe na temperaturu prostorija zbog velikih toplinskih vremenskih konstanti zgrada. Kod bivalentnog sustava UKOT se može projektirati za više vanjske temperature (npr. -5°C), znači ekonomičnije. Tada potrebe za toplinom kod nižih vanjskih temperatura pokriva dopunski izvor topline (sl. 4).



Slika 4. Krivulja kumulativne učestalosti srednjih dnevnih temperatura s područjima bivalentne opskrbe toplinom [19]

Prema [5] SKOT projektiran za novu transformatorsku stanicu, u uvjetima bivše Njemačke DR amortizirao se već za otprilike 2 godine, a za 5 do 7 godina ako se ugradio naknadno.

Ekonomske efekte treba procijeniti za svaki konkretni slučaj. S jedne strane su: transformator kao izvor topline, njegove karakteristike i uvjeti terećenja, a s druge: potrošač topline i njegovi zahtjevi. Potrebe grijanja mogu se grubo procijeniti ili proračunati pomoću [19–22]. SKOT treba uskladiti mogućnosti i potrebe na najekonomičniji način. Tek na temelju projekta mogu se procijeniti ekonomski efekti. Pri usporedbi s klasičnim sustavima za grijanje treba uzeti u obzir troškove investicija, pogona i održavanja.

6. ZAKLJUČAK

Otpadna toplina transformatora može se odgovarajućim uređajem korisno upotrijebiti za grijanje prostora i vode, bez negativnih posljedica po transformator. Objekti udaljeni do oko 500 m od transformatora mogu se grijati pomoću izmjenjivača topline ulje-voda ili ako su udaljeniji, pomoću dizalice topline. Rentabilnost sustava mora se analizirati za svaki konkretni slučaj zasebno. Znatne uštede mogu se očekivati kad se korištenje topline transformatora planira unaprijed (odgovarajuća izvedba transformatora, projektiranje niskotemperaturnog sustava grijanja u objektima, itd.), a ako se sustav ugrađuje naknadno, uštede će biti manje.

LITERATURA

- [1] MATTHES W.: »Putting transformer waste heat to use«, EL. REVIEW 212(1983)18, 24–25
- [2] Prospekt firme RENZMANN GRÜNEWALD — Wärmetechnik Maschinenbau 6551 Monzingen/Nahe, Postfach: Doppelrohr-Trafoöl-Wasser-Kühler
- [3] Pat. DD 251394 A1 (11. 11. 87.): Anordnung zur Trennung des Öl-und Wasserkreislaufes in einem Blockbaustein zur Nutzung der Transformatoren-Verlust-Wärme
- [4] MELICHAR J.: »Využití ztrátového tepla transformátoru pro vytápění a ohřev užitkové vody y rozvodne 400 kV«, ELEKTROTECHNIK (ČSR) 41(1986)6, 156–168
- [5] MARKUSCH D., HAASE M., KNAUTE H.: »Utilization of the transformer waste heat in the 380/220 kV transmission mains of the GDR«, PROC. OF THE SCIENTIFIC JUBILEE CONF. The transformer production is 100 year old, BUDAPEST, Jun 1985.
- [6] KAN H.: »Environmental considerations of transformers and reactors«, CIGRE-PARIS, 1988, ref. 12–11
- [7] MATTHES W.: »Transformator-Verlustwärme zur Raumheizung«, ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT 81(1982)25, 890–894
- [8] ŠAFRANEK M.: »Využití ztrátového tepla velkých transformátorou«, TRANSFORMATORY, BEZ 1985, No. 63, 29–33
- [9] YAMAGIWA A. T., PAT L.: »Utilizing transformer waste heat«, TRANSMISSION & DISTRIBUTION 33(1981)7, 46–48
- [10] HELM S.: »Transformers ripen to the tomatoes«, ENERGY AHEAD 1986, VATTENFAL ANNUAL R & D REPORT
- [11] AIGNER V.: »Senkung, Abfuhr und Verwertung der Transformatoren-Verlustwärme«, ETZ-B 12(1960)7, 145–154
- [12] BOSE A. K.: Elektrisches Nutzgerät, insbesondere Leistungstransformator«, Pat. DE 3127015 A1 (8. 4. 1982)
- [13] MEIER R.: »Nutzung von Verlustwärme im EWZ-Unterwerken«, BULL. ASE 76(1985)10, 578-580
- [14] ENGELMAN G.: »Anordnung zur Nutzung der »Verlustwärme flüssigkeitsgekühlter Leistungstransformatoren«, Pat. DD 224436 A1 (2. 7. 1985)
- [15] DALSGAARD I.: »Transformatore opvarmer elelskabet ARKE's lager kontorer og modelokaler samt to tjenes-teboliger«, EL. ENRGI. ELEKTROTEK (Denmark), 79(1983)24, 424–425
- [16] IEC RECOMMENDATION Publication 354: Loading guide for oil-immersed transformers, 1972
- [17] LOBENSTEIN G., BOROWSKI K.: »Nutzung der Transformatoren-Verlustwärme«, ELEKTRIE 37(1983)9, 461–463
- [18] JUS M.E.6.070 (1986): Toplotna snaga grejnih tela
- [19] RECKNAGEL/SPRENGER: »Priručnik za grejanje i klimatizaciju«, GRAĐEVINSKA KNJIGA, Beograd, 1982.
- [20] ŠAMŠALOVIĆ S.: »Toplotne pumpe u primeni«, Viša politehnička škola, Beograd, 1987.
- [21] WENTING M.: »Abwärme-Recycling in der Industrie mit Niedertemperatur-Heizflächen«, KI KLIMA-KALTE-HEIZUNG 1987, No. 10, 445–447
- [22] JUS U.J5.600 (1987): Toplinska tehnika u građevinarstvu: Tehnički uvjeti za projektiranje i gradnje zgrada.

HOW TO USE HEAT FROM A TRANSFORMER?

Some technical considerations, possibilities and limitations on the transformation of a low-temperature waste transformer heat into useful energy for heating is described. Particular review is given considering conditions which, if fulfilled, provide undisturbed and reliable transformer work. Based on these results significant savings can be expected when the usage of transformer waste heat is planned in advance, and minor savings if the equipment is built in subsequently.

WIE MAN DIE WÄRME DES TRANSFORMATORS AUSNÜTZEN KANN

Hier wurden einige technische Lösungen, Möglichkeiten und Beschränkungen der Umwandlung der Abfallwärme niedriger Temperatur des Transformators in eine nützliche Heizungsenergie beschrieben. Man spricht besonders über die Bedingungen die, wenn sie erfüllt werden eine ungestörte und zuverlässige Arbeit des Transformators versichern. Durch die Anwendung dieser Lösungen, kann man schon heute bedeutende Kostensenkungen erwarten, wenn man die Nutzung der Abfallwärme in voraus plant und geringere Kostensenkungen wenn die Anlage nachträglich eingebaut wird.

Naslov pisca:

**Dr. Zdenko Godec, dipl. inž.
Končar — Institut za
elektrotehniku, 41000 Zagreb,
Baštijanova bb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
1991–05.29.



INGRA

ZAGREB — HRVATSKA

DIONIČKO DRUŠTVO ZA IZGRADNJU INVESTICIJSKIH OBJEKATA, UVOZ, IZVOZ
I ZASTUPSTVA

PROGRAM INGRE

- energetska postrojenja
- industrijski objekti
- kemija, nafta i petrokemija
- agroindustrijski kompleksi i
prehrambena industrija
- građevinarstvo
- montaža
- ugovorne usluge

Kontakt

INGRA

41000 ZAGREB

Proleterskih brigada 62

tel: 615-355

telex: 21-239, 21-728

fax: 41-517-613

SURADNJA ELEKTROPRIVREDE SLOVENIJE I AUSTRIJE

Nedavno je potpisan protokol o energetske suradnji elektroprivrede Slovenije i Austrije o gradnji šest hidroelektrana na donjem toku Save. Za realizaciju toga programa osnovano je novo dioničko društvo »Sava« sa sjedištem u Ljubljani. Republika Slovenija uložiti će 40 posto, a Austrija 60 posto. Ulaganja će osigurati tvrtka »Verbundplan« i »Stuag« te »SMELT« iz Ljubljane i Savske elektrane. Ukupna ulaganja za gradnju savskih elektrana planirane su investicije u iznosu približno milijardu DEM. Ukupna proizvodnja šest budućih savskih elektrana iznosila bi oko 900 milijuna kWh električne energije. U lanac ovih elektrana već je uključena HE »Vrhovo«, koja je već oko 80 posto izgrađena. Početak gradnje druge elektrane predviđen je već u 1992. godini.

I. R.

DESET GODINA RADA NE KRŠKO

Krško je prva nuklearna elektrana na području bivše Jugoslavije u čiju su izgradnju investicije osigurale republike Slovenija i Hrvatska. Sporazumom je ugovoreno da se proizvodnja dijeli u omjeru 1:1 između elektroprivrede Slovenije i Hrvatske.

Proizvodnja nuklearke počela je 1. listopada 1981. i do 30. rujna 1991, dakle za deset godina rada, ostvarena je ukupna proizvodnja oko 38,6 milijardi kWh električne energije. Svakoj republici je pripalo pola, čime je osigurala prosječno 22 posto slovenskih i 17 posto energetskih potreba Hrvatske. Cijena nuklearne energije iz Krškog, uključujući dodatke za rješavanje problema radioaktivnog otpada, još uvijek je približno dvadeset posto niža od cijene struje iz termoelektrana na ugljen ili nekoga alternativnog objekta. Uz redovnu planiranu proizvodnju stalno raste i efikasnost rada nuklearke koja, prema pokazateljima, pripada među najbolje u svijetu, istakao je na konferenciji za novinare Josip Aralica, zamjenik glavnoga direktora. Kao i sve faze izgradnje nuklearke, tako je i dosadašnja eksploatacija bila pod stalnom kontrolom domaće i međunarodne stručne javnosti. Primijenjeni su svi zakonski propisi i standardi SAD — glavnog isporučioča tehnologije. Sigurnost rada i zaštita okoliša uvijek su bili u prvom planu.

I. R.

PROŠIRENJE PROIZVODNJE U RIZ-U

Za unapređenje i proširenje hrvatske elektronske industrije Zavod »Croatia« osiguranje d.d. uložiti će sredstva za obnovu proizvodnje u Radio-industriji Zagreb (RIZ), tvornici poluvodiča.

Ocijenjeno je da će postojeće tehnološke mogućnosti RIZ-a omogućiti novi proizvodni program za koji bi se našli kupci u inozemstvu. Uz poznatu izradu elektronskih komponenta, RIZ bi bez većih poteškoća mogao proizvoditi i elektronske sklopove te gotove elektroničke ili elektroničko-mehaničke uređaje, što bi mu ujedno povećalo akumulaciju. Pro-

izvodnja senzorskih uređaja za zaštitu imovine, za što je posebno zainteresirana »Croatia«, bi mogla početi odmah. Tako bi RIZ nakon razdoblja stečaja počeo ostvarivati i prihode koji bi se mogli odmah investirati u proizvodnju drugih pogona. Stručnjaci su procijenili da tvornica poluvodiča ima sve uvjete za brz oporavak, a predviđa se i suradnja sa stranim partnerima. Već 1992. godine tvornica poluvodiča imat će potpuno nov proizvodni program.

I. R.

TE PLOMIN 2 — ODSUMPORIVANJE DIMNIH PLINOVA

U skladu sa zaključkom Sabora i dobivenim uvjetima uređenja prostora obavljene su sve pripreme za sklapanje ugovora za kupnju uređaja odsumporivanja dimnih plinova iz TE Plomin 2.

Sredinom rujna 1991. godine potpisan je ugovor o isporuci i ugradnji postrojenja za odsumporivanje dimnih plinova TE Plomin 2, prvoga takvog uređaja u ovom dijelu Europe. Ugovor su potpisali mr. Ivan Putanec, generalni direktor Hrvatske elektroprivrede, i Stefano Costa, predstavnik japansko-talijanskog konzorcija »Mitsubishi Ansaldo« isporučioča uređaja.

Ugradnjom postrojenja smanjuje se ispuštanje štetnih plinova na 400 mg sumpor-dioksida po prostornom metru plina. To je najstroža norma u Europi i u skladu je s preporukama EZ. Za kupnju montažne poslove toga postrojenja planirana su ulaganja 56,5 milijuna dolara, a rok potpunog postavljanja uređaja je 30 mjeseci. Glavni radovi obaviti će se tijekom 1992. godine.

I. R.

PORAST IZVOZA SOLARNIH ČELIJA

Splitska tvornica Solarnih ćelija iz sastava Holdinga »Končar« ostvaruje, iako u teškim ratnim vremenima, dobre rezultate, povećavajući proizvodnju i izvoz.

Vrijednost izvoza u 1990. godini iznosila je samo 156 tisuća dolara, a u razdoblju od siječnja do rujna 1991. godine ostvaren je izvoz jedan milijun i 95 tisuća dolara. Tvornica Solarnih ćelija u proizvodnji je tek 20 mjeseci i već je uspješan proizvođač fotonaponskih ploča i modula, odnosno ćelija na bazi amortnog silicija. Pri tome se koristi sunčevom energijom po »Cronarovoj« tehnologiji i jedina je tvornica takve vrste u ovome dijelu Europe.

Najveći rezultati izvoza ostvareni su na engleskom tržištu, što je postignuto zahvaljujući kvalitetnom proizvodnjom, solidnim cijenama i održavanjem ugovorenih rokova isporuke.

Preostali dio izvozi se kupcima iz Kanade, Novog Zelenda, Italije, Južno-Afričke Republike, Švicarske itd.

I. R.

MEĐUNARODNI SIMPOZIJ O NOVIM TEHNOLOGIJAMA

Treći međunarodni simpozij stručnjaka o novim tehnologijama održan je od 15. do 17. listopada 1991. u Zagrebu. Organizatori su bili Savez elektroinženjera i tehničara Hrvatske, Elektrotehnički fakultet Zagreb, »Končar«-Institut za elektrotehniku, Fakultet za strojarstvo i brodogradnju Zagreb, Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike Republike Hrvatske te srodne organizacije iz Austrije. Seminaru je prisustvovalo 75 stručnjaka iz republika bivše Jugoslavije. U 78 referata i 118 pripoćenja obrađena je problematika iz ovih područja:

- Tehnološki razvoj u Austriji i bivšoj Jugoslaviji
- Novi materijali, tehnološki postupci i primjena
- Robotika i fleksibilni proizvodni sistemi
- Informatička tehnika, telekomunikacije i prijenos podataka
- Energetska tehnika i aditivni izvori energije
- Mikroelektronika i energetska elektronika
- Povijest elektronike
- Suradnja TU Graz, TU Beč, ETF Zagreb, TU Ljubljana, TF Maribor
- Suradnja Hrvatske elektroprivrede Zagreb i elektroprivrede Austrije.

O pojedinim referatima i priopćenjima vođene su stručne rasprave o korištenju novih tehnologija u elektrotehnici. Referati i priopćenja objavljena su na hrvatskom i engleskom jeziku.

I. R.

ENERGETSKO KORIŠTENJE VODOTOKA GOJAČKE DOBRE

Hidroenergetski potencijal Gojačke Dobre danas je samo djelomično iskorišten u hidroelektrani Gojak, instalirane snage 48,0 MW, no mogućnosti su znatno veće. Preostali dio vodotoka Gojačke Dobre može se iskoristiti izgradnjom niza elektrana, i to: HE Lešće, HE Lipa 1, HE Lipa 2 i HE Majur. Potpuna dokumentacija sredena je za buduću HE Lešće na temelju kojih je izrađen i idejni projekt.

Podaci za HE Lešće

HE Lešće čini drugu stepenicu u iskorištavanju vodnog potencijala Gojačke Dobre. Uloga HE Lešće je proizvodnja

električne energije u varijabilnom dijelu dnevnog dijagrama potrošnje, čime se znatno povećava vrijednost hidroelektrane.

Hidrološke značajke Gojačke Dobre jesu visoke proljetne i jesenske vode, dakle i velika proizvodnja električne energije.

Lokacija hidroelektrane Lešće je na toku Gojačke Dobre na poziciji 38 + 860 u blizini sela Gorenaca. Hidrografski i hidrološki podaci su: slivno područje 781 km²; srednji protok 32,7 m³/s i instalirani protok 100,00 m³/s.

Opis objekta. Glavni sastavni dijelovi HE Lešće su pregrada, akumulacijski bazen, strojnica s dvije glavne proizvodne grupe i s agregatom biološkog minimuma. Strojarnica je smještena nizvodno od lučne pregrade u sredini riječnog korita. Dovod do turbine je predviđen pomoću dvaju čeličnih cjevovoda promjera 3,95 m. Od desnog cjevovoda predviđen je odvojak promjera 0,70 m za turbinu biološkog minimuma.

Tip elektrane. Hidroelektrana Lešće je pribransko postrojenje. Evakuacija velikih voda predviđena je kroz šahtni preljev priključen na obilazni tunel. Ukupan je volumen akumulacije 25,2 · 10⁶ m³; korisna zapremina akumulacije 17,2 · 10⁶ m³; dužina akumulacije 12,61 km i površina akumulacije 146 ha. Transport energije 2 × DV 110kV i 1 × DV 20 kV.

Energetski podaci o hidroelektrani Lešće

Snaga izgradnje je 37,8 MW; a godišnja prosječna proizvodnja 92,64 GWh električne energije.

Karakteristike glavne opreme: tip turbine »Francis«, osovina agregata vertikalna; instalirani protok; $Q_1 = 50 \text{ m}^3/\text{s}$; konstruktivni pad 40 m. Generator je sinhroni, nazivna snaga je 21,0 MVA a faktor snage $\cos\varphi = 0,85$. Agregat biološkog minimuma je tip turbine »Francis«, osovina agregata je vertikalna, generator je nazivne snage 1 250 kVA, a faktor snage $\cos\varphi = 0,80$.

Hidroelektrane Lešće predviđana je kao objekt bez pogonske posade. Elektranom se upravlja daljinski iz komande porječja Kupe. Lokalno upravljanje u elektrani predviđeno je za slučaj zaposjedanja objekata i u vrijeme upuštanja nakon izgradnje i remonta. Lokalno upravljanje je automatsko pojedinačno i ručno pojedinačno.

I. R.

DEVET NOVIH TOPLANA U NJEMAČKOJ

Na području bivše SR Njemačke u gradnji je devet novih toplana. Te kombinirane elektrane-toplane imat će ukupnu električnu snagu 1 844 MW, a proizvodit će 1 546 MJ/s toplinske energije, dovoljne za grijanje 210 000 stanova, prosječne površine 70 m². Prema procjeni stručnjaka time se, u usporedbi s uobičajenim centralnim grijanjem šteti, 45% goriva. Glavno gorivo za navedena nova postrojenja bit će domaći kameni ugljen u četiri toplane, smeće u dvije, a u jednoj smeđi ugljen. Ostale će trošiti naftu ili plin.

ETZ, god. 112(1991), br. 9

Mrk.

POVEĆANA PROIZVODNJA NUKLEARNIH ELEKTRANA ZIMI

Njemačke nuklearne elektrane proizvedu zimi 4% više električne energije uz jednaki potrošak goriva. Na primjer, moderna nuklearna snaga 1 350 MW u zimskim uvjetima može povećati snagu za 30–50 MW. Razlog je činjenica da je temperatura rashladne vode zimi znatno niža nego ljeti, što povećava koeficijent iskoristivosti elektrane.

ETZ, god. 112(1991), br. 9

Mrk.

ISTOSMJERNA VEZA ZAPADA I ISTOKA EUROPE

U proljeće 1991. položen je kamen temeljac za prvu istosmjernu vezu u Njemačkoj. Počela je gradnja istosmjernog postrojenja, snage 600 MW, između Bavarske (Etzenricht) i Češkoslovačke (Hradec). Uređaj bi trebao ući u pogon potkraj 1992. Računajući i buduću drugu istosmjernu vezu u Austriji, bile bi zapadnoeuropska i istočnoeuropska elektroenergetska mreža vezane s tri istosmjerna mosta. Istosmjerna stanica, tzv. leđa uz leđa, bit će na Njemačkoj strani povezana vodom 380 kV, dugim 160 km, s češkoslovačkim visokonaponskim sistemom.

ETZ, god. 112(1991), br. 10

Mrk.

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE ZEMALJA EZ U 1990.

Zemlje EZ proizvele su ukupno 1 699 TWh električne energije. Porast prema prethodnoj 1989. godini iznosi 2,6%. Porast je konstantan, jer je u 1989. prema 1988. bio za 2,8% veći. Znatnija je, međutim, bila promjena u porastu proizvodnje u nuklearnim elektranama. Njihova je proizvodnja od 1988. na 1989. porasla 8,1%, dok od 1989. na 1990. samo 0,2%.

ETZ, god. 112(1991), br. 11

Mrk.

HE ITAIPU U PUNOM POGONU

Šestoga svibnja o. g. pušten je u pogon posljednji od 18 agregata u hidroelektrani Itaipu, na graničnoj rijeci između Brazila i Paragvaja. Od zaključenja gradnje prošlo je 18 godina, a 6 i pol godina prošlo je od svečanog puštanja u pogon prvih dvaju agregata. Tako je ova elektrana postala sa svojom instaliranom snagom od 12 600 MW (18 × 700 MW) najveća hidroelektrana na svijetu. Njezina će godišnja proizvodnja iznositi 75 TWh, a to je dvostruko više nego što troši npr. Austrija.

ETZ, god. 112(1991), br. 11

Mrk.

NAJVEĆI ENERGETSKI PROJEKTI KINE ZALEĐENI

Dva najveća projekta kineske elektroprivrede su obustavljena, premda su smatrani prioritetima u razdoblju do 2000. godine.

U petogodišnjem planu 1991/1995. nisu za te projekte osigurana nikakva sredstva. Radi se o najvećoj brani na svijetu na rijeci Yangtze i proširenju nuklearne elektrane u zaljevu Daya u provinciji Kwantung. Razlog odgađanja gradnje gigantske brane obrazložen je time što još nije za to vrijeme. Prema mišljenju eksperata, gradnja je preskupa, a ima i ekoloških problema. Ako bi se gradnja realizirala, trebalo bi preseliti više od 700 000 ljudi. Proširenje spomenute nuklearne elektrane, koja je u blizini Hong Konga također se neće izvesti

ETZ, god. 112(1991), br. 11

Mrk.

ŠPANJOLSKA PRODULJUJE MORATORIJ NA NOVE NUKLEARNE ELEKTRANE

Prema izjavi ministra industrije do 2000. godine neće se izgrađivati i staviti u pogon nove nuklearne elektrane u Španjolskoj. Godine 1983. proglašeni moratorij na nuklearne elektrane i dalje se produžuje. To vrijedi i za pet nuklearnih reaktora koji su u gradnji. Ministarstvo će predložiti nov nacionalni energetska plan. Razlog produženja moratorija je visoka cijena elektrana i zaštita okoliša. Danas Španjolska dobiva približno 40% električne energije iz nuklearnih izvora.

ÖZE, god. 44(1991), br. 6

Mrk.

AUSTRIJA O NEPOVOLJNOM UTJECAJU TE ŠOŠTANJ

Na zasjedanju austrijskog društva Drau-Consulting Ges.m.b.H. konstatirano je da slovenska termoelektrana Šoštanj izbacije godišnje toliko sumpor-dioksida koliko cijela Austrija. Zbog susjedne austrijske Koruške to je postao međunarodni problem koji treba što prije riješiti. Drau-

-Consulting i Wagner Biro pobrinut će se za izradu odgovarajućih ponuda za sanaciju. U diskusiji je nadalje utvrđeno da nadležnu vlast treba uvjeriti u nužnost saniranja Šoštanja i time staviti osnovu za mogućnost kreditiranja. Ovakvo stanje ugrožava austrijske državljanke koje treba štiti od nepovoljnih ekoloških utjecaja iz inozemstva.

ÖZE, god. 44(1991), br. 6

Mrk.

KANADSKA HIDROENERGIJA ZA EUROPU

Pod ovim je naslovom u *Energiji* 1989, br. 3 već izneseno da su u toku planovi kako bi se na kanadskim hidroizvorima sagradili uređaji za elektrolizu vode i tako dobio vodik, koji bi se zatim upotrijebio kao gorivo u Europi. Taj se plan sada počeo realizirati. Europska zajednica sklopila je s kanadskom provincijom Quebec odgovarajući ugovor da se izgradi postrojenje snage 100 MW za dobivanje vodika. Proizvodnja bi morala početi 1995/96, a plin će se otpremati u Hamburg. Troškovi se procjenjuju na nekih milijardu DEM, od čega bi se 600 milijuna DEM investiralo u Hamburgu, a ostalo u Kanadi. Nije čudo da je za takvu perspektivnu tehnologiju vezanu za velike troškove, javilo ipak preko 40 interesenata.

S jedne strane razvojni instituti i sveučilišta, a s druge strane mnoge tvrtke, među kojima i one zvučnih imena kao npr. AEG, Blohm and Voss, Daimler Benz, Linde, Thyssen itd. Predviđeno je da trećinu troškova snosi industrija, drugu trećinu daje EZ, a ostalo država i provincija Quebec. Ovim pilot-projektom neće doduše nastupiti »doba vodika«, ali će se njime istražiti tehnologija i ekonomičnost. Glavni potrošači vodika bit će toplane i promet, dok korištenje u gorionim ćelijama nije predviđeno ovim projektom. Šira komercijalna upotreba ove tehnologije predviđa se tek za nekih 30 godina. Plin će se prevoziti do luke u Hamburgu posebnim tankerima, u tekućem stanju, pri temperaturi -253°C. Godine 1995/96. trebalo bi svih 820 hamburških autobusa prijeći na pogon vodikom. Pokusi vršeni osamdesetih godina pokazali su da je pregradnja postojećih motora na pogon vodikom vrlo jednostavna. Takvim bi se načinom pogona mnogo pridonijelo čistoći okoliša. Drugi veliki potrošači vodika bit će blokofske toplane. Tu se vodik može miješati s metanom.

Kao treći interesent pojavljuje se poduzeće Airbus, Hamburg, koje već godinama ispituje mogućnost upotrebe vodika kao goriva za avione. Predviđeno je da se 1992. prijede od studija na tehnički razvoj, 1995. će se uzeti dva aviona za pokus i tijekom 1996/97. isprobati. Koju godinu zatim mogla bi se dobiti od njemačke službe letenja dozvola za trajnu upotrebu.

Sa serijskom bi se proizvodnjom počelo 2007. godine.

Mnogi imaju veliku averziju prema vodikom zbog njegove eksplozivnosti, no stručnjaci smatraju da je u tom pogledu benzin opasniji.

Energie, god. 43(1991), br. 6

Mrk.

FOTOVOLTAIČKA POSTROJENJA ZA SJEVERO-ZAPADNU AFRIKU

Najveći pojedinačni komercijalni ugovor za fotovoltaička postrojenja sklopio je Siemens Solar u Münchenu. Ugovor obuhvaća obnovu, ugradnju i održavanje fotovoltaičkih sistema ukupne snage 640 kW u Kapverdskim Otocima, Gambiji, Gvinei Bisao, Mauritaniji i Senegalu. Ugovorena svota

iznosi oko 30 milijuna DEM. Projekt će financirati Komisija EZ u okviru regionalne kooperacije. Vrijeme realizacije projekta je 4 godine. Sunčevom će se energijom tada pokretati 410 pumpi, 89 rashladnih uređaja, 303 rasvjetna sistema i puniti 33 baterije. Navedena fotovoltaička postrojenja znatno će pridonijeti pokrivanju osnovnih energetske potrebe zemalja sjeverozapadne Afrike.

Elektrizitätswirtschaft, god. 90(1991), br. 9

Mrk.

ZNATAN PAD POTROŠKA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA PODRUČJU BIVŠE NJEMAČKE DR

Zbog pada industrijske proizvodnje na području bivše Njemačke DR znatno je pala i potrošnja električne energije iz javne mreže. U siječnju i veljači 1991. potrošak je bio za 25% manji nego u istim mjesecima prethodne godine. U godini 1990. pao je potrošak u usporedbi sa 1989. godinom za 15%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 90(1991), br. 11

Mrk.

U IZGLEDU JE POVEĆANA POTROŠNJA PLATINE

Platina nije samo plemenit metal za novčanu podlogu već i nužan katalizator u kemijskoj industriji, važan sastavni dio katalitičkih reaktora za pročišćavanje dimnih plinova. Daljnja se uloga u ekologiji nazire u sve većoj upotrebi platine u tehničkim gorivih ćelijama. Važno je istaknuti da su gorive ćelije ekološki čisti izvori energije, bez sumpornog i dušičnog oksida. Danas su najrazvijenije gorive ćelije u kojima izgara vodik. Elektrolit je fosforna kiselina, a katalizator platina. Potrebno je 5 grama platine po kW snage gorive ćelije. Za njihov je razvoj posebno značajna 1990. godina. Grade se ćelije snage 1 do 5 kW pa sve do 10 MW. U Japanu se mnogo daje na razvoj, a u pogon je stavljena jedinica od 11 MW. Računa se da će do 1996. do 100 gorivih ćelijama biti ugrađeno u Europi, Japanu i SAD, kao izvori električne energije i toplote. Povećana proizvodnja i sniženje cijene po ćeliji znatno će povećati njezinu primjenu tijekom devedesetih godina, što će, naravno, povećati potražnju za platinom.

Više je projekata u toku koji obrađuju mogućnost upotrebe gorivih ćelijama za pogon vozila. Iz ćelija bi se punile baterije i time povećao doseg vožnje.

Energie, god. 43(1991), br. 7

Mrk.

MALI SOLARNI SISTEMI U TUNISU

Mali sistemi sa solarnim ćelijama za napajanje obiteljskih kuća i manjih ustanova električnom energijom pokazali su se ekonomičnim za rijetko naseljene krajeve. Na temelju pilot-programa u sjeverozapadnom je dijelu Tunisa od srpnja 1989. godine ugrađeno 110 malih solarnih sistema, od toga 90 za potrebe obitelji, a ostalo za škole i komunalne objekte. Primijenjeni su sistemi dviju vršnih snaga. Sistem sa dva fotovoltaička modula ukupne vršne snage 106 W s baterijom od 200 ampersati i sistem s jednim modulom snage 53 W i baterijom od 90 ampersati. Kao trošila predviđene su dvije neonske cijevi za rasvjetu i crno-bijeli televizor. Cilj je ovih pilot-uređaja da se vidi koji sistem treba prihvatiti za pokrivanje osnovne potrebe rasvjete i komunikacija, i kako će se pojedine komponente uređaja ponašati u pogo-

nu u realnim uvjetima. Pokazalo se da je tamo gdje je ugrađen jedan modul bilo preopterećenja u zimskom razdoblju oko tri tjedna, a reparature su se morale izraditi na otprilike 50% uređaja. Radi se stoga na poboljšanjima kako bi se to izbjeglo, jer materijal je dijelom uvozni, a dijelom iz lokalnih izvora. Ovaj je projekt pokazao da se za nove tehnologije mogu steći potrebna iskustva samo praćenjem pogona na terenu. Pritom je osobito važno upoznati ponašanje elektroničkog dijela uređaja. O trajnosti komponenata ne može se za sada ništa reći, jer je vrijeme pogona prekratko. Prije svega zanimljiv je utjecaj temperature i vlage na aparaturu. Laboratorijska ispitivanja s tim ciljem nisu provedena. Ne bi bilo ekonomično da svaka od zainteresiranih zemalja provodi ovakav test-program, pa je ovo prilika za širu međunarodnu suradnju.

Energie, god. 43(1991), br. 7

Mrk.

MANJE NADZEMNIH VODOVA U ZAPADNONJEMAČKOJ ELEKTRIČNOJ MREŽI

U izvještaju Saveza njemačkih elektrana objavljeno je da je u Njemačkoj u razdoblju 1979–1989. demontirano 78 000 km nadzemnih vodova. Prema tome, sada nadzemni vodovi čine još samo 46% javne električne mreže. U istom je razdoblju kabela mreža povećana za 44%.

U usporedbi bivše SR Njemačke i Njemačke DR odnosi su upravo obrnuti. Tamo je 1988. bila kablirana samo trećina mreže od ukupno 263 530 km.

ÖZE, god. 44(1991), br. 1

Mrk.

NOVI NAČIN OČITANJA BROJILA U NIZOZEMSKOJ

Za stotinjak potrošača električne energije i plina u Nizozemskoj, među kojima je najviše hotela, trgovina i obrtničkih pogona, unatrag nekoliko mjeseci ugrađeno je telefonsko očitavanje brojila. U Rotterdamu su ugrađena specijalna brojila tvrtke Landis Gyr koja tijekom mjeseca evidentiraju i pohranjuju sve podatke o snazi i energiji, a potkraj mjeseca predaju se centrali pomoću telefona. Do 1992. trebalo bi u Rotterdamu takve uređaje uvesti za oko 2 000 potrošača.

ÖZE, god. 44(1991), br. 1

Mrk.

NOVA ISTOSMJERNA VEZA NJEMAČKA – ŠVEDSKA

Njemačko elektroprivredno poduzeće Preussenelektra potpisalo je s dva švedska poduzeća ugovor o razmjeni električne energije. U kooperaciji tih triju poduzeća osnovalo bi se poduzeće Baltic Cable, u koje bi svaki partner uložio trećinu. Ovo će poduzeće izgraditi istosmjernu kabelašku vezu snage 500 MW od Lübecka u Njemačkoj, preko istočnog mora, do Malmöa u Švedskoj i nakon završetka voditi pogon. Viškovi hidroenergije prenosili bi se u Njemačku, a termoenergije u Švedsku.

ÖZE, god. 43(1991), br. 7

Mrk.

ENERGIJA U ŠVICARSKOJ

Od ukupno utrošene energije u Švicarskoj godine 1990. 21% otpada na električnu energiju. Naftini derivati daju 64% energije, 9% plin, a ostali 6% ugljen i drvo.

Nuklearne elektrane proizvode 41% potrebne električne energije, 57% hidroelektrane (32% akumulacijske, a 25% protočne), a 2% se proizvodi u termoelektranama.

Švicarska domaćinstva potroše 28% raspoložive električne energije.

ÖZE, god. 43(1991), br. 7

Mrk.

POGONSKA ISKUSTVA AUSTRIJSKE SOLARNE ELEKTRANE LOSER

Najveća austrijska solarna elektrana na brdu Loser (Altanssee) dala je u svojem dvogodišnjem pogonu vrlo vrijedne rezultate i bogata iskustva. Izgrađena u području vrlo oštrem klime s jakim vjetrovima, snijegom i ledom pokazala je svoju izdržljivost. O tom je postrojenju već pisano na ovom mjestu (*Energija*, go. 38 (1989), br. 3 i god. 39(1990), br. 2), a glavne su mu karakteristike:

- vršna snaga 310 kW
- preusmjerivač (istosmjerna-trofazna) 3 × 10 kW
- napon sistema 260 V
- proizvodnja solarnih generatora tvrtki: Arco, Siemens, Kyocera
- investicije 6 000 000 ATS ili 200 000 ATS po kW
- ulazak u pogon siječanj 1989.

O radu ove elektrane može se ukratko reći da su pogonski rezultati više nego opravdali očekivanja.

Važni podaci o globalnom zračenju, temperaturi, brzini vjetra i proizvedenoj električnoj energiji svaka su 4 sata evidentirana i automatski odaslana u računski centar u Gmunden.

Od 4. siječnja 1989. do 31. siječnja 1991. ukupno je proizvedeno 56 984 kWh i predano javnoj mreži. Kako je odabrana lokacija na nadmorskoj visini 1550 m većinom bez magle, znatan dio proizvodnje pada u zimsko razdoblje.

Projektom je bilo predviđeno da će godišnja proizvodnja iznositi 34 160 kWh. U razdoblju 1989/90. ostvarilo se 34 000 kWh/g, a 1990/91. 32 000 kWh/g. Za svaki od tri sistema različitih dobavljača mjeren je faktor iskoristivosti. On je iznosio za Arco-uređaj 9,5%, Simens i Kyocera 8,6%. Raspoloživost uređaja bila je 1989/90. 91%, a 1990/91. 98%. Preusmjerivači su uzrokovali 76% ispada, dakle najveći dio.

Pokazalo se da je već na ovim nadmorskim visinama Sunčevo zračenje slično kao u svemiru, osobito zimi kad zbog refleksije na snijegu došije i 1 300 W/m². Na Losru su zabilježene srednje satne vrijednosti od 1 200 W/m². Za električne elemente uređaja to je preopterećenje, ali ono se mora predvidjeti projektom.

ÖZE, god. 43(1991), br. 7

Mrk.

STRUJA ZA NEW DELHI

Polovinom 1991. indijski je ministar energetike pustio u pogon istosmjerni prijenosni sistem koji je izgradila tvrtka ABB. Tim se uređajem veže termoelektrana na ugljen Rihand u državi Uttar Pradesh s New Delhijem. Prijenosni sistem ima napon 500 kV, duljinu 800 km, a može prenositi 1 500 MW. Tvrtka dobavljač vrlo je dobro surađivala s do-

maćom industrijom i naručiteljem, kao što je to radila pri gradnji najvećega istosmjernog prijenosa na svijetu (± 600 kV, 6 300 MW u dva paralelna istosmjerna dalekovoda) u Brazilu.

ÖZE, god. 43(1991), br. 8

Mrk.

PLANIRA SE PLINOVOD IZ ALŽIRA U ŠPANJOLSKU

Uskoro će se u Madridu sastati ministri energetike Španjolske, Maroka i Alžira da koordiniraju predradnje za gradnju plinovoda kroz te tri zemlje. Kako se čuje iz diplomatskih krugova Alžira, sada je glavni problem primjereni odgovor o financiranju projekta.

ETZ, god. 112(1991), br. 12

Mrk.

POGON AUTA GORIVIM ČELIJAMA

Potkraj lipnja u Harrisburgu (Pennsylvania, SAD) predstavljen je auto Ford-Fiesta na pogon vodikovim gorivim ćelijama. Auto se može ubrzati do 130 km na sat, a doseže bez poteškoća putnu daljinu 500 km.

Vodik se dovodi u gorivu ćeliju, gdje u »hladnom izgaranju« pri temperaturi 70°C, direktno stvara električnu energiju za pogon istosmjernog motora od 16 kW. Goriva ćelija ima promjer 250 mm i duljinu 300 mm, a 60% do 80% energije vodika pretvara u električnu energiju.

ETZ, god. 112(1991), br. 165

Mrk.

NAJVEĆA SOLARNA ELEKTRANA U EUROPI

Njemačka tvrtka RWE — Energie AG gradi na obroncima Neurather See, na dnevnom kopu bivšeg rudnika smeđeg ugljena najveću fotovoltaičku elektranu u Europi. Ugradit će se 3 850 fotovoltaičkih modula. Oni bi pri optimalnom Sunčevu zračenju dali snagu 330 kW i godišnju proizvodnju 250 000 kWh u javnu mrežu. Pogonom ovog uređaja treba razjasniti ponašanje takvih solarnih elektrana u srednjoeuropskim klimatskim prilikama. Dugoročno gledano, pokušava se utjecati na sniženje troškova tako proizvedene energije.

ETZ, god. 112(1991), br. 15

Mrk.

ŠVEDSKI ELEKTROENERGETSKI PROBLEMI

Švedska je zemlja koja nema ni ugljen ni nafte, ali raspolaže vodnim snagama, drvom i tresetom. Do početka sedamdesetih godina sva je proizvodnja električne energije dolazila od vodnih snaga. Prvi nuklearni reaktor pušten je u po-

gon 1972. Danas Švedska ima u pogonu 12 nuklearnih reaktora ukupne snage 9 700 MW. Te elektrane dobavljaju po prilici pola potrebne struje, dok je druga polovica iz vodnih snaga. Godine 1989. zemlja je potrošila ukupno 439 TWh energije. Pojedini nosioci energije bili su zastupljeni kako slijedi:

139 TWh nuklearna i voda

198 TWh uvozna nafta i plin

30 TWh uvozni ugljen

72 TWh domaća goriva na bazi otpadaka drva.

Nakon nesreće na Otoku tri milje proveden je 1980. referendum na temelju kojega je zaključeno da se nuklearne elektrane moraju ugasiti do 2020. godine. Nakon katastrofe u Černobilu bio je velik pritisak javnosti za ranijim eliminiranjem nuklearnih elektrana, pa je 1988. parlament odlučio da se prva dva reaktora ugase već 1995. i 1996. godine.

Nadalje je 1988. parlament odredio da se emisija ugljik-dioksida ne smije povećati prema nivou iz 1988. Mnoge su stručne grupe, međutim, upozoravale na neizvodljivost tih zaključaka ako se ne želi smanjiti količina električne energije za industriju i time zakočiti privreda. Osim toga, neće biti moguće udovoljiti ekološkom zakonu iz 1986, gdje se zabranjuje daljnja izgradnja hidroelektrana, premda bi se mogle još iskoristiti vodne snage do proizvodnje od 20 TWh. I kao treće, nije moguće već 1995/96. isključivati iz pogona nuklearne elektrane.

Posebna vladina radna grupa, osnovana je u jesen 1989, razmotrila je cijelu problematiku i u travnju 1990. referirala parlamentu da su stvarno zaključci neizvedivi. U povodu toga povučen je zaključak o gašenju nuklearnih elektrana već 1995/96, ali je ostao onaj o eliminiranju svih nuklearnih elektrana do 2010. godine. Upozoreno je na potrebu oštrednije energije, na njezinu racionalnu upotrebu i što veće korištenje energije koja ne zagađuje okoliš.

Upravo se u Švedskim političkim krugovima sada traži dugoročno rješenje budućega energetskog sistema zemlje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 90(1991), br. 4

Mrk.

UŠTEDA NAFTINIH DERIVATA U ZEMLJAMA EZ

Europski proizvođači električne energije znatno su smanjili udio nafte u proizvodnji. U zemljama EZ još samo 11% proizvedene struje potječe iz nafte. Taj je potrošak 1970. iznosio 26%, a nakon 10 godina, 1980. 23%. Gledajući pojedine zemlje, najmanji udio ima Luksemburg, a najveći Italija. Evo podataka za nekoliko zemalja.

	Udio nafte	
	1989.	1970.
Luksemburg	1,9%	11,4%
SR Njemačka	2,5%	15%
Belgija	2,5%	50,6%
Francuska	2,6%	21,6%
Italija	48,5%	47,4%

Elektrizitätswirtschaft, god. 90(1991), br. 7

Mrk.