

UDK.621.31

ENJAAC 36 (1 – 6) 1 – 560 (1987)

YU ISSN 0013 – 7448

energija

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

Zagreb, prosinac 1987

SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1987. GODINI

	str. br.		str. br.
<i>Alerić S.</i> : Ovisnost moguće proizvodnje hidroelektrana o dužini trajanja osnovne vremenske jedinice (mjesec, tjedan, dan)	429 5	<i>Mužek Z. – Komerički Z.</i> : Izgradnja Kotla K 500 – U loženog uvoznim kamenim ugljenom u TE-TO Zagreb	53 1
<i>Crnogorac Ž.</i> : Odabiranje regulacije napona pomoću računala	247 3	<i>Mužek Z.</i> : Karakteristike kondenzacijsko-oduzimnog rada turbine za nuklearnu elektranu snage 1000 MW	215 3
<i>Cvetković Z.</i> : Neke dileme vezane za raspad sistema 1. kolovoza 1986	121 2	<i>Mužek Z. – Kunaj H.</i> : Usporedba specifičnih izdataka proizvodnje električne energije u termoelektranama	413 5
<i>Čorak D. – Mužek Z.</i> : Mogućnosti racionalizacije energije izborom energetske strukture primjerene strukturi stanovanja	13 1	<i>Nadinić B.</i> : Ispitivanje ukupne propusnosti kontejnmenta u NE Krško	495 6
<i>Čurković J. – Varaždinec Z.</i> : Analiza postojećeg stanja zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom na području Istre i kvarnerskog zaljeva	35 1	<i>Nadinić B.</i> : Proračun emisija ekološki značajnih elemenata i spojeva iz TE Plomin I. i II. za različite postupke odsumporavanja dimnih plinova	231 3
<i>Čurković J. – Varaždinec Z.</i> : Pregled i usporedba postojećih standarda emisije i imisije SO ₂ u svijetu i kod nas s posebnim osvrtom na TE Plomin	133 2	<i>Nadinić B.</i> : Proračun utjecaja dozvoljenog toplinskog opterećenja rijeke Save na proizvodnju električne energije NE Krško	23 1
<i>Čurković J. – Jelavić V. – Postružin Ž. – Varaždinec Z.</i> : Procjena prizemnih koncentracija SO ₂ u okolini TE Plomin 1 i 2	255 3	<i>Nikolić B.</i> : Položaj kablova u kablovskom rovu	331 4
<i>Fagarazzi A.</i> : Transformatorske stanice 35/10 kV u Srednjoj Dalmaciji	241 3	Okrugli stol »Energije«	2 1
<i>Feretić D.</i> : Nuklearne elektrane i njihov utjecaj na okolinu	471 6	Okrugli stol »Energije«	395 5
<i>Ivanović M.</i> : Komparativna analiza potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u Evropi s posebnim osvrtom na potrošnju u Jugoslaviji	127 2	<i>Petrović M. – Špišić Z. – Avdagić A.</i> : Primjena računala u pripremi u praćenju proizvodnje metalnih konstrukcija	337 4
<i>Jelavić V.</i> : Uključivanje ekoloških ciljeva u matematički model za optimiranje energetske strukture urbanih sredina	147 2	Poruke Okruglog stola	199 3
<i>Kalan B.</i> : Karakteristike regulacije termoenergetskog bloka s obzirom na regulaciju frekvencije u elektroenergetskom sistemu	315 4	<i>Pravdić V.</i> : Energetika i ekologija	201 3
<i>Kandžija V.</i> : Energetska politika Evropske zajednice	207 3	<i>Putanec I.</i> : Cijene električne energije iz nuklearnih elektrana i termoelektrana na ugljen	409 5
<i>Kokelj P.</i> : O pisanju stručnih i znanstvenih članaka i rasprava	269 3	<i>Rajić Ž.</i> : Aproksimativni postupak za određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža	509 6
<i>Kovačević P.</i> : Neke metode analize baza podataka programskog paketa proza-11D/R u centru daljinskog upravljanja Osijek	425 5	<i>Rajić Ž.</i> : Nepotpuni model za određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža	307 4
<i>Matanić D. – Krejči M.</i> : Mogućnosti domaće industrije pri građenju velikih termoenergetskih postrojenja	503 6	<i>Rajić Ž.</i> : Određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža	157 2
<i>Matanić D. – Kisić Z.</i> : Veliki tranzitni vrelovodi	323 4	<i>Šicel M.</i> : Problematika uvođenja rada pod naponom u distribuciji ZEOH-a	515 6
<i>Mesić M.</i> : Neka iskustva u pripremi izgradnje transformatorskih stanica 110/xkV Elektroprenosa Zagreb	435 5	<i>Štajer B. – Pavić I.</i> : Prostorno planerski, urbanistički i građevinski aspekti vođenja trase daljinskog transporta topline	251 3
<i>Mileusnić E.</i> : Zona šticećenja oko privremenih uzemljivača	167 2	<i>Tonković Z.</i> : Odnosi potrošnje snage Hrvatske i elektroprivrednih područja Osijeka, Rijeke, Splita i Zagreba	531 6
		<i>Tonković Z.</i> : Prijenosna mreža na području Elektroprivrede Rijeke u razdoblju 1986 – 2000. godine	519 6
		<i>Raspad zapadnog dijela elektroenergetskog sistema Jugoslavije 1. VIII. 1986</i>	107 2
		<i>Tropin A. K.</i> : Procena dejstva vrlo visokih i najviših napona na organizam čoveka	439 5
		<i>Vuković V.</i> : Otok Tri milje i Černobil	481 6
		<i>Žutobradić S.</i> : Položaj nadzemnih vodova u sustavu uzemljenja	69 1
		Radovi Instituta za elektroprivredu u 1986. godini	345 4

IZDAVAČI

Godište 36 (1987)

Zagreb 1987

Br. 1

Zajednica elektroprivrednih organizacija
Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

SADRŽAJ

Okrugli stol »Energije«	2
Čorak D.— Mužek Z.: Mogućnosti racionalizacije energije izborom energetske strukture primjerene strukturi stanovanja (Prethodno priopćenje)	13
Nadinić B.: Proračun utjecaja dozvoljenog toplinskog opterećenja rijeke Save na proizvodnju električne energije NE Krško (Originalni znanstveni rad)	23
Čurković J.— Varaždinec Z.: Analiza postojećeg stanja zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom na području Istre i Kvarnerskog zaljeva (Originalni znanstveni rad)	35
Mužek Z.— Komerički Z.: Izgradnja kotla K 500-U loženog uvoznim kamenim ugljenom u TE-TO Zagreb (Originalni znanstveni rad)	53
Žutobradić S.: Položaj nadzemnih vodova u sustavu uzemljenja (Prethodno priopćenje)	69
Vijesti iz elektroprivrede	75
Širom svijeta	78
Nove knjige	83
Oglasi	85

IZDAVAČKI SAVJET

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

UREDNIČKI ODBOR

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

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

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

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

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

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 2000 dinara, a za poduzeća i ustanove 6000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 1000 (za studente 200) dinara.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec



Prema odluci Izdavačkog savjeta, Energija je organizirala svoj prvi »Okrugli stol« s temom Neposredna elektroenergetska budućnost. U toku priprema uspostavljen je kontakt s Radio-televizijom Zagreb koja je izrazila spremnost da preuzme »Okrugli stol« za jednu od svojih redovnih emisija, čime bi se širokom broju gledalaca omogućilo upoznavanje s vrlo aktualnim energetske problemima. Početkom studenoga očekivala se debata u Saboru o energetske razvoju, pa bi ova televizijska emisija došla u pravi čas. U dogovoru s RTV Zagreb »Okrugli stol« je održan 6. listopada 1986. u prostorijama RTV Zagreb, gdje su uvjeti za snimanje optimalni. Diskusija je bila vremenski limitirana, a rječnik diskutiranja djelomično prilagođen širokom auditoriju.

Izveštaj s »Okruglog stola« izrađen je na osnovi djelomično prilagođenog stenograma što nam ga je ljubazno ustupila RTV Zagreb.

Što se tiče samog emitiranja do njega nije došlo. RTV Zagreb je u okviru emisije »Spektar« 25.12.1986. emitirala samo kratki izvod. Tom prilikom su izostavljene ključne postavke »Okruglog stola«, pa je svrha emisije promašena uključivši i završni komentar. Čitaocima Energije koji su gledali emisiju i čekali odgovor na svoja pitanja ostavljamo da prosude o svrsishodnosti takvog informiranja. To više što je RTV Zagreb u potpunosti prekršila dogovor s »Energijom« o načinu emitiranja tako ozbiljne problematike.

Glavni urednik



Dr. ZORKO CVETKOVIĆ, dipl. inž.

CVETKOVIĆ, glavni i odgovorni urednik »Energije«:

Želim vam dobrodošlicu na ovom Okruglom stolu i ujedno vam zahvaljujem na odazivu da u njemu sudjelujete. Zahvaljujem također i televiziji Zagreb koja je preuzela snimanje ove naše diskusije i tako omogućila i široj javnosti da se upozna s problemima neposredne elektroenergetske budućnosti. Prije nego započnemo, ja bih samo u nekoliko riječi predstavio časopis »Energiju«. To je časopis koji obrađuje specijalna energetska pitanja. Časopis ove godine slavi svoju 35. godišnjicu i stekao je stvarno renome i u zemlji i u inozemstvu. Uredništvo »Energije« odlučilo je organizirati Okrugli stol kako bi na staložen način, bez suvišnih emocija, ali sa stručnim pristupom, omogućilo da se javnost upozna s problemima koji nas očekuju u opskrbi električnom energijom.

Današnji razgovor imao bi slijedeći sadržaj: prvo, opće stanje energetike i tendencije razvitka energetike u svijetu i u nas; drugo, udio električne energije i naša neposredna budućnost s obzirom na konzum električne energije. Zatim bismo porazgovarali o potencijalnim izvorima električne energije koji nam stoje na raspolaganju, varijantama scenarija za pokriće tog rastućeg konzuma električne energije, specifičnim troškovima pojedinih vrsta izvora električne energije, i konačno, da zaokružimo, o ekološkim posljedicama raznih rješenja, tj. raznih varijanta izgradnje izvora električne energije.

Na početku dopustite da vam predstavim učesnike našeg okruglog stola. To su profesor akademik dr Požar, dr Pravdić iz Instituta »Ruđer Bošković«, dr Granić iz Instituta za elektroprivredu i inž. Rokсандić, predsjednik Poslovnog odbora Elektroprivrede Hrvatske. Mislim da bismo sad mogli početi s diskusijom. Ja bih najprije, druže profesore, da nam kažete kakva je današnja situacija i kakvi su trendovi razvoja u energetici općenito u svijetu i u nas?

POŽAR: Poslije 1973. godine, kad je počela poskupljivati nafta, većina zemalja je nastojala smanjiti potrošnju nafte. To je u mnogim zemljama i uspjelo. Tako je npr. u Zapadnoj Evropi, uključujući sve zemlje zapadne Evrope, a isključujući Istočnu Evropu, smanjena potrošnja nafte od udjela nafte od 60% u ukupnoj potrošnji energije koliki je bio u 1973. na udio od 44% u 1983. godini. To je nadoknađeno povećanjem

potrošnje plina od 10 na 16% u ukupnoj potrošnji energije i povećanjem opskrbe električnom energijom proizvedenom na nuklearnim elektranama. Udio te energije iznosio je 1% u 1973, a 10% u 1985.

Potrošnja ugljena je minimalno porasla, uglavnom zbog toga što su proizvodni troškovi u zemljama s velikim rezervama (Njemačka, Velika Britanija) mnogo veći nego cijena uvoznog ugljena iz SAD i Australije.

U tom razdoblju počela je i akcija racionalnije potrošnje energije. Iako je ta akcija bila prisutna i prije, ona je posebno naglašena zbog povišenja cijene energije. Tako je npr. u Zapadnoj Evropi društveni proizvod porastao od 1973. do 1985. za 23%, a potrošnja energije samo za 6%. Na žalost, u nas se to nije dogodilo. U nas je društveni proizvod porastao za 53%, a potrošnja energije za 76%. Pogotovo je vrlo loš razvoj zabilježen u posljednjih 5 godina, od 1981–1985, kada je društveni proizvod porastao za 2%, a potrošnja energije za 24%. Opća je tendencija, koja je zabilježena i prije ove tzv. energetske krize, da društveni proizvod brže raste nego potrošnja energije. To je potencirano nakon poskupljenja nafte, što je onda povuklo za sobom i cijene ostalih goriva. Tako je npr. u Danskoj stopa porasta društvenog proizvoda od 1973. do 1984. godine iznosila 1,7% godišnje, potrošnja je energije smanjivana po stopi od 1,1% godišnje. U Jugoslaviji je bilo drugačije.

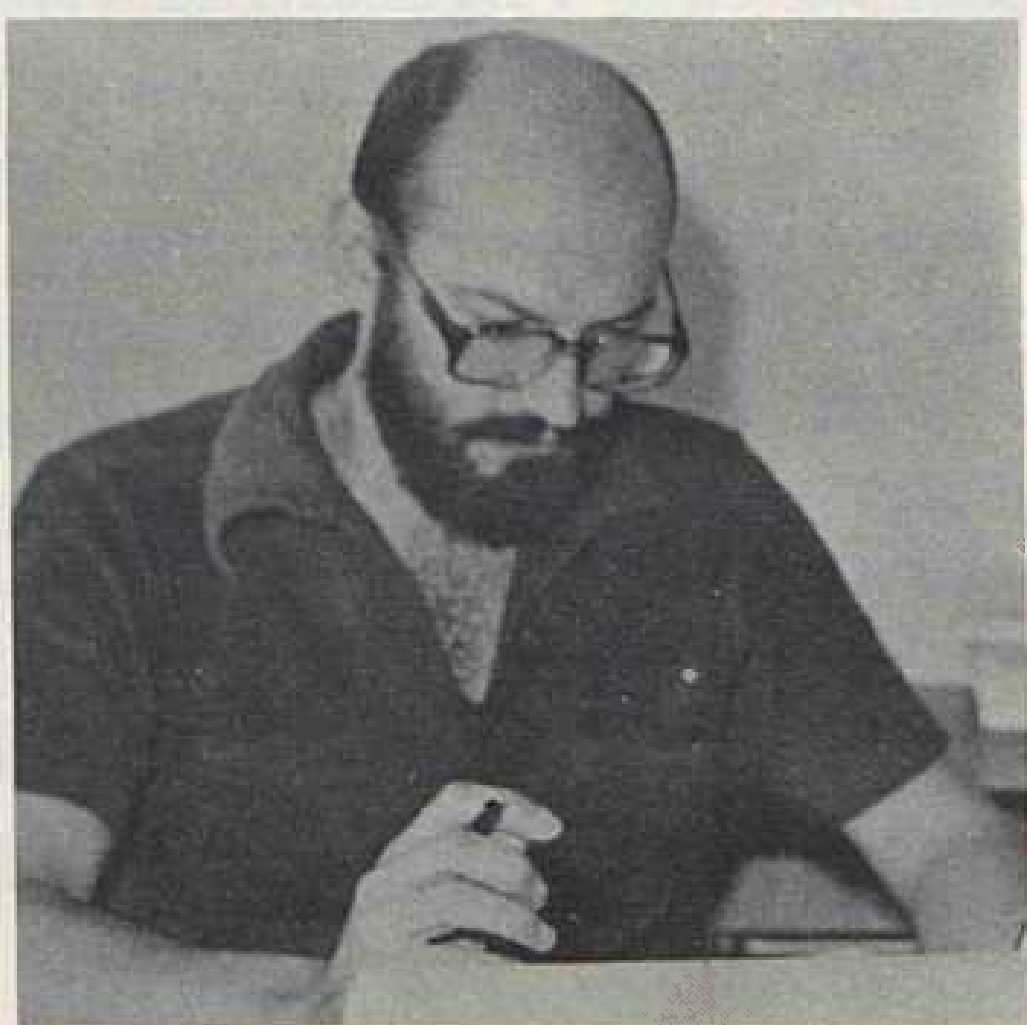
Akademik prof. dr.
HRVOJE POŽAR



Društveni proizvod je rastao po stopi od 3,9%, a energija po stopi od 4,6%. Međutim, kad promatramo samo električnu energiju, onda je situacija obrnuta. Pokazuje se, naime, da u svim zemljama mnogo brže raste potrošnja električne energije nego potrošnja ukupne energije. Tako, na primjer, u Zapadnoj Evropi u razdoblju od 1973. do 1985. društveni je proizvod, kao što je spomenuto, povećan za 23%, a potrošnja električne energije za 41%. Ako usporedimo porast ukupne energije koji je iznosio 6% u tom razdoblju, dobiva se dimenzija porasta potrošnje električne energije za 41%. Slično je bilo u Jugoslaviji. Prema tome, dosadašnje iskustvo pokazuje da brže raste potrošnja električne energije nego društveni proizvod i potrošnja ukupne energije. Stopa godišnjeg porasta potrošnje električne energije u razvijenim zemljama, i to vrlo razvijenim zemljama, raste

od 1,5 do 2 puta brže nego stopa porasta društvenog proizvoda, a u manje razvijenim zemljama 1 do 2,5 puta. To, mislim, treba uzeti u obzir kad se promatra budući razvoj potrošnje energije. To se ostvaruje u svim evropskim zemljama za koje se ne može reći da nisu poduzele niz akcija za racionalnu potrošnju i ukupne i električne energije.

CVETKOVIĆ: Druže Graniću, na bazi ovog saznanja kakva je tendencija i kakvo je stanje današnjeg porasta potrošnje električne energije u Jugoslaviji i koje mjesto Jugoslavija ima danas u svijetu, uzevši u obzir specifični potrošak električne energije po stanovniku?



Dr. GORAN GRANIĆ,
dipl. inž.

GRANIĆ: Potrošnja električne energije u Jugoslaviji, a slične zakonitosti vrijede i u Hrvatskoj, u posljednjih dvadeset godina imala je naznake tipičnog razvoja potrošnje za nerazvijene zemlje. Znači, vrlo intenzivni porast potrošnje, tako da je u tom razdoblju u Jugoslaviji ostvaren porast od 1965. do 1985. godine negdje oko 8%, a nešto niži je bio u Hrvatskoj — oko 7,3%.

Jasno da je to značilo donekle zaostajanje potrošnje u Hrvatskoj u odnosu na Jugoslaviju, tako da je udio potrošnje električne energije Hrvatske u Jugoslaviji od 22,8% u 1965. pao na 19,1% u 1985. godini. Kao što je prof. Požar rekao, potrošnja električne energije rasla je brže nego potrošnja drugih oblika energije, tako da je u razdoblju od 1965. do 1985. godine udio potrošnje električne energije porastao sa 6,8% na 15,6%, znači da se više nego udvostručio. Dalje pitanje je vrlo interesantno. Gdje se troši električna energija? Raspoložem s podacima za Hrvatsku, koji pokazuju da se preko 50% električne energije troši u industriji. Jednu trećinu potrošnje, dakle oko 30 i nešto posto, troši se u domaćinstvima. Kad je riječ o domaćinstvima, onda se tu može uočiti zakonitost konstantnog porasta potrošnje, tako da je udio potrošnje električne energije u domaćinstvima u 1965. iznosio oko 26%, a u 1985. godini taj je udio porastao na 32,2%. Interesantno je znati gdje se troši ta energija u industriji. Glavnina električne energije troši se u industriji takozvanih baznih materijala. To su proizvodnja aluminijska i željeza, industrija kamena i cementa te kemijska industrija. Oni zajedno troše oko 72,8% od potrošnje u industriji. Najmanje se energije troši u industriji trajnih dobara. To su npr. strojar-

ska, elektroindustrija i slično. Najviše je radnika zaposleno baš u toj industriji koja troši najmanji dio energije. Otprilike 4,8% energije koja se troši u ukupnoj industriji otpada na industriju trajnih dobara. To znači da se u ukupnoj potrošnji električne energije u Hrvatskoj svega oko 2,4% troši u toj industriji. Intenzivni rast potrošnje, kao što sam već rekao, doveo je do toga da se razlike u potrošnji po stanovniku u odnosu na zapadne zemlje smanjuju, tako da se u 1965. godini u SR Njemačkoj trošilo gotovo 4 puta više po stanovniku nego u Jugoslaviji, odnosno Hrvatskoj, dok je u 1985. godini potrošnja u SR Njemačkoj bila nešto viša od 2 puta od potrošnje po stanovniku u Jugoslaviji. Međutim, i uz takvu stopu porasta specifična je potrošnja po stanovniku u Jugoslaviji takva da zauzimamo treće mjesto od dna liste zemalja, odnosno četvrto mjesto ako se uzme u obzir i Albanija za koju najčešće nema podataka. Iza nas su Albanija, Portugal i Grčka. Što se tiče Hrvatske, potrošnja je po stanovniku bila veća nego u Jugoslaviji do 1985. godine, kada se izjednačila s prosjekom Jugoslavije. To je rezultat zaostajanja u porastu potrošnje.

Dalje pitanje koje ste postavili odnosi se na problem efikasnije potrošnje energije. Mislim da se o tome danas najviše raspravlja. Istraživanja koja smo proveli u Institutu za elektroprivredu pokazuju da je efikasnost upotrebe energije u nas na razini prosjeka u evropskim zemljama, pa prema tome niti pripadamo krugu posve efikasnih, niti posebno neefikasnih zemalja. Jasno da u cjelokupnom sistemu postoji mogućnost ušteda, ali je pitanje tih ušteda u potrošnji električne energije složen problem i ja bih rekao da on zadire duboko u ukupne ekonomske odnose u nas. Dosad je u svim raspravama koje su provedene na temu racionalizacije zanemarena osnovna karakteristika racionalizacije ili dobrog gospodarenja, a to je ekonomski motiv za racionalniju upotrebu energije. U ovom momentu, ja bih rekao, vrlo je teško naći subjekt koji je zainteresiran da racionalizira svoju energetska potrošnju. Popratit ću to primjerom. Ako u troškovima nekog proizvoda troškovi energije iznose svega npr. 4%, a cijena proizvoda raste za 100%, onda je očito ekonomski motiv da se racionaliziranjem troškova za onih 4% minimalan u odnosu na mogućnost povišenja cijene. Prema tome, efekti racionalizacije rast će kako se ukupni društveno-ekonomski odnosi i ukupni ekonomski odnosi budu kretali k stabilnijem stanju, a to znači stabilnijim cijenama. Tada će svaki proizvođač nalaziti ekonomsko opravdanje da smanji potrošnju energije, pa i ostale troškove proizvodnje. Drugi se oblik racionalizacije odnosi na politiku razvoja, jer se upravo na tom području može najviše promašiti. Praktički to znači da se racionalizacija postiže izborom onih tehnologija koje troše malo energije. To je karakteristika razvojne politike u Zapadnoj Evropi i u ostalim razvojnim zemljama. U planiranju potrošnje energije mislim da svi ovi elementi moraju biti prisutni, ali mora biti prisutna i realnost u procjeni stvarnih mogućnosti. Predviđanje potrošnje, s obzirom na to da je potrošnja posljedica razvoja, moguće je na temelju pretpostavki o razvoju društva, o razvoju industrije, o razvo-

ju standarda itd. Samo kad se uzimaju u obzir svi spomenuti elementi može se korektno predviđati razvoj i u tom i utjecaj racionalnije potrošnje, odnosno dobrog gospodarenja energijom. Prema nekim analizama i istraživanjima koje smo napravili moguće je očekivati, ne znam da li ćemo to iskoristiti, da u nekom dužem razdoblju smanjimo potrošnju energije racionalnijom potrošnjom, efikasnijim iskorištenjem novih tehnologija i dobrim gospodarenjem. To se, međutim, ne može očekivati tako brzo. Ako želimo govoriti o nekim bitnim efektima, onda je to period poslije 2000. godine. Neke naše analize pokazale su da bismo oko 2020. godine mogli imati od 15 do 20% manju potrošnju energije nego kad bi se ta energija trošila na način kako se gospodari danas.

To vrijedi uz pretpostavke da se uspostavi stabilniji način predviđanja i zainteresiranost svakog subjekta za racionalno gospodarenje energijom, te da se stvore mogućnosti za financiranje i ulaganja u nove tehnologije, za razvoj industrije sa suvremenom tehnologijom i manjom potrošnjom energije. Mislim da se, uzimajući sve to u obzir, mora očekivati porast potrošnje električne energije od oko 3,5 do 4,5% uz razvoj društvenog proizvoda kakav je predviđen i u dokumentima, dakle uz porast društvenog proizvoda od 3,5 do 4%.

CVETKOVIĆ: Dobro, družo Požaru, na bazi ovog predviđanja porasta potrošnje električne energije oko 4%, koji nam potencijalni izvori energije stoje na raspolaganju za proizvodnju električne energije koja bi pokrila taj rastući konzum.

POŽAR: Poznato je da je ugljen naš najveći energetski izvor, zatim dolaze vodne snage, pa nafta i plin. Nafta i plin, po mojem mišljenju, za proizvodnju električne energije imaju samo marginalno značenje, i to za proizvodnju u postojećim elektranama kao nužna dopuna kad nema drugih mogućnosti. Najveće su rezerve, kako sam kazao, u ugljenu. Ako bismo iskoristili sav ugljen koji je iskoristiv iz rezerva koje su danas poznate, a mislim da su dovoljno poznate, onda bi se iz svih tih rezerva moglo proizvesti 12 000 milijarda kilovatsati. Vodne snage mogu dati, nakon što su potpuno iskorištene, računajući na eksploataciju u toku pedeset godina, oko 3 tisuće milijardi kilovatsati. Međutim, tu postoje ograničenja. Za neka od njih znamo, a tiču se Soče, Tare, Mure, a mislim, i bojim se, da će se pojaviti i druga ograničenja. Naime, izgrađena su naselja i komunikacije u dolinama rijeka i bit će teško izgraditi one hidroelektrane koje bi inače bile moguće. Vratimo se međutim ugljenu. Od iskoristivih količina ugljena treba otprilike 1/3 rezervirati za druge svrhe (industrija, kućanstvo, proizvodnja plina, karbokemija), pa raspoloživo za električnu energiju, uzimajući u obzir stupanj istraženosti rezerva ugljena, imamo sljedeću situaciju. Računa li se s danas poznatim i verificiranim bilančnim rezervama ugljena, onda bi se moglo proizvesti 5 i po tisuća milijardi kilovatsati. Ako se uzmu u račun i izvanbilančne rezerve, pa kažemo da će kroz određeno vrijeme one postati bilančne, onda je to

6 300 milijarda kilovatsati. Ako još uzmemo u obzir povećane rezerve na Kosovu, koje su u posljednje vrijeme utvrđene, onda bi se došlo do 7 900 milijardi kilovatsati.

Danas se vrlo često i mnogo govori, i to s mnogo, ja bih kazao, entuzijazma, o nekonvencionalnim oblicima energije. Čuli smo često i na televiziji i drugdje da su male hidroelektrane budućnost, da to treba forsirati. Sigurno je, međutim, da su te male hidroelektrane skupe. Mala su postrojenja po jedinici snage uvijek skuplja nego velika. Navest ću jedan primjer: prošle je godine izgrađena jedna mala hidroelektrana, iskorištavajući zahvat vode napuštenog mlina, snage 120 kilovata, znači vrlo mala, a proizvodna cijena energije iz te hidroelektrane iznosi 5 000 starih dinara po kilovatsatu (po cijenama u 1985. godini). Nema velike šanse da ćemo s malim hidroelektranama bitno promijeniti situaciju pa i kad bismo uložili velika sredstva.

Drugi je izvor geotermička energija. Ona se može upotrijebiti za grijanje, ali za proizvodnju električne energije ta geotermička energija ne dolazi u obzir. Potrebno bi bilo, naime, imati temperaturu od barem 130°C, a takvih izvora praktički nema u Jugoslaviji.

Treći je energetski izvor onaj o kome se danas mnogo i često govori. To je energija sunčeva zračenja. To je ogromna energija. Godišnje dopire do površine Zemlje milijardu milijarda kilovatsati. To je 15 puta više nego energija svih rezerva ugljena u svijetu, ili 12 000 puta više nego što se danas godišnje troši na ovom planetu. Ta energija, međutim, ima svoje mane i svoje nedostatke. To su promjenljivost intenzivnosti zračenja, mala gustoća energije i visoka cijena. U nas, u našim prilikama, potencijalna insolacija ljeti prosječno traje oko 15 i pol sati, a zimi oko 8 i pol sati. To vrijedi kada bi uvijek bilo vedro. Međutim, postoje i oblačni dani, postoje i oblaci s maglom, pa u Zagrebu zimi insolacija traje u prosjeku oko 1 i pol sat dnevno, a u Splitu oko 5 sati, u Zagrebu ljeti oko 8 sati, u Splitu oko 10 i pol sati. Stvarna godišnja insolacija iznosi u Zagrebu oko 1 800 sati, a u Splitu 2 500 sati, a godina ima 8 760 sati. Ne treba ni spominjati da je proizvodnja električne energije moguća samo onda kad postoji insolacija. Prema tome solarne bi elektrane u Zagrebu radile godišnje oko 20%, a u Splitu oko 29% vremena. Međutim, postoji i druga mana, a to je cijena te energije. Kaže se da je ta energija besplatna. Jest besplatna kad je sagrađeno postrojenje, ali da se sagradi postrojenje, treba uložiti sredstva. Da bi ostvarili jednaku proizvodnju iz solarne elektrane kao iz konvencionalne termoelektrane ili iz nuklearne elektrane, trebalo bi da solarne elektrane ima 6 puta veću snagu zbog toga što radi kad ima sunca i ne radi kad sunca nema. Ako se pretpostavi da su investicije po kilovatu solarne elektrane samo dva puta veće nego u konvencionalnoj termoelektrani, a danas je to mnogo, mnogo puta više, stalni troškovi po kilovatsatu u solarnoj elektrani bili bi 12 puta veći nego u konvencionalnoj termoelektrani, jer je potrebna 6 puta veća snaga. Ako se računa da u konvencionalnoj termoelektrani polovicu

troškova predstavljaju troškovi goriva, onda je u solarnoj elektrani energija 6 puta skuplja. U stvari, kada bi se računalo s današnjim cijenama, recimo s cijenama u neposrednoj budućnosti, to bi bilo desetak i petnaest puta više. Međutim, ta je energija iz drugog razloga još mnogo skuplja. Naime, izgradnjom solarne elektrane ne smanjuje se potreba izgradnje ostalih tipova elektrana, jer solarna elektrana ne može raditi onda kada je potrošnja najveća, a prema toj se najvećoj potrošnji određuje potrebna gradnja elektrana. Prema tome, moralo bi se investirati u ostale elektrane, bez obzira na to da li u sistemu postoji ili ne postoji solarna elektrana. To indirektno dalje poskupljuje energiju sunčeva zračenja. U današnjim prilikama, solarna energija ima smisla samo za grijanje vode, i to u prvom redu u područjima u kojima je ljeti potrošnja tople vode velika. To su hoteli i kampovi na obali. Ali i onda treba imati poseban dodatni uređaj da se zagrije voda u onom razdoblju kad nema insolacije. Danas su i oni najveći entuzijasti koji propagiraju solarnu energiju odustali od grijanja prostorija solarnom energijom.

Sljedeća je vrsta energije energija vjetra. Mana je nepredvidivost, mala gustoća energije i vrlo brze promjene snage. Na primjer, kada bismo htjeli vjetrenjačama koje bi bile locirane na području Dubrovnika, gdje nisu loše prilike za vjetar, zamijeniti konvencionalnu elektranu snage 300 megavata, koja može proizvesti milijardu i trista milijuna kilovatsati godišnje, za toliku proizvodnju na tom području trebalo bi sagraditi oko 700 vjetrenjača promjera 100 metara na stupovima visokim najmanje 90 metara. Koliko bi to stajalo, teško je ovog časa reći. Te vjetrenjače bi radile trećinu godine, a dvije trećine godine bi stajale jer je potrebna određena brzina vjetra da vjetrenjača uopće može raditi. Snaga tih vjetrenjača morala bi biti za jednaku proizvodnju 7 puta veća nego snaga konvencionalne termoelektrane. Osim toga, ona bi radila s vrlo promjenljivom snagom. Jer kad se udvostruči brzina vjetra, onda 8 puta poraste snaga vjetrenjače. Vrlo je teško zamisliti kako bi to funkcioniralo u elektroenergetskom sistemu i kako bi druge elektrane mogle pratiti te brze promjene opterećenja.

O energiji plime i oseke mislim da ne treba diskutirati jer ne dolazi u obzir u nas. Amplitude su na Jadranu vrlo malene.

Što se tiče morskih valova, radi se o malim ili ja bih kazao mikrosnagama, tako da tu nema nikakvih mogućnosti.

Budućnost je nuklearna fuzija, ali kad će to biti ostvareno, to nitko danas ne zna. Kad se i ostvari u laboratoriju, bit će potrebno još dugo vremena da se tehnološki razvije do komercijalne upotrebe. Radi se o vrlo kompliciranim postrojenjima a osim toga, po mojoj procjeni, ta energija neće biti jeftina.

CVETKOVIĆ: Dobro, recite nam na bazi ovih razlaganja, na bazi onoga što smo čuli od kolege Granića, koje su praktične varijante, koji su praktični scenariji pokrića tog rastućeg konzuma u Jugoslaviji?

POŽAR: Uvijek je osnovni problem razvoj potrošnje električne energije, jer je sve ostalo koliko-toliko poznato. Možemo se sporiti da li ima 15% više ili 15% manje rezerva ugljena, može li se iskoristiti 60 milijarda u hidroelektranama ili 55 ili 50, ali sve to praktički nema reperkusija na konačni zaključak. Međutim, osnovni je problem, kako je spomenuto, prognoza razvoja konzuma. Sigurno je da ćemo u budućnosti imati manji porast potrošnje električne energije nego što smo imali u prošlosti. To pokazuje i iskustvo svih zemalja: s daljnjim razvojem, povećanjem standarda i povećanjem društvenog proizvoda godišnji porast potrošnje postepeno opada. Pokušao sam napraviti analizu dugoročnog razvoja uz pretpostavku da se postepeno smanjuje stopa porasta potrošnje električne energije. Pošao sam od porasta od 5,1 posto u 1986. (Zajednica jugoslavenske elektroprivrede računa da će to biti 6,6%), s tim da se taj porast postepeno smanjuje, i to u tri varijante. U 2000. godini u višoj varijanti bismo imali 4,7%, u srednjoj varijanti 3,9% a u nižoj 3,2% dok bismo u 2020. imali 4,3, 3,5, odnosno 2,8. U usporedbi s ostvarenjima u drugim zemljama viša varijanta bi odgovarala porastu društvenog proizvoda nešto manje od 4% godišnje, srednja varijanta oko 3,2% godišnje, a niža varijanta 2,5% pa i manje od toga. Ako računamo konzum po stanovniku, onda predviđanja za 2000. godinu odgovaraju ostvarenju u Finskoj u godinama 1971. i 1973, ovisno o varijanti razvoja našeg konzuma, a ono što je predviđeno u 2020. ostvareno je u Finskoj 1979. i 1985. Prema tome, za Finskom, iako to ne mora biti neki mjerodavni kriterij, zaostajemo za jedno 25, odnosno 35 godina. U toj je analizi predviđeno da se intenzivno grade hidroelektrane, i to do 2000. godine, kad bi hidroelektrane proizvodile 45 milijarda kilovatsati godišnje, što je 20 milijarda kilovatsati više nego danas. Mi smo, međutim, trebali 40 godina da izgradimo 25 milijarda, a trebali bismo sada u 15 godina izgraditi još 20 milijarda! U 2010. godini to bi iznosilo 55 milijarda, a u 2020. bismo izgradili praktički sve hidroelektrane, i to s proizvodnjom od oko 60 milijarde kilovatsati. Ostatak bi trebale zadovoljiti postojeće termoelektrane do kraja njihova životnog vijeka kako one na ugljen, tako one na loživo ulje i nuklearna elektrana Krško, a ostalo bi trebalo osigurati izgradnjom novih termoelektrana. I to sve na bazi ugljena. Na osnovi toga dolazi se, tako sam to nazvao, do dometa rezerva ugljena ili do dometa ugljena. Domet ugljena znači posljednju godinu u kojoj se može izgraditi posljednja termoelektrana na ugljen s tim, dakako, da se rezervira potreban ugljen do kraja životnog vijeka svih termoelektrana. Računa se da životni vijek termoelektrana traje 30 godina. Prema tome, ona koja je izgrađena u posljednjoj godini, ona bi još trebala raditi 29 godina i za to treba osigurati ugljen. Ona koja je izgrađena godinu dana ranije 28 itd. Ako se uzmu u obzir samo rezerve ugljena bez drugih ograničenja, o tim ću ograničenjima još nešto reći, onda domet između 2012. i 2019. godine, ovisno o varijanti konzuma, dakako za veći konzum 2012, a za onaj niži 2019. godine. Ako uzmemo bilančne i izvanbilančne rezerve, onda je domet između 2014. i

2022. godine, a uz povećane rezerve na Kosovu između 2020. i 2030. godine. To vrijedi uz pretpostavku da se rudnici de facto raubuju, da se dimenzioniraju prema potrebama, a ne prema određenim ekonomskim zakonitostima. Ako se, naime, računa da postrojenje u rudnicima treba eksploatirati 40 godina da bi se otplatilo, to ograničuje kapacitet rudnika. Ako to uzmemo u obzir, onda su dometi sljedeći: bilančne rezerve između 2007. i 2012, bilančne i izvanbilančne između 2016. i 2024. godine. Ovdje treba naglasiti da u te računice nisu uključena ograničenja u eksploataciji velikih nalazišta ugljena na Kosovu i Metohiji. Prema studiji Rudarskog instituta u Beogradu, za optimalnu eksploataciju rezerva lignita u Kosovskom bazenu potrebno je oko 150 godina, a za optimalnu eksploataciju nalazišta lignita u Metohijskom bazenu oko 70 godina. To, dakako, još više skraćuje domet rezerva ugljena.

Međutim, tu nisu ukalkulirana ekološka ograničenja koja se pojavljuju. Na žalost, većina naših rezerva ugljena koncentrirana je na nekoliko područja. I to najviše na Kosovu. Na Kosovu se nalazi 50 do 60% svih rezerva našeg ugljena. Naravno, radi se o ugljenu koji je vrlo loše kvalitete i koji se ne može racionalno iskorištavati drugdje, nego samo u neposrednoj blizini rudnika. Ako pretpostavimo da je maksimalna snaga termoelektrana koja se može izgraditi na Kosovu 10 000 MW, to je manje, bitno manje nego što bi odgovaralo rezervama ugljena, ali to otprilike odgovara spomenutoj optimalnoj dinamici eksploatacije. Za toliku snagu potrebno je spaliti godišnje 80 milijuna tona ugljena koji sadrži 12 milijuna tona pepela. Ako samo 1% pepela, što nije jednostavno ostvariti, pobjegne kroz dimnjak, onda se u okoliš godišnje emitira 120 000 tona pepela. Kakav bi to utjecaj imalo na okoliš, teško je reći. Osim toga, i snaga od 10 000 MW možda je prevelika ako se uzme u obzir da neki smatraju da udaljenost dviju termoelektrana snage tri tisuće megavata treba da bude najmanje 150 kilometara. Prema tome, ako računamo sa 10 000 MW na Kosovu kao gornjom granicom, onda bi rezerve ugljena trajale dulje nego što je bilo rečeno. Posljednja termoelektrana koja se može izgraditi, kad se uzmu u obzir samo bilančne rezerve, gradi se u 2003. odnosno 2009. godini, a ako se uzmu povećane rezerve, onda je to 2006. odnosno 2014. godina. Novi konzum koji se pojavljuje trebalo bi pokrivati nekim novim energetske izvorom, a to nisu vodne snage jer su sve iskorištene, a ni ugljen, jer za to nema više mogućnosti.

Poseban je problem da se veće rezerve ugljena nalaze u Bosni i Hercegovini, u Srbiji bez pokrajina i na Kosovu. Rezerve u drugim područjima već su praktički angažirane ili se ne radi o većim količinama. Po mojim računicama, mislim da se s tim slažu i drugovi u Bosni i Srbiji bez pokrajina, s rezervama za koje se danas zna, a zna se dosta, mogu se koliko-toliko zadovoljiti potrebe tih dvaju područja, tj. Bosne i Hercegovine i Srbije bez pokrajina, pa nema, dugoročno promatrano, mogućnosti da se dio ugljena stavi na raspolaganje drugim područjima. Jedino Kosovo ima rezerve koje su veće od dugoročnih potreba i koje se

mogu upotrijebiti za druga područja Jugoslavije. Međutim, i tu postoje ograničenja, ja sam upozorio na ekološka, postoje ograničenja zbog vode za hlađenje, ali i ograničenja u nekim razmišljanjima.

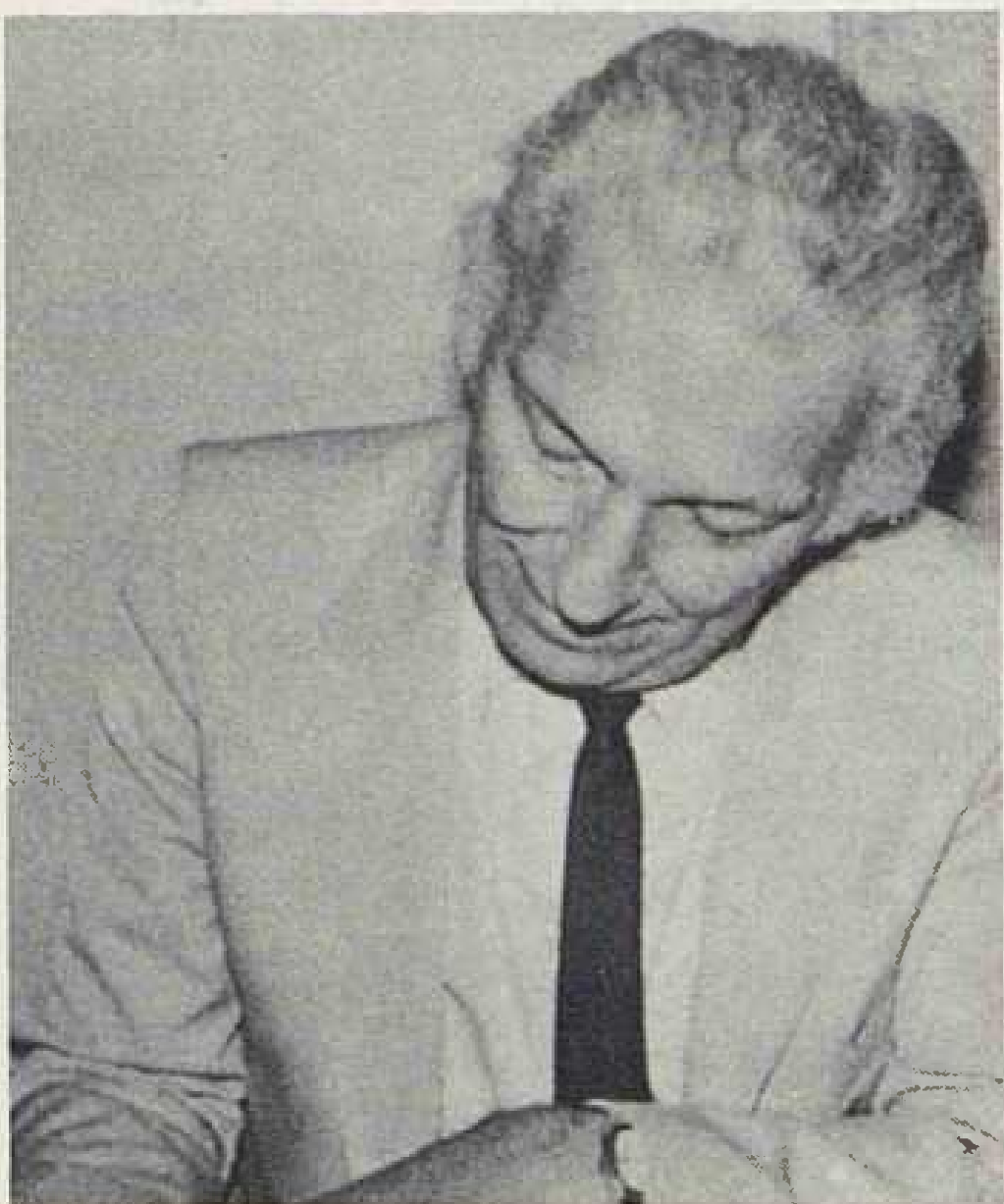
CVETKOVIĆ: Druže Graniću, bilo bi interesantno čuti koji su specifični troškovi izgradnje raznih tipova elektrana pa i specifični troškovi proizvedenog kilovatsata? Može to biti u relativnim brojevima ili dolarima, s obzirom na inflaciju, jer je jako teško navoditi brojke koje već sutra neće vrijediti, a vrijedile su jučer.

GRANIĆ: Jednostavnije je te podatke dati u dolarima po kilovatu, jer se tako na neki način zadržava stalnost tih brojki, iako protuvrijednost stalno raste. Tada se ne mora navoditi datum, što je u nas bitno kad se govori o cijenama u dinarima. Pokušao sam podatke što više približiti realnim podacima, pa sam analizirao specifične investicije za sedam hidroelektrana koje će se u narednom razdoblju graditi na području SR Hrvatske. Prosječne specifične investicije za te hidroelektrane iznose oko 1 500 \$/kW. Proizvodna cijena iznosila bi oko 20 dinara/kWh.

Specifični troškovi izgradnje malih hidroelektrana su najmanje dva puta veći nego za srednje ili veće hidroelektrane, što daje i znatno veću cijenu kilovatsata, koja iznosi 30 do 40 dinara po kilovatsatu. Za termoelektrane bi se, vjerojatno, od objekta do objekta te cijene razlikovale. Međutim, mislim da se u sadašnjem trenutku u Jugoslaviji može govoriti da nema termoelektrane (ako se govori samo o termoelektrani) ispod tisuću dolara po kilovatu. Na to treba nadodati troškove ulaganja u rudnik, budući da će se svi novi rudnici otvarati namjenski za potrebe određenih termoelektrana, što iznosi u prosjeku oko 550 dolara po kilovatu. Ukupna specifična cijena termoelektrane s rudnikom iznosila bi oko 1 550 \$ kW. Na to bi se mogli dodati još troškovi vezani za odsumporavanje, koji bi mogli iznositi 20% pa i više od osnovne cijene, što ovisi o količinama sumpora u ugljenu. Zatim bi, ako se radi o izgradnji elektrana za potrebe republike Hrvatske, a grade se na drugim područjima, trebalo uzeti u obzir troškove prijenosa energije, gubitka koji nastaju prilikom prijenosa itd. Uzimajući osnovnu cijenu bez dodatnih troškova prijenosa ili troškova gubitaka energije, cijena kilovatsata iz tih elektrana iznosila bi od 21 do 24 dinara. Za nuklearne je elektrane u ovom trenutku vrlo teško naći koja je to cijena nuklearne elektrane, jer je postupak evaluacije u toku i kad se završi moći će se govoriti o konkretnim podacima. Mogu navesti onaj očekivani podatak, a to je da se očekuje da će cijena kilovata u nuklearnoj iznositi oko 1 650 dolara po kW, što daje cijenu oko 24 dinara po kilovatsatu. Iz toga se može vidjeti da su troškovi u termoelektranama i nuklearnim elektranama, za ovakve odnose cijena, otprilike približno jednaki i da se od lokacije do lokacije mogu razlikovati, što u postupku izbora elektrana može dati prednost jednom ili drugom tipu elektrane. Najpovoljnije su hidroelektrane, i to ne sve. Jedan je dio

hidroelektrana znatno povoljniji od ostalih pa je u planovima razvoja prednost dana hidroelektranama.

CVETKOVIĆ: Druže Roksandiću, jugoslavenski energetska sistem predstavlja tehnološku cjelinu, ali ne i ekonomsku cjelinu. Kakvi se ekonomski odnosi u tome sistemu, kakvi su uvjeti izgradnje elektrane izvan republike, znači na području druge republike ili pokrajine?



VOJISLAV ROKSANDIĆ, dipl. inž., predsjednik Poslovnog odbora ZEOH-a

ROKSANDIĆ: Pa ne bih baš rekao da je elektroprivreda Jugoslavije jedinstven tehnološki sistem. Bar ne onakav kakav bi trebao da bude, jer upravo manjka pretpostavka ekonomske integracije. Naime, da bi jedan tehnološki sistem mogao funkcionirati, neke ekonomske pretpostavke zajedništva treba da budu ostvarene. To još nije slučaj. Naši odnosi u ekonomskom smislu predstavljaju više-manje kupoprodaju energije. Ta pitanja, iako veoma važna i dobro riješena u ovom trenutku, ubuduće nas ne mogu zadovoljiti. Mi bismo i danas mogli iz postojećih kapaciteta u Jugoslaviji dobiti više nego što dobivamo kada bismo bili bolje integrirani. Međutim, za to je opet potrebna pretpostavka da imamo jedinstven princip razvoja kao ključ korištenja svih naših potencijala, sadašnjih i budućih. Vidite, poznato je da naša republika nema više prirodnih resursa u onoj mjeri u kojoj bi trebalo da gradi svoje izvore električne energije. Zato je naša republika najviše zainteresirana upravo za zajedničku izgradnju, znači za zajednički razvoj. To je i jasno ako se zna da mi u ovom srednjoročnom razdoblju planiramo u drugim republikama izgraditi kapaciteta (osim objekata kontinuiteta koje radimo u republici) još za oko 700 megavata. Podsjetimo se, NE Krško je negdje 630 megavata. U idućem srednjoročnom razdoblju mi bismo morali završiti naše objekte kontinuiteta, i početi graditi još nekih 600 megavata novih izvora, sve to uz uvjet da se realizira nuklearna elektrana Prevlaka. Ako se ne bi realizirala NE Prevlaka, onda se problem dalje zaoštrava. To znači da nisu istinite česte tvrdnje da mi forsiramo gradnju nuklearne elektrane ili nuklearnih elektrana a da imamo na raspolaganju mogućnosti koje su jeftinije, svrsishodnije. Mi smatramo da je upravo potrebno da svoje domaće resurse koristimo do maksimuma, ali smatramo da to neće biti

dovoljno, nego da će se morati, a to iz prethodnih izlaganja jasno proizlazi, graditi nuklearne elektrane.

U svakom slučaju, u ovom trenutku mi moramo to pitanje zajedništva, zajedničkog rada svakako ozbiljno razmotriti i riješiti. Elektroprivreda Jugoslavije za svoj razvoj neće moći dobiti sredstva predviđena planom od privrede u planiranom iznosu pa će biti potrebno ili da se pomirimo s činjenicom da ćemo imati manjak električne energije, što bi bilo katastrofalno, ili da racionalno biramo kapacitete koje ćemo graditi na jednom prostoru, jugoslavenskom prostoru, tj. da gradimo tamo gdje je najracionalnije, dakle s najmanje sredstava, da gradimo po nekom redu prioriteta i u taj red prioriteta da stavimo i nuklearni program. Nuklearni program mora izdržati isti ispit, pored sigurnosti što naročito naglašavam, ali i isti ispit prioriteta u odnosu na cijenu instaliranog kilovata i cijene kilovatsata, dakle energije, i da na toj zajedničkoj jugoslavenskoj listi, koja se mora hitno učiniti, da dobije svoje mjesto. Nije bitno da li ćemo nuklearne elektrane graditi prije ili kasnije, bitno je da mi imamo takvu atmosferu u Jugoslaviji i takvu odlučnost da istrajemo upravo na tom rangiranju, znači spoznaji što imamo i potrebi da to najracionalije zajednički koristimo. Eto vidite, danas se elektroprivreda Jugoslavije nalazi pred krupnim problemom upravo na tom području — kako graditi te zajedničke kapacitete? Ponavljam, mi u Hrvatskoj imamo najveći problem, možda 80% problema izgradnje zajedničkih kapaciteta u Jugoslaviji. Od 700 megavata, koliko nedostaje, mi smo do sada za ovo srednjoročno razdoblje u načelu utvrdili samo mogućnost izgradnje 150 megavata u Tuzli B i 100 megavata u Gackom, a za 450 ne znamo još gdje ćemo. Nadamo se na Kosovu nekim prolaznim solucijama, a za onih 600 megavata koji slijede treba rješenje tek naći.

Dakle, mi smatramo da kao prvo moramo imati zajednički pristup, bez obzira na to gdje se resursi nalaze, da se ti resursi zajednički koriste, naravno uz poštovanje činjenice da resursi pripadaju republici ili pokrajini gdje se nalaze. Ta područja moraju imati određenu korist od toga, svoj dohodak od toga. Elektroprivreda, bez obzira na to iz koje republike ili pokrajine, mora to da plati, svejedno da li domicilna ili strana, no mi smatramo da bismo to zajednički najbolje koristili. U ovom trenutku se bitno razlikujemo u pristupima tom zajedništvu. Dok republike i pokrajina Kosovo, koje imaju resurse o kojima smo upravo čuli, idu jednim pristupom, mi koji nemamo resursa imamo drugi pristup i to veoma kolidira. Razlika je prije svega u tretmanu amortizacije, odnosno bolje reći, jednostavnim riječnikom, mi smo za to da ulažemo trajno. Ako na primjer ulažemo u izgradnju 200 megavata, mi plaćamo sve do dinara — i resurs i postrojenje, ali smatramo da bi bilo potrebno u elektroprivredi prihvatiti politiku realne amortizacije kako ne bi pojeli svoju supstancu za 20 ili 25 godina.

To znači, kad smo jednom uložili u 200 megavata, onda ih kroz proizvodnju energije stalno možemo reproducirati. U našem slučaju, smatramo da treba da platimo cijenu s punom amortizacijom, pa poslije vijeka trajanja nemamo više objekt, ali imamo amorti-

zaciju koja se ulaže ili u taj isti objekt za njegovu revitalizaciju, odnosno produženje trajanja korištenja, ili u neki drugi, zamjenski kapacitet. Kod elektroprivreda koje imaju resurse smatra se da poslije vjeka trajanja objekta nemamo nikakvih prava na objekt ili amortizaciju i da trebamo ponovno ulagati, i to ili iz novostvorenog dohotka, koji bi mi kao potrošač sami platili, ili iz potpuno novih sredstava. Naravno da je takav stav za našu republiku, i sve republike koje nemaju resursa, neprihvatljiv, jer to bi značilo da bismo dvaput plaćali isti kapacitet, ili, što je još »ljepše«, da bismo svakih 20 ili 25 godina ostajali bez kapaciteta u koje smo uložili velika sredstva. Dakle, mi se zalažemo da dijelimo sve što treba s elektroprivredama s kojima gradimo zajedničke kapacitete, da ih zajednički koristimo dok to bude moguće i potrebno, i da zajedno o tome odlučujemo. Prema tome, mislim da je sada važno da se što brže, a mislim da su neka rješenja na putu, da te naše dijametralno suprotne pozicije približimo, a možemo ih približiti samo uz uvjete o kojima sam govorio — da prostor Jugoslavije tretiramo slobodnim jedinstvenim prostorom za korištenje svih resursa i da se shodno mogućnostima, bolje reći dobroti ovih resursa ili kvaliteti, oni zajednički koriste. U tom slučaju moguće je dobiti i veći stupanj zajedništva.

CVETKOVIĆ: Dobro, rekli ste, položaj Hrvatske je specifičan s obzirom na njeno poznato siromaštvo energetske izvora. Vidimo da kasnimo već u ovom petogodištu s izgradnjom termoelektrana u drugim područjima, a da za sljedeće petogodište još stvari nisu ni u principu riješene. Postavlja se pitanje kako vidimo tu energetske, neposrednu energetske budućnost recimo nakon 1990. godine u Hrvatskoj?

ROKSANDIĆ: Pa već sam rekao da je situacija u energetskom smislu u Jugoslaviji neobično teška, u Hrvatskoj kudikamo najteža. Mi uostalom nismo još zatvorili naš srednjoročni plan, a prema tome ni srednjoročni plan Jugoslavije. Razlog što plan elektroenergetskog razvoja nije zatvoren do danas upravo je u tome što nismo pronašli mogućnost izgradnje kapaciteta od 450 megavata izvan SR Hrvatske.

Vjerojatno ćemo naći neku mogućnost rješenja, ali moramo znati da ćemo istovremeno koristiti naše kapacitete u proizvodnji električne energije iz termoelektrana na tekuće gorivo, jer drukčije nećemo moći zatvoriti bilancu. Vidite, danas se smatra da smo mi nekako skloni forsiranju takve proizvodnje, ali činjenica je obrnuta — proizvodimo električnu energiju u tim objektima tek onda kad nemamo nikakvu drugu mogućnost dobave dopunske energije iz drugih republika ili inozemstva. Mi smo u ovoj godini kupili ogromne količine električne energije izvan bilančnih količina, to namjeravamo i dalje, ali čuli smo iz prethodnih izlaganja da će razvoj konzuma biti svuda značajan, da će potrošnja rasti, pa ćemo prema tome tih slobodnih količina imati sve manje i manje.

Prema tome, mi imamo velik problem i očito ne možemo dugo čekati rasprave o tome kako riješiti razvoj energetske kompleksa u Jugoslaviji. Ne tražimo da ga netko za nas riješi, već da ga zajednički riješimo. Od danas nadalje više ne možemo ni kilovatsata električne energije kupiti negdje u Jugoslaviji sve tamo do proljetnih voda i kiša jer jednostavno ne postoje ti slobodni kapaciteti. Moramo, znači, sve više i više električnu energiju proizvoditi u termoelektinama na mazut, ako nećemo učiniti sistem sasvim nesigurnim pa isprazniti akumulacije vode koje su dragocjene i za našu republiku i za Jugoslaviju, kao jedna velika sigurnost u sistemu. Ali usprkos tome što mi tražimo za taj dio mazuta — dakle samo za taj dio za koji se u energetskoj bilanci Jugoslavije nije našlo drugog prostora, nego se mora proizvesti iz termoelektrana na mazut — odgovarajuću cijenu, ta cijena mazuta je neadekvatno visoka. Danas je cijena mazuta negdje 50–60 dolara u svijetu i tako ga plaćaju elektrane u Evropi, a mi još uvijek 150 dolara. I to je jedan generator gubitaka koji nas čini slabijim, neadekvatnim i za normalno poslovanje i za razvoj.

CVETKOVIĆ: Druže Pravdiću, da zaokružimo — čuli smo razne mogućnosti izgradnje hidroelektrana, termoelektrana, nuklearnih elektrana. Sad bi bilo interesantno čuti kakve su ekološke posljedice izgradnje tih elektrana. O nuklearnim elektranama smo dosta informirani, a neki put čak, rekao bih, i dezinformirani. Čuli smo da ima nekih rješenja gdje hidroelektrana daje pozitivne rezultate npr. za poljoprivredu. Međutim, čuli smo i drugu stranu medalje. Kakve su posljedice izgradnje tih objekata?

Dr. VELIMIR PRAVDIĆ, dipl. inž.



PRAVDIĆ: Svaka djelatnost u životnom prostoru zahtijeva neku ekološku cijenu. Proizvodnja energije, na bilo koji način, zahtijeva vrlo visoku cijenu, i to je nezaobilazna istina.

O nuklearnim elektranama mnogo se raspravljalo i mnogo toga je poznato i već rečeno. Čak i ako izostavimo raspravu o udesima poput ovoga u Černobilu, redovni pogon nameće ključni problem dugoročnog odlaganja istrošenog nuklearnog goriva, fizijskih proizvoda i istrošene ili neupotrebljive opreme.

Ugljen, koji se nameće kao energetske izvor u velikim zalihama i kojemu pripisujemo veliku ulogu u skoroj

budućnosti, nosi sa sobom problem zagađivanja zraka zbog sumpora i prašine. Uklanjanje sumpor-dioksida i prašine iz dimnih plinova još uvijek znači njihovo odlaganje u neki drugi medij, vodu. Rješavajući problem zagađivanja zraka, stvaramo problem zagađivanja vode. Podsjetimo se rasprava oko termoelektrane Plomin. Te su izazvale buru emocija. Identičan problem oko postrojenja u Ugljeviku, u SR Bosni i Hercegovini, prošao je bez mnogo rasprave. Ostao je dojam da tamo problemi ne postoje i da je to tip idealnog rješenja.

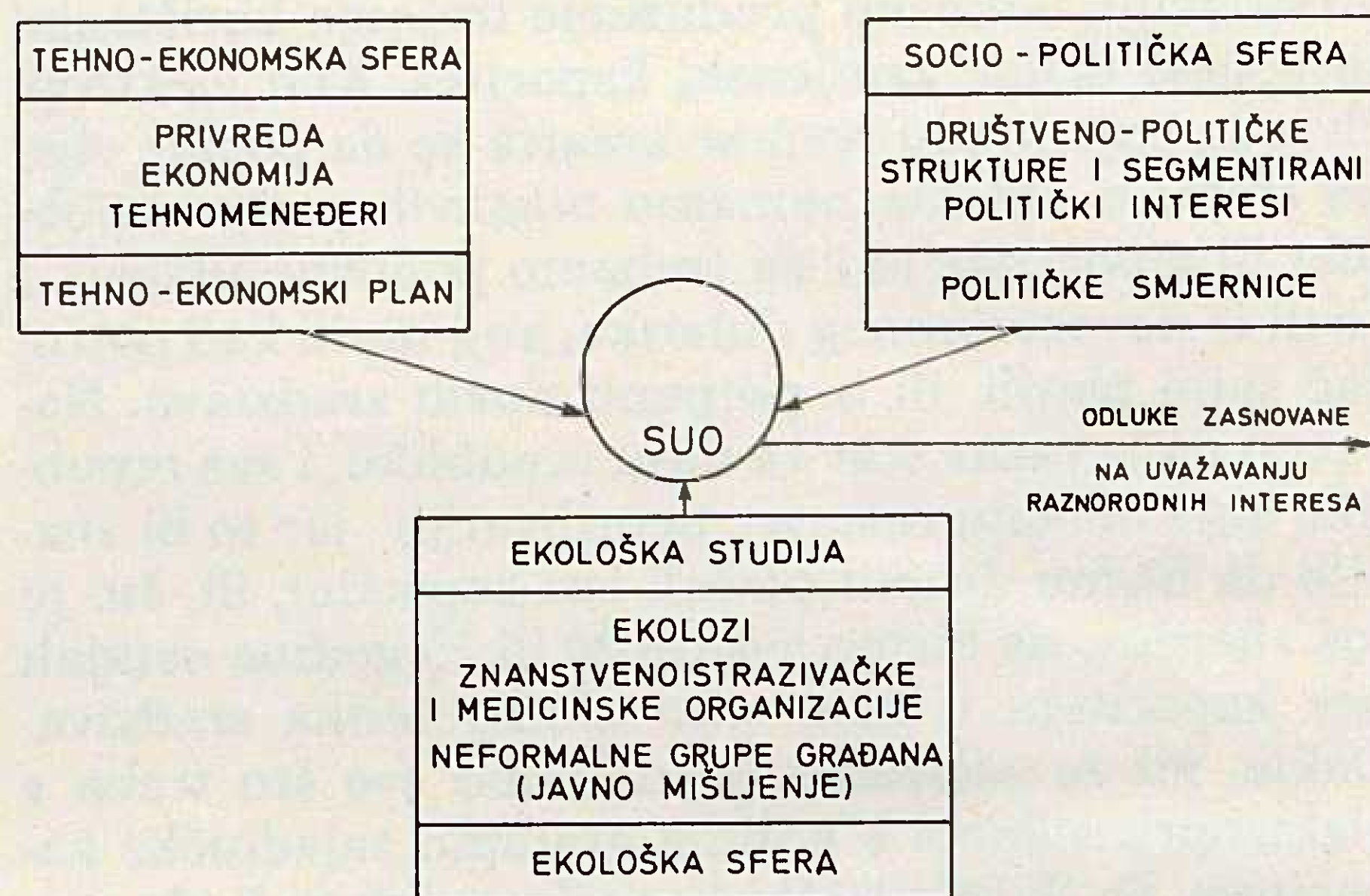
Hidroelektrane su ušle u našu svijest i u obrazovni sustav kao sušta blagodat. Malo se kada spominje da izgradnja brana mijenja režim toka i nadzemnih i podzemnih voda i nosi kao posljedicu problem vodoopskrbe naselja. Brane utječu na promjene u ekosustavu, na floru i faunu, a te su promjene malokad pozitivne.

Primjerice, kada smo se odlučili da se na otoku Viru ne gradi elektrana, ni nuklearna ni ona na ugljen, zaboravili smo da time nismo riješili potrebu za električnom energijom i da smo se na taj način prešutno odlučili na iskorištavanje voda rijeke Krke, gdje se ukupna snaga procjenjuje na oko 300 MW. Ekosustav Nacionalnog parka Krke time će biti, najvjerojatnije, potpuno uništen.

Eto, tim primjerima opisali smo tu »ekološku cijenu«. Međutim, bilo bi suprotno racionalnom pristupu promatrati ekološke probleme odvojeno od cjeline. Sustavni, cjelovit, planski pristup razvojnim projektima zasniva se na Studijama o utjecaju na okolinu (SUO). Sljedeća dva dijagrama opisuju načelno taj pristup. Prvi od njih pokazuje tri segmentirana društvena interesa, tehno-ekonomski, socio-politički, te ekološki. Svaki od njih ima svoju logiku pristupa razvojnom planiranju. Prvi teži maksimalizaciji dohotka (profita), drugi usklađivanju društvene i socijalne sigurnosti, treći zaštiti čovjekova okoliša. Vrlo često ta se težnja izražava u svom isključivom, ekstremnom obliku zalaganjem za neostvarive ekološke ideale, zapravo iluzije.

Prevladavanje sukoba između tih triju sfera u području planiranja tehnološkog razvoja moguće je planiranjem koje se zasniva na SUO, kako to shematski prikazuje sljedeći dijagram. Zahtjevi svakog segmenta društva razmatraju se ravnopravno i teži se opti-

RAZRJEŠAVANJE SUKOBA U PLANIRANJU RAZVOJA



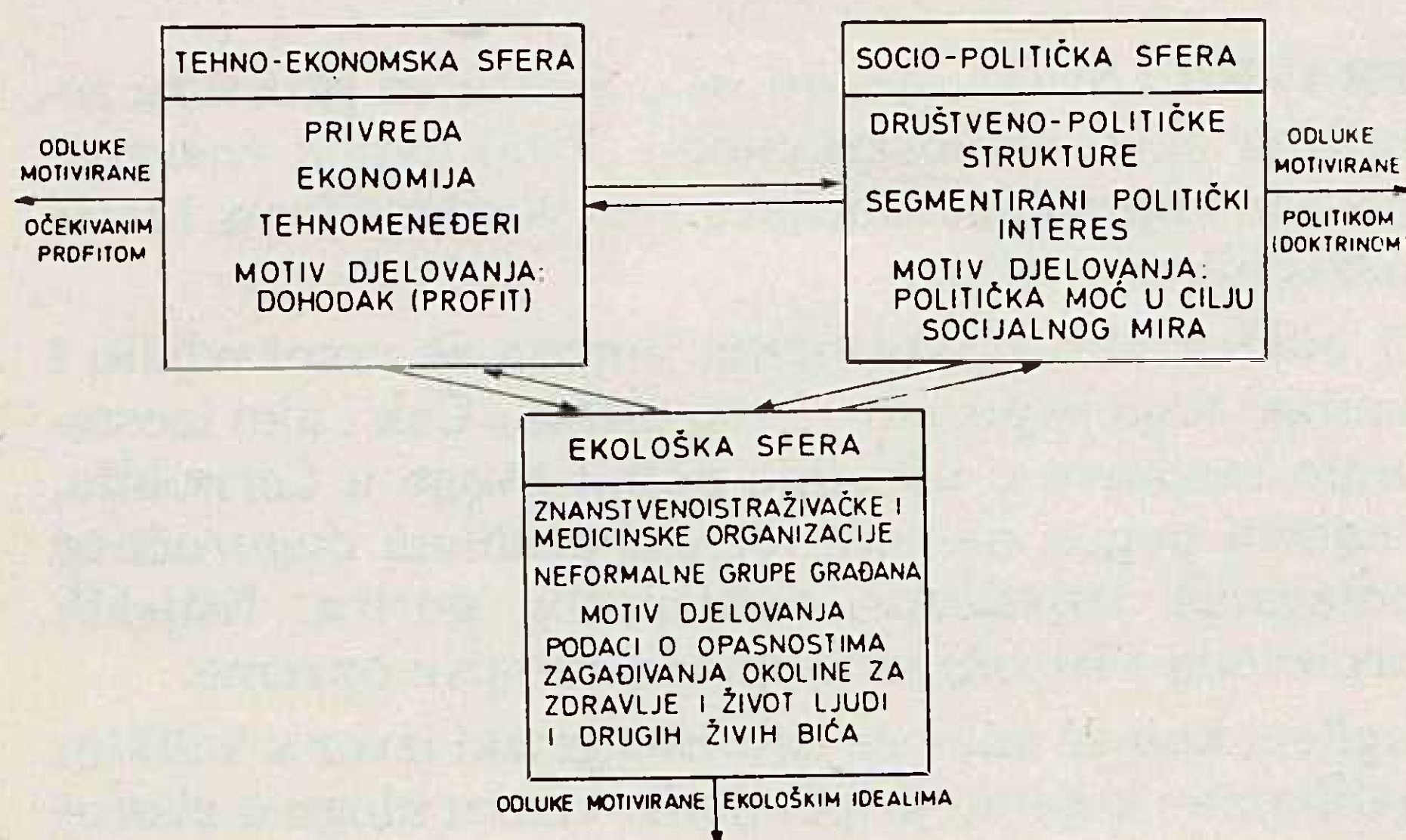
mizaciji razrješavanja sukoba. SUO prema tome nije nipošto isključivi program zaštite okoline, već sustavni planski dokument cjelokupnog razvoja. Taj pristup treba primjenjivati u svim razvojnim projektima, a naročito u planiranju i razmatranju strategije iskorištavanja energetske izvora.

Jedan od primjera nedorečenosti našeg sustava planiranja jest proizvodnja aluminija. U cijeni aluminijskog ingota, prema posljednjim podacima, udio električne energije viši je od 40%. Promašaji u ovoj grani su poznati. Napomenimo samo jedan aspekt: izvozom ingota aluminija proizveli smo u našoj zemlji praktički sve, u ovom slučaju izuzetno veliko zagađenje vode i zraka vezano uz izluživanje glinice i njezinu elektrolizu, te utrošili 90% energije za nekih 30% ukupne zarade. Onaj tko kupi aluminijski ingot i proizvede finalne proizvode, utrošit će samo još desetak posto ukupno potrebne energije i ostvariti 70% zarade.

To je tek mala ilustracija koja pokazuje kako razvoj energetike treba planirati u kompleksu programiranog razvoja energetske intenzivnih industrijskih grana.

CVETKOVIĆ: Mislim da se naše vrijeme bliži kraju, pa ću pokušati sumirati što je rečeno. Mislim da smo teme nekako zaokružili i da bi se sažetak diskusije mogao usmjeriti na pitanje: što da se radi? Da sumiramo činjenice koje smo čuli: prvo, može se očekivati daljnji znatni porast potrošnje električne energije, uza sve eventualno dugogodišnje rezultate štednje ili racionalnije potrošnje električne energije, što je moguće i trebalo bi realizirati. Međutim, to je samo relativno malo smanjenje znatnog apsolutnog porasta električne energije. Čuli smo da već nakon 1990. godine treba očekivati vrlo teške energetske prilike, naročito u Hrvatskoj, čuli smo da se za pokriće rastućeg konzuma mogu graditi veće hidroelektrane, termoelektrane na ugljen i nuklearne elektrane, zatim dalje iskorištenje onih elektrana koje su izgrađene, uključujući i termoelektrane na tekuća goriva. Treba spomenuti, a ovdje nije možda rečeno, da za izgradnju jednog većeg energetske izvora treba najmanje 7–10 godina. Znači, kad se odlučimo što ćemo od onih 700 megavata graditi, treba 7–10 godina da se

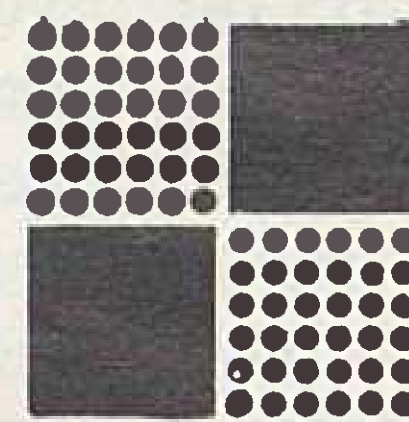
SUKOBI INTERESA U NEKOM RAZVOJNOM PROJEKTU



to i realizira. Znamo da široka javnost ima velikih rezervi prema nuklearnim elektranama, naročito nakon nesreće u Černobilu. Sad smo, međutim, čuli da hidroelektrane također izazivaju znatne, nimalo navihne probleme u vezi s poremećajem ekološke ravnoteže. Ekonomski problemi u elektroprivredi ne garantiraju zajednički optimum na nivou Jugoslavije kao zemlje. Financijska su opterećenja za izgradnju energetskog sistema velika, iako bi mogla biti manja, bitno manja kad bismo djelovali kao cjelina. No, rekao bih, ima jedna točka s kojom se apsolutno svi slažemo, a to je: kad okrenemo prekidač, želimo sigurno napajanje potrošača, radilo se to o tvornici aluminijske, ili o gledanju utakmice na televiziji, ili o brijanju električnim aparatom. Tu smo svi jedinstveni. Nadalje smo čuli da se zbog nepovoljne energetske situacije u Hrvatskoj, gdje se već danas kasni, ne može čekati na beskonačne diskusije, već treba reagirati brzo. Očito je danas jasno da ni jednoj svjetskoj elektroprivredi, pa ni našoj, nikako ne odgovara ovo bujanje konzuma. Međutim, to je bujanje konzuma izvan našega dometa. Dužnost je svake elektroprivrede, pa i naše, da razradi sve moguće scenarije za pokriće budućeg konzuma. Ne da donese odluke, nego

razradi i ponudi scenarij. Međutim, odluke, i to brze odluke, ostaju na organima, u našem konkretnom slučaju Izvršnom vijeću Sabora, Saboru, na SIV-u i na Skupštini Jugoslavije. Tamo treba donijeti odluke.

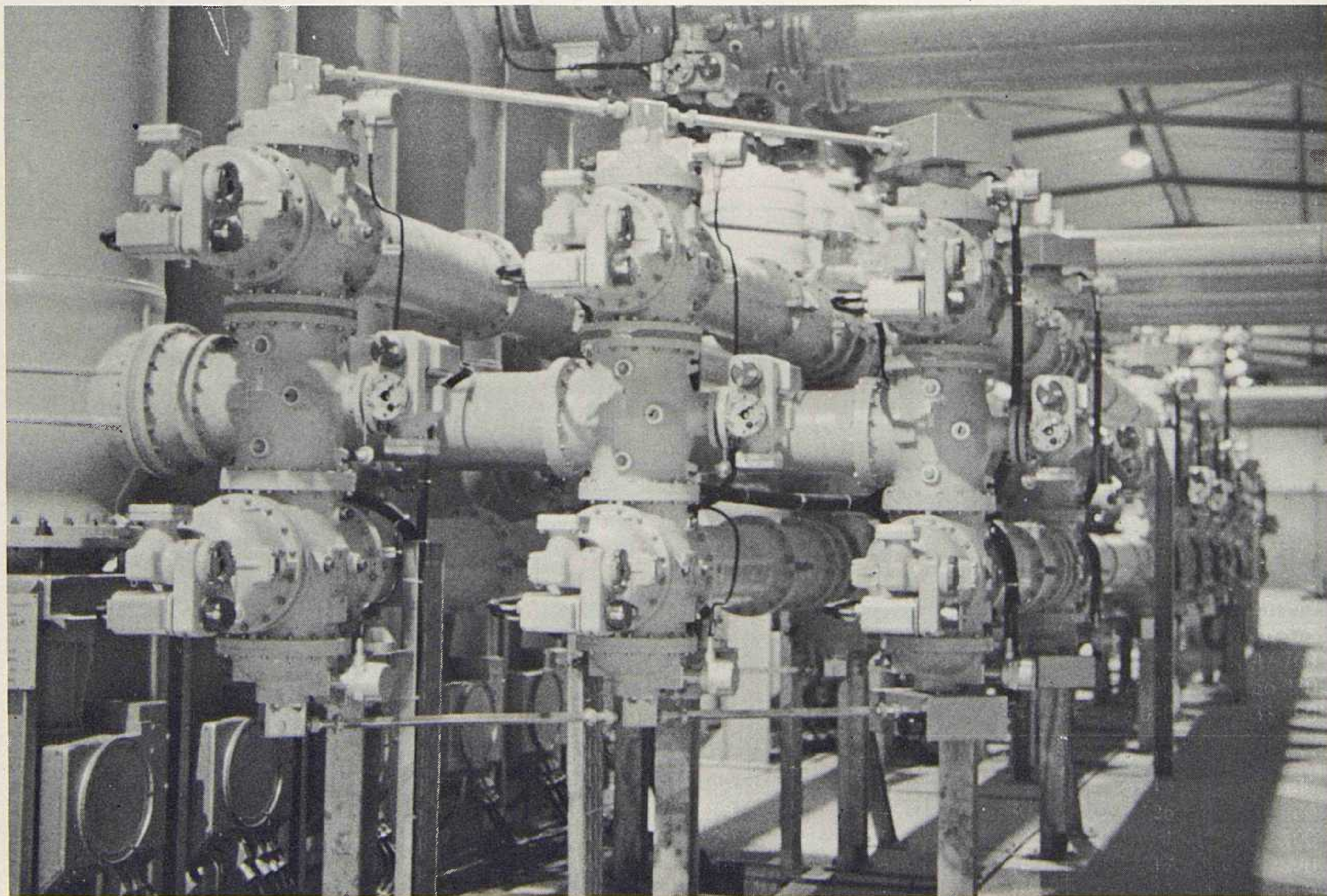
Ovom diskusijom časopis »Energija« je želio upoznati javnost s težinom problema koji nas čeka, s odgovornošću za našu budućnost, sa željom da se problemi rješavaju brzo i da odluke budu nadasve razumne. U protivnom, ako se ne postupi tako, naša želja da okrećući prekidač imamo sigurno napajanje električnom energijom može ostati samo želja, a ne realnost. Na žalost, moguće je da do toga brzo dođe, ne brzo nego vrlo brzo, čak brže nego se mi tome i nadamo. Dosta je samo jedan veći i neplanirani porast konzuma, a takve smo imali i mi i druge zemlje u prošlosti, ili veći kvar, pa da nam to stanje neizvjesnosti približi. Što znače redukcije, imali smo, na žalost, prilike vidjeti i 1973. i 1984. godine. Ovom bih vam prilikom zahvalio na sudjelovanju uz do viđenja, do sljedećeg puta. Časopis »Energija« voljna je organizirati i sljedeće sastanke Okruglog stola kad se radi o temama koje su toliko aktualne za svakoga građanina ove zemlje.



Radna organizacija za montažu industrijskih postrojenja
OUR za elektromontažne radove

ZAGREB ● Dimitrovljeva 2-6

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



MOGUĆNOSTI RACIONALIZACIJE ENERGIJE IZBOROM ENERGETSKE STRUKTURE PRIMJERENE STRUKTURI STANOVANJA

dr Duško Čorak — Zdravko Mužek, Zagreb

UDK 64.011:620.91

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Iznose se mogućnosti racionalizacije korištenja energije u urbanoj sredini ovisno o urbanističkim, arhitektonskim i socijalnim uvjetima. Pokazuje se da diverzificiranost i komplementarnost energetske oblika inherentno sadrže i znatne mogućnosti štednje energije.

Ključne riječi: urbana sredina, toplinska energija, racionalizacija upotrebe.

1. UVOD

Razvoj industrije i tercijarnih djelatnosti uzrokuje sve brži tempo rasta gradova. Početkom stoljeća svega 30% stanovništva razvijenih zemalja živjelo je u urbanim aglomeracijama, 1975. godine taj je udio bio 70%, a očekuje se da će 2030. godine iznositi čak 92% [L 1].

U našoj zemlji udio gradskog stanovništva povećao se od 20% u 1948. godini na 28% u 1961, 39% u 1971. i 47% u 1981. godini. U gradovima sa 100 000 i više stanovnika živi danas 27% ukupnog urbanog stanovništva. Samo u glavnim gradovima republika i pokrajina nastanjeno je 14% [L 2] ukupnog stanovništva Jugoslavije, a tempo urbanizacije je i dalje visok (tablica 1).

Ima li se na umu da najveći gradovi, a pogotovo republički i pokrajinski centri (zbog svoje specifične političke, kulturne, prosvjetne, znanstvene i druge funkcije), raspolažu sa znatnim udjelom zajedničkih sadržaja, razumljivo je da energetska opskrba opće potrošnje u najvećim gradovima dominira među problemima energetike, pa stoga zaslužuju najveću paž-

nju. Spomenutom sintagmom opća potrošnja obuhvaćaju se energetske potrebe u domaćinstvima, takozvanim zajedničkim sadržajima (poslovne, javne, zdravstvene i školske zgrade, trgovine, ugostiteljstvo, zanatstvo, servisi i sl.) i svim ostalim neindustrijskim privrednim djelatnostima.

Za zadovoljenje potreba u sektoru opće potrošnje korišteno je 1984. godine u najsnažnijem industrijskom gradu Jugoslavije — Zagrebu — 47% ukupno korištene energije (industrija 35%, prijevoz 18%) [L 3]. Podaci za Jugoslaviju se statistički ne obrađuju pa nisu dostupni, ali se sa sigurnošću može tvrditi da je udio opće potrošnje u ukupnim energetske potrebama gradova preko 50%.

Od energije predane općoj potrošnji najveći dio koriste tzv. mali potrošači: domaćinstva, obrt, trgovina, ustanove, komunalna djelatnost (u Zagrebu, na primjer, preko 95%) [L 3]. Te potrebe su pod utjecajem niza faktora (klimatske značajke — temperatura, dužina trajanja ogrjevnog perioda i sl., životnog standarda, kvalitete gradnje stambenih prostora, odnosa zajedničkih sadržaja i stanovanja, navika stanovništva itd.).

Tablica 1. Neke značajke urbaniziranosti republičkih i pokrajinskih centara SFRJ

Grad	Broj stanovnika prema popisima, 10 ³			Stopa rasta 1948/1981. (%)	Specifični pokazatelji		
	1948.	1961.	1981.		m ² /osoba	os./st.	m ² /stan
Beograd	366	585	1 088	3,4	15	3,7	56
Zagreb	315	431	651	2,2	18	3,1	56
Skopje	88	166	408	4,8	16	3,9	62
Sarajevo	99	143	319	3,6	16	3,3	54
Ljubljana	98	134	225	2,6	21	2,8	60
Novi Sad	69	102	170	2,8	15	3,5	54
Priština	20	39	108	5,2	11	5,6	62
Titograd	10	29	96	7,1	15	4,2	63
Ukupno	1 065	1 629	3 065	4,7	16	3,5	56

Korištenje energije prema tipovima potreba u ovom sektoru u kontinentskom dijelu Jugoslavije kreće se u ovim odnosima [L 1]:

grijanje (i klimatizacija)	65 — 70 %
priprema potrošne tople vode	10 — 15 %
kuhanje	4 — 5 %
nesupstituabilna el. energija (rasvjeta, el. aparati)	10 — 15 %
ostalo	5 — 6 %

S kudikamo najvećim udjelom sudjeluje energija potrebna za grijanje zgrada: 60–70% od energije potrebne u sektoru opće potrošnje ili oko 30% od ukupne potrošnje.

Imajući pred očima visok udio tog tipa potreba (kao i brojne mogućnosti koje su u pogledu izbora oblika energije, vrste postrojenja za transformaciju i sistema za prijenos energije na raspolaganju), razumljiva je važnost poduzimanja svih ekonomski opravdanih (racionalnih) mjera za njihovo smanjivanje.

Treba, međutim, naglasiti da urbana područja čine s industrijskim dijelovima grada prostornu cjelinu, a kao energetske podsistemi organski su međusobno povezani. Slično je i u pogledu energije potrebne prometu. I energetskim potrebama grada (kao najvažnijem činiocu energetske opskrbe) treba stoga pristupiti tako da se sagledava kompleksni energetski sistem grada. Takvim pristupom najefikasnije se može utjecati na cjelokupno usmjeravanje energetske opskrbe k racionalnoj, ekološki povoljnijoj strukturi.

Ne smetnuvši s uma navedenu postavku o nužnosti integralnog sagledavanja energetskeg sistema grada, pažnja u ovom radu usmjerit će se na pitanje mogućnosti racionalizacije korištenja energije u dominantnom konzumnom sektoru u opskrbi tzv. malih potrošača u općoj potrošnji.

2. ZNAČAJKE STANOVANJA U URBANOM PODRUČJU

Energetske potrebe korisnika u urbanom području, izbor ekonomski i ekološki najpovoljnijeg rješenja energetske opskrbe i mogućnosti racionalizacije i štednje energije u urbanoj sredini ovise o ovim faktorima energetske opskrbe: društvenom uređenju, klimatskim i ostalim geografskim karakteristikama, društveno-ekonomskom razvoju, raspoloživosti primarnih energetskih izvora, nivou tehničkog i energetskog razvoja, ekonomiji energetskih sistema, ekološkim značajkama razvoja, neizvjesnosti imanennoj budućnosti. Svako kompleksno razmatranje energetike urbane sredine treba da obuhvati sve navedene faktore. Raspoloživi prostor ne dopušta upuštanje u detaljniju razradu svih njih, pa će se ukratko istaknuti tek oni najvažniji elementi u kontekstu kojih treba sagledavati osnovne postavke navedenih točaka ovog članka, a to su urbanističke, arhitektonske i socijalne značajke stanovanja u nas.

2.1. Urbanističke značajke stanovanja

Urbanističke značajke područja stanovanja (i zajedničkih sadržaja) važne za energetske opskrbe jesu ove:

- broj stambenih objekata na jedinici izgrađene površine (izraženo u km^{-2}),
- toplinsko opterećenje grijanja po kvadratnom kilometru naselja, $\text{MJ s}^{-1} \text{km}^{-2}$.

Navedene značajke su neovisne varijable i u dovoljnoj mjeri definiraju karakteristike naselja za makrosagledavanje. Osim njih moguće je izvesti i druge značajke odnosno odnose. Tako, na primjer, značajke a) i b) impliciraju veličinu pojedinog objekta (korisnu površinu i toplinske karakteristike).

Realno urbano područje u pravilu je nehomogene urbanističke strukture (individualna gradnja, visoka kolektivna gradnja, samostojeći kompleksi znatnih korisnih, zatvorenih površina itd.). Pri sagledavanju urbanističkih karakteristika valja stoga segmentirati urbano područje na manje cjeline koje su homogene u karakteristikama gradnje — tzv. građevinske kasete (npr. kasete samo visoke kolektivne gradnje, kasete obiteljskih kuća itd.). Određivanje takve, urbanističke strukture grada mukotrpan je zadatak i znatne su razlike između gradova. Kao ilustracija navodi se na slici 1. urbanistička struktura grada Zagreba u 2000. godini [L 4]. U polje križaljke unesena je oznaka (broj) određene kasete — apscisa je broj objekata kasete koji otpada na $0,05 \text{ km}^2$ njene površine, a na ordinati njeno toplinsko opterećenje u $\text{MJ s}^{-1} \text{km}^{-2}$.

2.2. Arhitektonske i socijalne značajke stanovanja

Arhitektonske značajke stanovanja (i zajedničkih sadržaja) jesu one u vezi s toplinskim karakteristikama stana, odnosno građevinskog objekta (odnos volumena i korisne površine objekta, ostakljenost, orijentacija i struktura objekta, toplinska izolacija zidova itd.). O tim značajkama bit će više govora u kontekstu razmatranja u točki 3. ovog članka.

Osim navedenih, potrebno je sagledati i one elemente arhitekture koji su u uskoj vezi sa socijalnim značajkama stanovanja. To su površina stana, broj soba po stanu, broj osoba po stanu, broj soba po osobi. U nastavku se iznose pokazatelji koji oslikavaju socijalno-arhitektonske uvjete stanovanja u nekim našim gradovima (iako taj prikaz može djelovati i zamorno, nužan je za zaključivanja u kasnijim razmatranjima).

Prosječna površina stana u 50 najvećih gradova Jugoslavije iznosi 58 m^2 [L 2], no prisutne su značajne razlike između gradova. Na donjoj granici navedene skupine je Kragujevac s prosječnom površinom stana od 47 m^2 , zatim Zenica, Svetozarevo, Šabac, Titovo Užice sa $50 - 60 \text{ m}^2$ te Sarajevo, Banja Luka, Tuzla, Čačak, Kruševac, Niš, Valjevo i Novi Sad sa $53 - 55 \text{ m}^2$, a na gornjoj Kumanovo sa 69 m^2 , Varaždin i Tetovo sa 68 m^2 , Sombor i Prilep sa 66 m^2 , te Bjelovar, Dubrovnik i Slavonski Brod sa 65 m^2 [L 2].

Toplinska gustoća /MW/km ² /	BROJ OBJEKATA U UVJETNOJ KASETI																		
	4	5	6	8	10	12	15	16	18	20	25	30	32	35	40	45	50	60	64
125	1.41				1.24														
120-124,9																			
100-119,9					1.55														
95-99,9			1.15		1.57														
90-94,9			1.49																
85-89,9					1.53														
80-84,9				1.44															
75-79,9		1.62		1.28															
70-74,9				1.58	2.03													1.11	
65-69,9					1.51	1.37													1.54
60-64,9			1.59	1.63													1.29		
55-59,9		1.83	1.38	1.78															1.47
50-54,9				1.43	5.05									1.46					1.68
49-49,9			1.04	2.01				4.14									2.02		
48-48,9			1.60																
47-47,9								4.10											
46-46,9				1.66															
45-45,9																	1.56		
44-44,9				4.12	5.08	3.06													1.50
43-43,9	1.27				4.18						1.26								
42-42,9					5.01						1.40								
41-41,9								3.03							1.61				1.67
40-40,9																			1.64
39-39,9	1.22		1.34							1.17									
38-38,9														1.69					
37-37,9																	1.14		
36-36,9										1.06		1.82			1.35				
35-35,9										1.16		1.84			1.39				
34-34,9			1.74		5.09										1.36				
33-33,9				1.10	4.06		1.52								1.20				
32-32,9			1.31								1.71				2.05				
31-31,9											1.32				4.02				
30-30,9		5.03									1.06			1.23				1.05	
29-29,9					4.16		3.02								1.79			3.04	
28-28,9			1.01		6.02										6.01			2.04	1.65
27-27,9					5.15						1.25			1.45	5.10	1.21			1.13
26-26,9		5.13									5.11		2.06	5.06	5.02	4.17			1.75
25-25,9															3.01	1.03			
24-24,9																1.07			
23-23,9	1.73		1.02	4.01	5.14										1.30	1.80	1.12		
22-22,9			6.08				1.76									1.19			
21-21,9															3.07	5.19			
20-20,9																			
19-19,9																6.03			
18-18,9											5.18				1.33	4.20			
17-17,9															6.05	1.72			
16-16,9	1.18															1.77			
15-15,9																5.04			
14-14,9																1.70			
13-13,9																	4.08		
12-12,9																			
11-11,9																4.05			
10-10,9																	4.09		
															4.03				

Slika 1. Urbanistička struktura grada Zagreba pri konačnoj izgrađenosti prema GUP-u iz 1971. godine

Karakteristično je da se republički i pokrajinski centri (koji bilježe izrazito visoke stope rasta stanovništva) i ostali gradovi s više od 100 000 stanovnika ne nalaze u skupini gradova s najvećom prosječnom površinom. Razlog je brza urbanizacija dobrim dijelom putem izgradnje stanova kolektivne gradnje koji su u pravilu manji nego oni u individualnim objektima.

Specifični pokazatelji za glavne gradove republika i pokrajina (tablica 1) pokazuju da se prosječna stambena površina po osobi najčešće kreće od 15 do 16 m² (Zagreb i Ljubljana se izdvajaju — povoljnijeg su stambenog standarda: 18 odnosno 21 m²/osobi), a da broj osoba po stanu varira od 2,8 do 5,6. Razumljivo je da postoje znatne razlike i na području pojedinoga grada. Kao primjer uspoređeni su u tablici 2. pokazatelji u gradskim područjima dviju zagrebačkih općina. Gradska naselja u općini Novi Zagreb pretežno su kolektivne izgradnje u većim objektima, dok su ona na području Medveščaka dobrim dijelom u manjim i individualnim objektima. Primjetna je znatna razlika posebno u nekim arhitektonsko-socijalnim pokazateljima, iako bi detaljnije raščlanjivanje svakog od područja na građevinske kasete kolektivne i individualne gradnje pokazalo i zamjetnije odstupanja.

Važno je uočiti da je 80% stanova na području Novog Zagreba dvosobno ili s manjim brojem soba, da je broj osoba po jednoj sobi između 1,5 i 2, a da je svega 3% stanova većih od 4 sobe.

U tablici 3. iznose se i neki podaci za najrazvijenije zemlje Zapadne Evrope. Smatra se da je to korisno jer se veoma često iskustva u mogućnosti racionalizacije korištenja energije i načinima energetske opskrbe iz upravo tih zemalja izravno, bez kritičkog osvrta, preslikavaju na naše uvjete.

Podaci iz navedene tablice suvremeni su podacima popisa stanovništva i stanova u SFRJ iz 1971. godine. Prosječni broj soba po osobi iznosio je tada 0,5 (deset godina kasnije — popis iz 1981. godine porastao je taj broj za 0,6 soba po osobi).

Na kraju ove točke dat će se i neki pokazatelji o strukturi stanovništva prema godini gradnje jer su značajne pri sagledanju svojstava toplinske zaštite objekata. Za ilustraciju će poslužiti prosječni podaci za gradska naselja SR Hrvatske i podaci za gradska naselja Zagreba, Rijeke, Splita i Osijeka (tablica 4).

Analiza kvalitete gradnje po periodima iz navedene tablice 4. provedena u Zagrebu može, vjerojatno, po-

Tablica 2. Značajke stanovanja u dvije zagrebačke općine

Značajka	Novi Zagreb	Medveščak
m ² /osobi	18	24
m ² /stanu	51	65
osoba/stanu	2,8	2,7
Struktura stanova, %		
2-sobni i manji	80	68
3-sobni	17	22
4-sobni i veći	3	10
Broj osoba po jednoj sobi		
1-sobni i manji	2,1	2,0
2-sobni	1,5	1,4
3-sobni	1,2	1,1
4-sobni	0,9	1,0
5-sobni	0,8	0,9

Izvor [L 4]

služiti kao orijentacija i za ostale gradove promatranog područja. U najkraćim crtama moguće je iznijeti da su zgrade građene do 1918. god. (a koje su se održale do danas) uglavnom masivne blokovske gradnje do 4 kata, klasično građenih debelih zidova s karakterističnim visokim prostorijama (uglavnom preko 3,5 m). Visoka gradnja između dva svjetska rata također je građena klasično — opekom, relativno debelih zidova i s relativno malo staklenih površina. Nakon oslobođenja, u razdoblju 1946–1960. visoka je gradnja prilično nekvalitetna. To su betonske konstrukcije, koje su zbog povećane nosivosti dozvolile smanjenje debljine zidova. Zbog obustava regulative

o minimalnim dopuštenim toplinskim otporima zgrada smanjenje debljine zidova nije kompenzirano adekvatnim poboljšanjem toplinske izolacije. Treba dodati da su znatno povećane i staklene površine. U idućem razdoblju, 1961–1970. god., kvaliteta je poboljšana, ali se tek nakon tog perioda počela voditi veća briga o toplinskim gubicima zgrada. Kod niskih obiteljskih zgrada također su prisutne određene razlike u kvaliteti gradnje po vremenskim periodima. Ipak, sve do donošenja propisa o minimalnim dopuštenim toplinskim otporima, odnosno prodiranja svijesti o potrebi racionalnijeg korištenja energije (taj razvoj svijesti je posljedica — ili druga forma — ekonomskih efekata) kvaliteta gradnje je ovisila o materijalnim mogućnostima vlasnika zgrade.

3. MOGUĆNOSTI UTJECAJA NA SMANJENJE TOPLINSKIH POTREBA

Toplina koju je potrebno dovesti korisniku odnosno prostoriji ovisi o:

- stanju okoline
- toplinskim karakteristikama objekta
- zahtijevanim mikroklimatskim uvjetima u prostoriji.

Na stanje okoline, u kontekstu određivanja veličine potrebe, nije moguće utjecati (ovisi o klimatskim značajkama područja i meteorološkim prilikama), pa pažnju treba usmjeriti na ostala dva utjecajna faktora.

Tablica 3. Značajke stanovanja u nekim evropskim zemljama

	Belgija	Švedska	Nizozemska	Norveška	Švicarska	Austrija	Danska
Godina popisa	1970.	1975.	1970.	1970.	1970.	1972.	1970.
Broj soba po stanu	5,0	4,0	5,0	4,4	4,7	4,1	3,5
Broj osoba po sobi	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,4	1,3

Izvor [L 2]

Tablica 4. Struktura stanova u gradskim naseljima SRH prema godini izgradnje

	Godina izgradnje						Ukupno
	do 1918.	1919–1945.	1946–1960.	1961–1970.	1971–1975.	poslije 1975.	
SR Hrvatska	101 588	87 824	95 134	208 183	103 982	103 060	699 771
Zagreb	18 918	43 747	29 882	63 081	28 756	27 562	211 946
Novi Zagreb	79	288	1 042	10 856	8 421	7 233	27 919
Medveščak	1 260	9 198	3 378	2 485	317	237	16 875
Rijeka	11 053	4 623	4 725	12 664	6 460	8 243	47 768
Split	6 804	5 892	6 238	19 696	10 660	7 640	56 930
Osijek	5 972	3 636	3 599	10 727	4 306	5 050	33 290
SR Hrvatska	14	13	14	30	14	15	100
Zagreb	9	20	14	30	14	13	100
Novi Zagreb		1	4	39	30	26	100
Medveščak	7	55	20	15	2	1	100
Rijeka	23	10	10	26	14	17	100
Split	12	10	11	35	19	13	100
Osijek	18	11	11	32	13	15	100

Izvor [L 4]

3.1. Toplinske karakteristike objekta

Toplinske karakteristike objekta izravna su posljedica intervencije društva (putem zakonskog normiranja) ili odluke projektanta, planera i vlasnika o tehničkim i estetskim karakteristikama objekta (u potonjem slučaju, razumljivo, treba da su jednake ili povoljnije od onih propisanih nacionalnim normama).

Povoljnije toplinske karakteristike objekta u pravilu iziskuju povećanje investicija (koje se kompenziraju u smanjenju troškova za gorivo). Dakle, troškovi goriva su upravo taj ključni parametar koji određuje visinu ekonomski opravdanih investicija u toplinsku zaštitu objekta. No trošak za energiju ne ovisi samo o potrebi korisne energije krajnjeg korisnika već i o efikasnosti transformacije goriva u korisni oblik energije i vrsti upotrebljenog goriva. Proizlazi, dakle, da toplinsku opskrbu treba odrediti u kontekstu sveobuhvatne tehničko-ekonomske analize koja osim objekta kojem se toplina osigurava obuhvaća i cjelokupni tok od pridobijanja do korištenja energije.

Ne može se očekivati da se za svaki građevinski objekt provedu tehno-ekonomske analize radi optimiranja toplinskih karakteristika. Radi zaštite općih društvenih interesa određuju se spomenutim nacionalnim propisima takozvani minimalni uvjeti toplinske zaštite pojedinih objekata. Sam naziv upućuje na to da propisane vrijednosti nisu i optimalne. Očito je da, ovisno o slučaju, postoje ekonomski razlozi za dalja poboljšanja, što se prepušta svakom korisniku.

Propisi o minimalnoj toplinskoj zaštiti objekata u određenoj su korelaciji s dostignutim nivoom cijena energije, u prvom redu nafte kao regulatora cijena svih ostalih energetske oblika; rastom cijena energije pooštavaju se propisi u smislu poboljšanja toplinske zaštite.

U uvjetima relativno niskih cijena energije — do 1973. godine — tehnička rješenja koja su omogućavala veću efikasnost korištenja energije goriva bila su ekonomski neinteresantna, što se odražavalo u relativno visokoj vrijednosti potrebne topline po jedinici grijane površine (tablica 4).

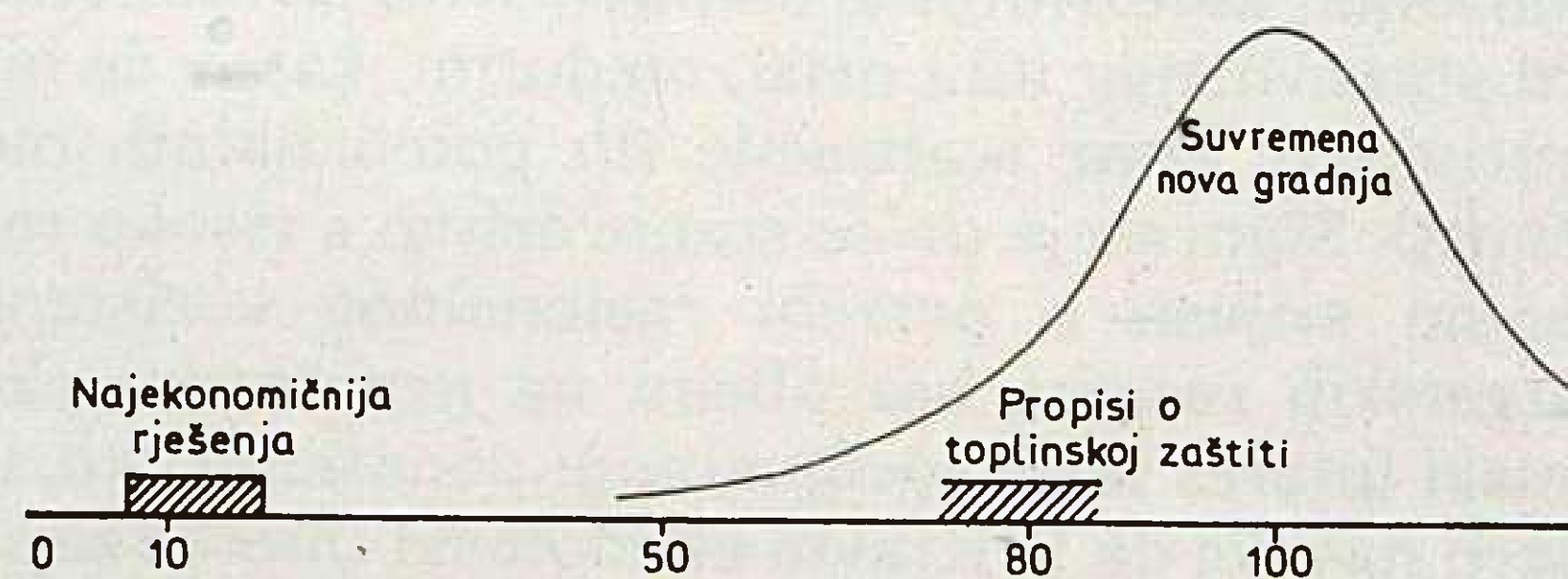
Nakon skokovitog rasta cijena nafte 1973. godine, mijenjaju se odnosi u ekonomiji energetske opskrbe. Tehnologije, odnosno sistemi koji pridonose čuva-

nju, odnosno manjoj potrošnji goriva pri zadovoljenju istih uvjeta komfora postale su interesantne unatoč visokim investicijama. Posljedica je bila i promjena nacionalnih propisa u mnogim zemljama, pa su normirane toplinske potrebe smanjene za 30 do 50% u odnosu na vrijednosti prije tog razdoblja (tablica 5). Slična akcija poduzeta je nakon daljnjeg povećanja cijena nafte 1979. godine.

Pažljivom analizom tablice 5. moguće je uočiti da se na smanjenje potreba energije može utjecati adekvatnim urbanističkim i arhitektonskim planiranjem naselja (npr. odabiranjem povoljnijih gustoća izgrađenosti i rasporedom sadržaja). Tako se, nadalje, izgradnjom obiteljskih kuća u redu u odnosu na samostojeće kuće može ostvariti ušteda od oko 20%, dok se izgradnjom stambenih objekata s većim brojem stanova u odnosu na pojedinačne obiteljske kuće može ostvariti ušteda svedena na jedinicu zagrijavane površine viša od 50%.

Kao što je već istaknuto, optimalna toplinska zaštita objekta veća je od one propisane nacionalnim standardima. Koji razlozi dovode do takve razlike? Oni su brojni: teškoće građevinske operative u prihvaćanju suvremenih tehnologija gradnje i materijala, nesuglasnosti u utvrđivanju bitnih ekonomskih parametara uz pomoć kojom se dolazi do optimalne toplinske zaštite (životni vijek objekata, kamatna i diskontna stopa, kretanje cijena energije u budućnosti i sl.), ocjena građevinske operative o cijeni izgrađenog stana koja bi bila za kupca prihvatljiva.

Na slici 2. prikazana je krivulja distribucije specifičnih toplinskih potreba stambenih objekata. Može se uočiti da su razlike između standardom propisanih vrijednosti i najboljih rješenja znatne.



Slika 2. Specifične toplinske potrebe objekata u SR Njemačkoj

Tablica 5. Specifično toplinsko opterećenje postojećih zgrada u SR Njemačkoj

Vrsta zgrade	Period gradnje				
	prije 1958. (W/m ²)	1959–1968. (W/m ²)	1969–1973. (W/m ²)	1974–1977. (W/m ²)	poslije 1977. (W/m ²)
samostojeća obiteljska kuća	180	170	150	115	95
obiteljska kuća u nizu					
— na krajevima niza	160	150	130	110	90
— unutar niza	140	130	120	100	85
kolektivna stambena gradnja					
— do 8 stanova	130	120	110	75	65
— 8 i više stanova	120	110	100	70	60

Izvor [L 5]

Imajući pred očima navedeno (ali i podatke iz naše zemlje o strukturi stanova prema godini gradnje, tablica 4, i kvaliteti gradnje u pojedinom periodu), proizlazi da su mogućnosti u pogledu štednje energije u ovoj domeni velike. Toplinska zaštita zgrada čini, dakle, jedan od ključnih elemenata racionalizacije korištenja energije.

3.2. Mogućnost utjecaja na zahtijevane mikroklimatske uvjete u prostoriji

Mikroklimatski uvjeti u prostoriji definirani su nacionalnim standardima, ovisno o namjeni prostorije (npr. projektna temperatura u sobi za dnevni boravak). U ovom radu neće se raspravljati o potrebi promjene nacionalnih propisa u toj domeni, već će se iznijeti određene postavke u vezi s utjecajem mogućnosti prilagođavanja pojedinog sistema (načina) toplinske opskrbe trenutnoj namjeni prostorije na racionalizaciju korištenja topline. Konkretnije, sagledat će se preferencije individualnog načina toplinske opskrbe (pojedinačni i etažni sistemi) prema onom centraliziranom (kućne i blokove kotlovnice, gradska toplana).

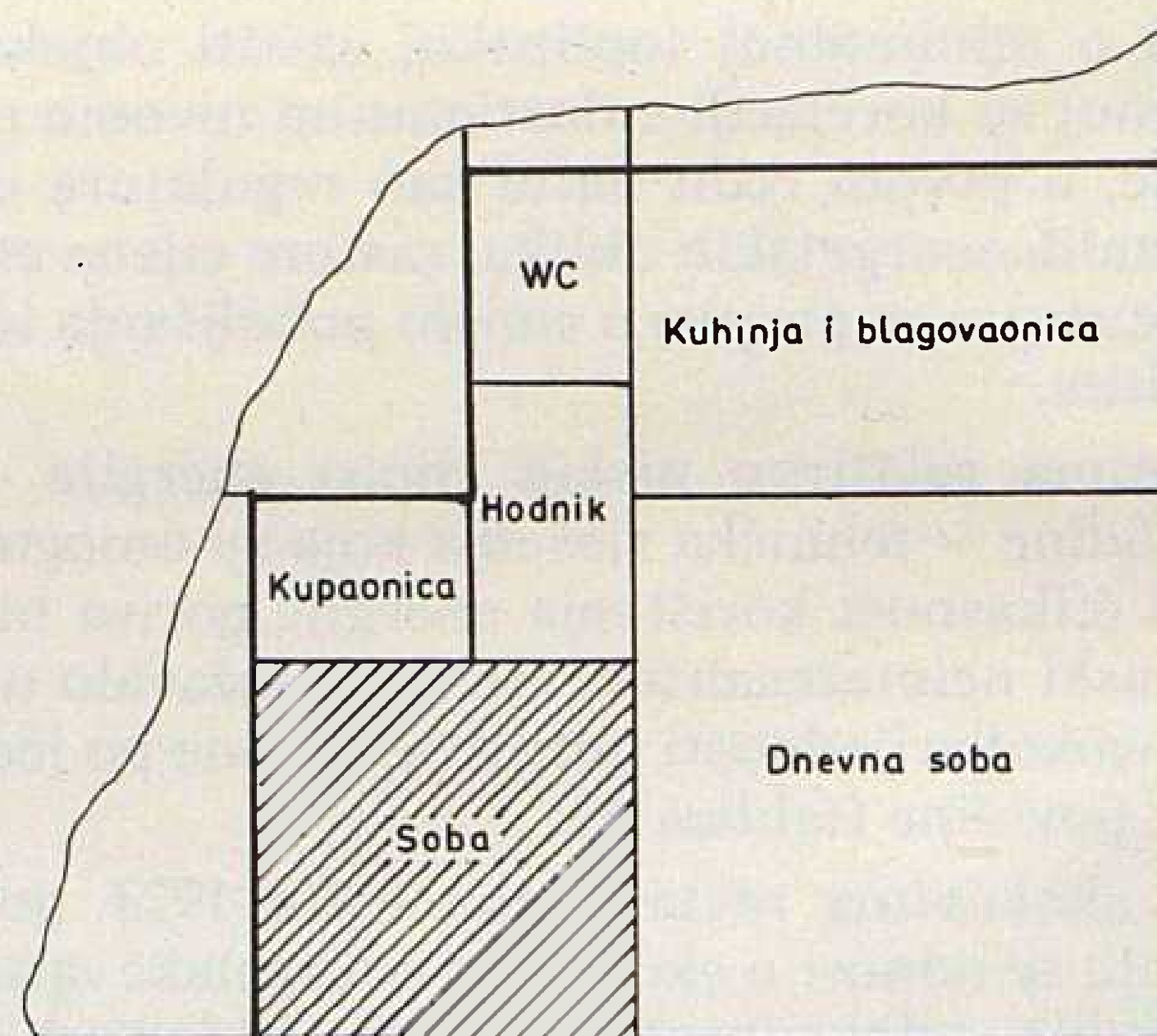
Nema dvojbe da individualni način toplinske opskrbe u pogledu mogućnosti prilagođavanja stvarnim uvjetima prostorije ima danas, u zatečenoj strukturi ogrjevnih instalacija, prednosti prema višim nivoima centraliziranih sistema. Te prednosti se primjenom mjerne i regulacijske tehnike smanjuju, a potpuno se gube prijelazom na takvu izvedbu instalacija pri kojoj postoji mogućnost mjerenja topline za svaki stan (npr. jednocijevni sistem u stanu). O objektivnim elementima (arhitektonske i socijalne značajke stanovanja), te o onim subjektivnim (navike stanovanja, kulturni nivo stanovništva, životni standard stanovništva itd.) ovisi, međutim, kakav će biti kvantitativni izraz realizacije tih potencijalnih mogućnosti. Sigurno je da će stanovništvo s visoko razvijenom svijesti o potrebi racionalnog korištenja energetske resursa bez obzira na neposredni ekonomski interes težiti racionalnom ponašanju. No, iskustvo nas uči da je izravni ekonomski interes za sada ipak najbolji stimulans za postizanje željenog društvenog cilja.

S druge strane, objektivne značajke stanovanja mogu u znatnoj mjeri ograničiti realnu mogućnost štednje energije određenim zahvatima. Pokazatelji o značajkama stanovanja u zapadnoevropskim zemljama pokazuju da su u Belgiji npr. (gdje svaki pojedinac raspolaže sa 1,7 soba i gdje je prosječni stan peterosobni) znatne mogućnosti u štednji energije sniženjem temperature ili potpunim isključivanjem grijanja u prostorijama koje se trenutno ne koriste. Razumljivo da ta mogućnost postoji bez obzira na korišteni sistem toplinske opskrbe, no njena će realizacija biti vjerojatnije u stanovima koji raspolažu individualnim mjerenjem upotrebe energije. Kakva je situacija u našoj zemlji? Jedini ispravni odgovor jest da se ne može donijeti generalni zaključak, već da uvjeti diktiraju ponašanje. Usporede li se podaci iz tablice

2, očito je da će mogućnosti prilagođavanja uvjeta u prostoriji potrebama ili isključivanju pojedinih prostorija biti veće na području Medveščaka nego Novog Zagreba. Razlozi su razumljivi: povoljnija struktura stanovanja (ne ulazi se pritom u složena pitanja grijanja »hladne prostorije susjeda«).

Logično je pretpostaviti da su u uvjetima relativno velikog broja ukućana u stanu (kao što pokazuju tablice 1. i 2) i manjeg broja prostorija u stanu (garsonijere ili jednosobni stan) mogućnosti smanjenja temperature ili isključivanja grijanja praktično nikakve. Povećanjem broja prostorija mogućnosti se povećavaju.

Da bi se dobio uvid u kvantitativni izraz ušteda koje se mogu postići promjenom temperaturnih uvjeta u prostorijama stana, proveden je račun za uvjete stvarnog stambenog objekta u zagrebačkom naselju kolektivne gradnje Utrinama. Radi se o neboderu koji na etaži ima 4 stana, visine tavanice 2,6 m, tlocrtnog rasporeda prema slici 3. Kvaliteta građevinskog materijala (vanjski zidovi, pregradni zidovi itd.) odgovara stvarnom stanju, a površina prozora je 1/7 površine prostorije. Račun je proveden u skladu s aktualnim nacionalnim propisima. Iako je stan dvosobni, pretpostavljeno je da se jedna od soba ne grije (putem ogrjevnih tijela) čitave zime, a da se ne griju ni sobe iznad i ispod promatrane prostorije. Pokazalo se da se ukupne potrebe stana u ogrjevnoj toplini smanjuju na taj način za 8% (promatrana soba sudjeluje u površini stana sa 20%).



Slika 3. Tlocrt prosječnog dvosobnog stana

Stvarni uvjeti života u zgradi (statistička vjerojatnost isključivanja prostorije ili smanjivanja temperature te promjene uvjeta u sobi iznad ili ispod promatrane) pokazali bi nepovoljniji rezultat. S druge strane, promjenjivi uvjeti toplinske zaštite objekta (promatrani objekt građen je nakon donošenja novih propisa i toplinski je kvalitetnih pregradnih zidova u stanu) promijenit će unekoliko i rezultat.

U kontekstu navedenoga valja spomenuti da je temperatura prostorije u stanovima opskrbljivanim iz centraliziranog sistema regulirana u skladu s propisima bez mogućnosti korisnika da (izuzme li se dodatna intervencija drugim izvorima topline) podigne

temperaturu u prostoriji. To je nedostatak takvog načina opskrbe iako onemogućava zagrijavanje prostorija iznad propisanih temperatura.

Usprkos sažetosti i fragmentiranosti sagledavanja, moguće je zaključiti da je u našim uvjetima (socijalne i arhitektonske značajke stanovanja) u naseljima kolektivne stambene gradnje, odnosno u uvjetima relativno niskog stambenog standarda moguće, doduše, racionalizirati korištenje energije smanjivanjem temperature u prostoriji, ali da je apsolutni iznos efekta relativno ograničen. I bez računске provjere dozvoljeno je tvrditi da objekti visokog stambenog standarda pružaju znatne mogućnosti u tom pogledu.

Posebno je važno istaći da se u tretiranim razmatranjima mogućnosti racionalizacije korištenja energije ne sagledavaju zahvati (redukcije) koji izravno umanjuju ugodnost i kvalitetu života ili utječu na zdravlje stanovništva.

4. USMJERAVANJE TOPLINSKE OPSKRBE STANOVANJA I ZAJEDNIČKIH SADRŽAJA

4.1. Mogućnosti zadovoljenja potreba

Mnogobrojne mogućnosti zadovoljenja pojedinih tipova potreba s obzirom na korištenje goriva i/ili postrojenja, odnosno sistema za transformaciju energije goriva u potrebni oblik dovode planere, projektante i krajnje korisnike u dvojbu u pogledu izbora najpovoljnijeg načina energetske opskrbe. Prepusti li se izbor opskrbe krajnjem korisniku, on će ovisiti o trenutnoj visini troškova uređaja i instalacija, troškova goriva, utroška vlastitog rada i standarda koji mu pruža pojedini sistem. Da bi se postigla optimalna energetska opskrba korisnika, nužno je, međutim, usmjeriti krajnje korisnike na one oblike energije koji za korisnika i za društvenu zajednicu u jednom dužem razdoblju iziskuju minimalne troškove (pritom treba udovoljiti određenim uvjetima, posebno ekološkim, koji se javljaju u formi ograničenja).

Ogrjevnne potrebe korisnika mogu zadovoljiti različita tehnička rješenja i različiti energetske oblici:

- pojedinačne peći — drvo, ekstralako loživo ulje, gradski plin, ukapljeni plin, prirodni plin, lignit, mrki ugljen, električna energija
- etažno grijanje — drvo, ekstralako loživo ulje, gradski plin, ukapljeni plin, prirodni plin, lignit, mrki ugljen, električna energija
- kućna kotlovnica — ekstralako loživo ulje, gradski plin, prirodni plin, lignit, mrki ugljen
- blokovska kotlovnica — ekstralako loživo ulje, prirodni plin, lignit, mrki ugljen, teško loživo ulje
- toplana — prirodni plin, lignit, mrki ugljen, teško loživo ulje, uranij.

Slično tomu, brojne su i mogućnosti zadovoljavanja potreba za potrošnom toplom vodom i energijom za kuhanje.

Pri usporedbi tehničkih rješenja i energetske oblike nužno je pretpostaviti isti komfor odnosno »stan-

dard toplinske opskrbe«. Jednakost komfora se ne sagledava samo u pogledu postignuća nacionalnim standardima propisanih temperatura već i kroz potrebni osobni angažman (potreban rad za vođenje sistema).

Da bi se utvrdila ekonomičnost pojedinog tehničkog sistema u opskrbi urbanog područja, potrebno je za svaki od sistema postaviti granice promatranja takve da su njima obuhvaćeni svi uređaji i postrojenja, uključivo do mjesta za predaju topline. Granice se, u prvom koraku, postavljaju sukladno granicama građevinske kasete. Takav pristup naročito je važan ako se određena kasete opskrbljuje toplinom na način koji uvjetuje distributivni sistem. Unutar tako definiranih granica potrebno je utvrditi ove karakteristike sistema:

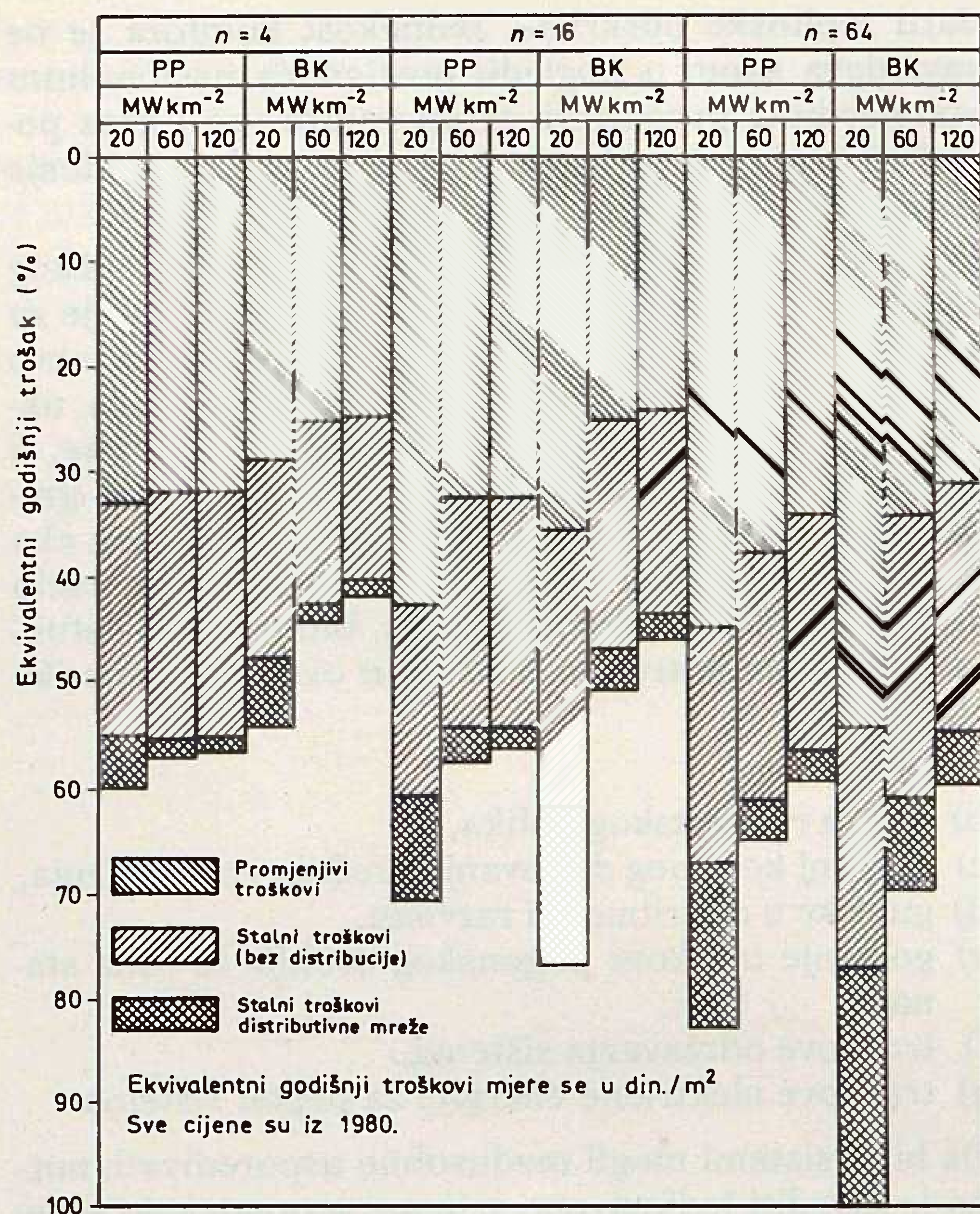
- a) investicije,
- b) cijenu energetske oblike,
- c) stupanj korisnog djelovanja uređaja i postrojenja,
- d) gubitke u distribuciji i razvodu,
- e) godišnje troškove pogonskog osoblja ili rada stanara,
- f) troškove održavanja sistema,
- g) troškove električne energije za pogon sistema.

Da bi se sistemi mogli međusobno uspoređivati, nužno je utvrditi jedinstveno vrijeme promatranja sistema kako bi se investicije, troškovi goriva i ostali troškovi sveli na isti nazivnik.

Promatramo li izdatke zajedno, postoje značajne razlike u dinamici i strukturi izdataka između pojedinih sistema. Da bi tako različiti sistemi kao što je opskrba ogrjevnom toplinom iz pojedinačnih peći ložene ugljenom npr. u obiteljskoj kući mogli usporediti s opskrbom ogrjevnom toplinom gusto izgrađenog naselja s višekratnim objektima iz nuklearne toplane, pogodno je koristiti tzv. ekvivalentne godišnje troškove koji obuhvaćaju aktualiziranu vrijednost svih troškova koji se pojavljuju u odabranom vremenskom intervalu svedenu na jedinicu grijane površine.

Za usporedbu pojedinih sistema energetske opskrbe nije prihvatljivo promatrati npr. samo investicije u distribuciji, ili samo troškove goriva, ili samo pogonske troškove. Da bi se ilustrirala navedena tvrdnja, dovoljno je pogledati strukturu troškova pri opskrbi kasete stanovanja s nekoliko tehničkih sistema (slika 4).

Iz dijagrama je vidljivo da je struktura troškova međusobno različita ovisno o karakteristikama kasete (broj objekata u kaseti i toplinska gustoća — obje značajke odnose se na tzv. uvjetnu kasetu, pravokutnog oblika, dimenzija 160 m × 315 m i centralno simetričnog rasporeda objekata) te tehničkog sistema energetske opskrbe. Struktura troškova razgraničena je na investicije, troškove goriva i ostale stalne i promjenjive troškove u kaseti (ostali troškovi sadrže troškove radne snage, investicijsko i tekuće održavanje, troškove električne energije za pogon uređaja za transformaciju i distribuciju energije, troškove osiguranja, ostale materijalne troškove). Investicije i najveći dio ostalih troškova izravno su definirani tehničkim rješenjem odnosno sistemom energetske



Legenda: PP – Opskrba kasete prirodnim plinom za zadovoljavanje svih toplinskih potreba
BK – Opskrba toplom vodom za grijanje i pripremu tople vode iz kotlovnice ložene ugljenom i ukapljenim plinom za kuhanje

Slika 4. Struktura ekvivalentnih godišnjih troškova za toplinsku opskrbu domaćinstva (grijanje, priprema tople vode, kuhanje) ovisno o broju objekata u uvjetnoj kaseti i toplinskoj gustoći

opskrbe. Njihovi međusobni odnosi, uspoređujući dva sistema opskrbe, ne mijenjaju se znatnije u dužem periodu promatranja (to posebno vrijedi za sisteme koje ne traže znatnije angažiranje ljudskog rada pri eksploataciji). S cijenama energije situacija je bitno drugačija i one su u prošlosti, a tako će biti i ubuduće, bile osnovni element koji je utjecao na promjenu preferencija jednog sistema energetske opskrbe u odnosu na drugi. U svjetlu tog fenomena treba da se sagledavaju i poruke događaja u energetici svijeta iz sedamesetih godina.

U vezi s dijagramom na slici 4. posebno je važno naglasiti da su svi računi provedeni uz pretpostavku da je pri individualnom načinu opskrbe (opskrba prirodnim plinom) godišnje potrebna korisna energija za grijanje 20% manja nego pri opskrbi iz centraliziranog sistema na nivou blokove kotlovnice. To je zasigurno ekstremni slučaj uvažavanja mogućnosti racionalizacije korištenja ogrjevnice topline individualnim podešavanjem trenutnim potrebama. Ta je pretpostavka u uvjetima dvosobnog ili manjeg stana teško ostvariva (ako se, jasno, ne računa s redukcijom potreba i svim posljedicama koje iz toga proizlaze).

Uz navedene pretpostavke korisno je upoznati spoznaje do kojih se došlo optimiranjem energetske strukture u gradu Zagrebu.

4.2. Spoznaje u pogledu izbora energetske strukture

Godine 1982. izrađena je u Institutu za elektroprivredu studija »Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područje Zagreba do 2000. godine« [L 4]. Između ostalog, studija je optimirala i strukturu energetske opskrbe (u pogledu izbora tehničkog rješenja i energetskog oblika) za zadovoljavanje potreba korisnika u sektoru stanovanja i zajedničkih sadržaja (ogrjevnice potrebe, potrebe u potrošnoj toploj vodi, toplini za kuhanje i nesupstituabilnoj električnoj energiji). Od razmatranih 936 mogućih varijanti opskrbe svake kasete, pokazalo se da je u uvjetima grada Zagreba ekonomski opravdano primijeniti svega 2 rješenja:

- (1) Grijanje i priprema potrošne tople vode osiguravaju se putem centraliziranog toplinskog sistema (blokove ili gradske toplane) u kojem se za transformaciju koristi nuklearno gorivo i ugljen (za bazno opterećenje) te teško loživo ulje i prirodni plin (za vršno opterećenje).
- (2) Sve toplinske potrebe osiguravaju se prirodnim plinom (za grijanje prostorija pokazalo se da je ekonomski povoljnije grijanje pojedinačnim plinskim pećima nego etažnim sistemom, no zbog neznatne razlike u ukupnim troškovima 3–5% i većeg komfora treba, dugoročno gledajući, preferirati etažni sistem na prirodni plin).

Pokazalo se, nadalje, da je građevinske kasete veće toplinske gustoće i specifično manjeg broja objekata (to su uglavnom kasete visoke kolektivne gradnje ili, u grubo, kasete iznad dijagonale u križaljci sa slike 1) najpovoljnije opskrbiti sistemom ad (1). Pri ostalim građevinskim kasetama (manja toplinska gustoća i specifično veći broj objekata) povoljnije je koristiti prirodni plin (uspoređi sliku 4).

Navedene spoznaje temelje se na ekonomskoj usporedbi i pretpostavljaju da su godišnje raspoložive količine energetske oblika neograničene. U uvjetima ograničenja u pogledu raspoloživih količina prirodnog plina područje grada s najmanjom toplinskom gustoćom i specifično najvećim brojem objekata trebaće opskrbljivati iz individualnih peći, etažnih ili kućnih kotlovnica na ugljen (u grubo, radi se o kasetama iz desnog donjeg kuta križaljke sa slike 1).

S obzirom na mogućnosti centraliziranog toplinskog sistema u pogledu korištenja različitih vrsta goriva (ugljen, plin, teško loživo ulje, uranij) moguće je osigurati potrebnu diverzifikaciju korištenja goriva na urbanom području. Ta diverzifikacija čini ga dovoljno fleksibilnim pri mogućim promjenama u energetskoj privredi zemlje i svijeta.

Drugi značajan doprinos koji se postiže u centraliziranim toplinskim sistemima jest očuvanje energije proizvodnjom topline u proizvodnim jedinicama spojnog procesa. U uvjetima dovoljno velikog toplinskog konzuma, koji opravdava izgradnju proizvodnih jedinica spojnog procesa, smanjenje energije goriva za zadovoljavanje potreba krajnjeg korisnika može biti znatno, a da pri tome krajnji korisnik dobije ukupno potrebnu korisnu energiju. Za prilike razvoja centraliziranog toplinskog sistema u gradu Zagre-

bu u 2000. god. (s predviđenim učešćem proizvodnih jedinica spojnog procesa u potrebnoj snazi sistema 40–60%) potrebna energija u gorivu za zadovoljavanje ukupnih ogrjevnih potreba uvjetnog stana (60 m²) će iznositi:

- pri eksergetske raspodjeli goriva kod proizvodnih jedinica spojnog procesa 19,9 GJ/uvjetni stan
- pri energetske raspodjeli 46,6 GJ/uvjetni stan.

Za stanove izvan centraliziranog toplinskog sistema ove potrebe ocjenjuju se na 50,2 GJ/uvjetni stan.

Razlika između energetske i eksergetske raspodjele goriva predstavlja u stvari uštedu energije goriva koja dolazi zbog korištenja racionalnog sistema transformacije goriva u potrebne oblike energije. Ukupna ušteda energije s ovim sistemom dosiže i 60% u odnosu na odvojenu proizvodnju, odnosno pojedinačne sisteme opskrbe. Ima li se u vidu da se u takvim sistemima mogu koristiti i manje vrijedna goriva, tada su efekti utoliko značajniji.

Komplementarnost plinskog sistema centraliziranom toplinskom sistemu očituje se ne samo sa stajališta optimalnosti energetske strukture već u mogućnosti racionalnog korištenja plina u odnosu na druge oblike goriva (drvo, ugljen). Plin kao gorivo omogućava korištenje uređaja uz relativno visok stupanj korisnosti transformacije kod pojedinačnih sistema (70–80%), te mogućnosti prilagođavanja potreba korisnika stvarnim potrebama.

5. ZAKLJUČAK

Racionalno korištenje energije pretpostavlja mjere i aktivnosti rada postignuća ekonomski optimalne i ekološki povoljne energetske strukture. Radi ispunjenja tog cilja nužno je obuhvatiti sve elemente energetske sistema:

- pridobivanje primarnih oblika energije
- energetske transformacije
- prijenos i distribucija energije
- predaja energije korisniku
- energetske potrebe korisnika.

Imajući na umu potrebu sagladavanja čitavog sistema, usmjerena je u ovom radu pažnja na mogućnost i efekte koji se mogu postići pojedinim mjerama u opskrbi ogrjevnom toplinom stambenih i zajedničkih sadržaja. Odmah treba istaći da ni jedna mjera racionalizacije energije u ovom sektoru ne smije narušiti uvjete ugodnosti i kvalitete života i time utjecati na zdravlje stanovništva.

Analize su pokazale da u vezi s efikasnošću pojedine mjere za racionalizaciju korištenja ogrjevne topline nije moguće donositi a priori stavove, već da njihov doseg ovisi o uvjetima u urbanoj sredini, u sklopu čega ih i treba promatrati.

Tako, na primjer, efekti koji se mogu postići isključivanjem grijanja ili individualnom regulacijom temperature u pojedinoj prostoriji korisnika nisu zanemarivi. U našim uvjetima, međutim, s obzirom na socijalne značajke stanovanja, taj je efekt u znatnoj

mjeri ograničen u odnosu na zapadnoevropske zemlje. Najmanji efekti postižu se u domeni kolektivnog stanovanja s obzirom na relativno niski nivo stambenog standarda (manje stambene jedinice, s manjim brojem prostorija i relativno velikim brojem stanovnika po stambenoj jedinici). Kod individualne gradnje stambeni je standard viši, pa je moguće postići i znatno veće efekte.

U neposrednoj vezi s navedenim jesu iskustva do kojih se došlo optimiranjem energetske strukture u jednom većem gradu — Zagrebu [L 4]. Pokazalo se da je korisnike u području stanovanja i zajedničkih sadržaja najpovoljnije opskrbiti iz centraliziranog toplinskog sistema ako su toplinske gustoće naselja velike (ta područja odgovaraju npr. područjima visoke kolektivne gradnje). Pri manjim toplinskim gustoćama (npr. individualna stambena gradnja) bez premda je opskrba prirodnim plinom ili (u područjima najmanjih toplinskih gustoća) neki od etažnih sistema opskrbe. Uspoređujući te spoznaje sa stavovima iz prethodnog pasusa, proizlazi da je tako određenoj strukturi energetske opskrbe inherentna visoka kvaliteta u pogledu štednje energije. Naime, u područjima predviđenim za opskrbu iz centraliziranog toplinskog sistema (visoka kolektivna gradnja) efekti koji se mogu postići individualnom regulacijom pri svakom korisniku manji su zbog niskog stambenog standarda, ali su stoga uštede koje se postižu centralnom transformacijom energije goriva u jedinicama spojnog procesa velike. Suprotno tome, u područjima predviđenim za opskrbu ogrjevnom toplinom iz etažnih sistema (individualna gradnja) omogućena je znatna štednja energije pri korisniku, što relativno viši stambeni standard i dozvoljava.

Nadalje, valja istaći da su, bez obzira na sistem energetske opskrbe, mogućnosti štednje ogrjevne topline visoke poboljšanjem kvalitete toplinske zaštite zgrada i pravilnim planiranjem naselja.

Sve navedene faktore treba pažljivo analizirati i kvantificirati radi pravilnog usmjeravanja krajnjih korisnika kako u pogledu potrebne toplinske kvalitete objekta, tako i u pogledu pravilnog izbora oblika energije, vrste transformacije i sistema za dobavu energije. Energetsku opskrbu u urbanim područjima potrebno je razvijati i usmjeravati onako kako je za grad i zemlju u cjelini najpovoljnije. To se može postići pravovremenim aktivnostima, primarno u planiranju razvoja grada i njegove energetske opskrbe kroz primjereno dugo vremensko razdoblje.

LITERATURA

- [1] D. ĆORAK, Z. MUŽEK, »Pristup dugoročnom usmjeravanju energetske opskrbe urbane sredine«, Savjetovanje o energiji, Opatija, 1985.
- [2] Statistički godišnjak Jugoslavije 1985, Savezni zavod za statistiku, Beograd, 1985.

- [3] Z. MUŽEK, »Potrošnja energije u gradu Zagrebu u razdoblju 1978 — 1984. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [4] D. ĆORAK i ostali, »Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.
- [5] C. FICHER, »An Overview of Residential« (Commercial Energy Consumption and Conservation in the IEA Countries, New Energy Conservation Technologies and their Commercialization), Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1981

POSSIBILITIES OF POWER RATIONALIZATION BY CHOICE OF POWER STRUCTURE IN ACCORDANCE WITH STRUCTURE OF DWELLING

In the article are presented possibilities of power rationalization in urban area in relation to urban, architectural and social conditions. It is presented that diversity and complement of power supply effect on power rationalization.

MÖGLICHKEITEN EINER RATIONALISIERUNG DER ENERGIE DURCH EINE AUSWAHL DER WOHNUNGSSTRUKTUR ANGEMESSENEN STRUKTUR

Hier spricht man über die Möglichkeit einer Rationalisierung des Energieverbrauches auf urbanen Gebieten, bezüglich der urbanistischen, architektonischen und sozialen Bedingungen. Es zeigte sich, daß die Diversifikation und Komplementarität der Energieformen inhärent auch bedeutende Energiesparmaßnahmen enthalten.

ВОЗМОЖНОСТИ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ ВЫБОРОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ, ПРИСПОСОБЛЕННОЙ К СТРУКТУРЕ ПРОЖИВАНИЯ

Представлены возможности рационализации использования энергии в городской среде в зависимости от урбанистических, архитектурных и социальных условий. Показано, што диверсифицированность и комплементарность энергетических форм неотделимо обладают также значительными возможностями экономии энергии.

Naslov pisca:

**dr Duško Ćorak, dipl. inž.
Zdravko Mužek, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:
1986 — 10 — 10

PRORAČUN UTJECAJA DOZVOLJENOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA RIJEKE SAVE NA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE NE KRŠKO

mr Berislav Nadinić, Zagreb

UDK 621.039.5.005

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku se prikazuje metoda za kompleksno sagledavanje funkcioniranja hladnog kraja postrojenja NE Krško.

Ključne riječi: hladni kraj, toplinsko opterećenje.

1. UVOD

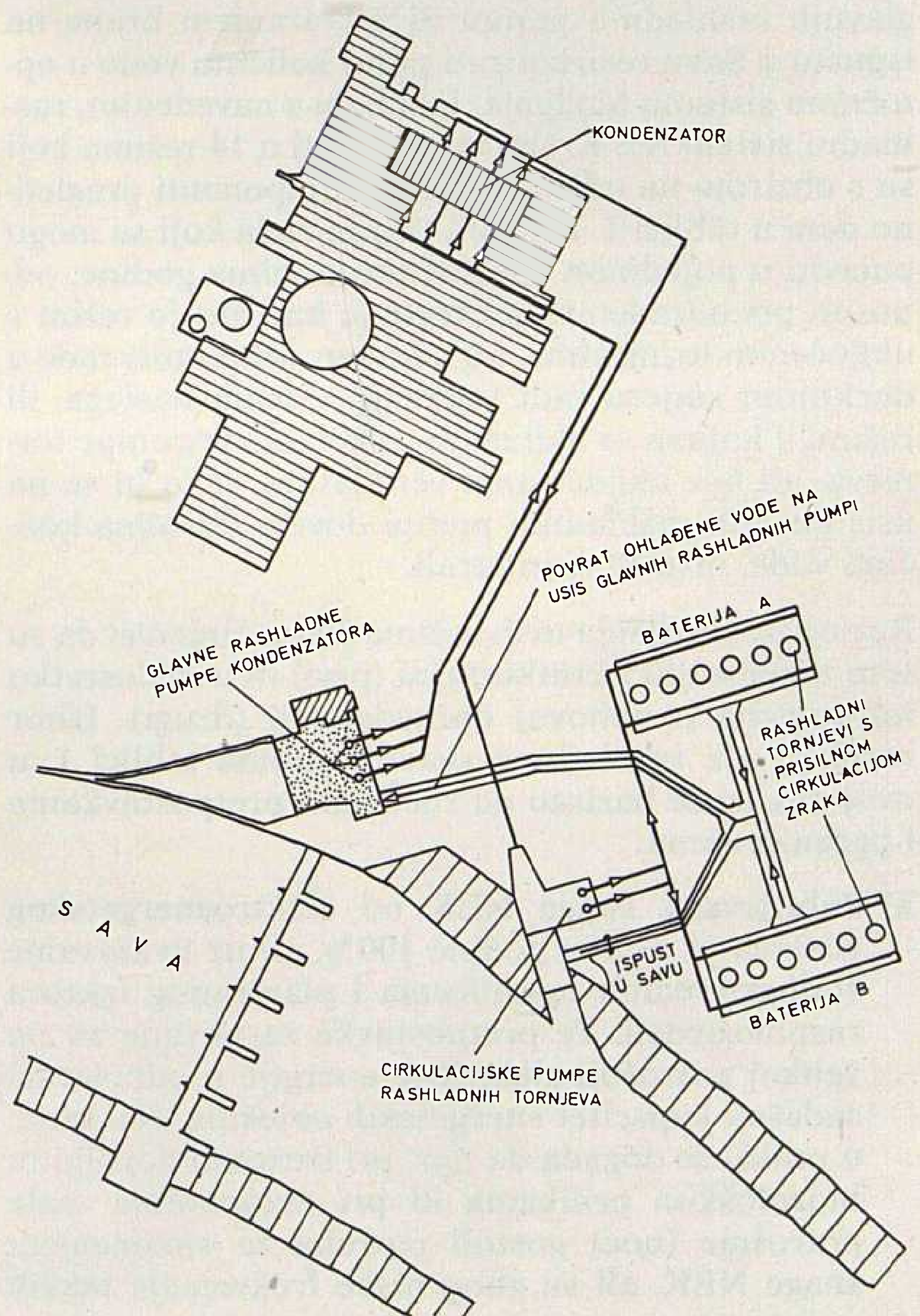
Potreba za energijom neprestano raste i u razvijenim zemljama i u zemljama u razvoju. Da bi zadovoljila sve veću potrebu za električnom energijom, naša zemlja u okviru svojih mogućnosti izgrađuje nova elektroenergetska postrojenja, ali također nastoji i što bolje iskoristiti postojeća. U sklopu ovih nastojanja javili su se prijedlozi da se našoj prvoj nuklearnoj elektrani u Krškom dopusti veće toplinsko opterećenje Save kako bi se povećala njezina proizvodnja. Prve ocjene koje su se odnosile na to koliko bi određena povećanja toplinskog opterećenja Save utjecala na proizvodnju NE Krško bile su vrlo različite zbog nedostatka kvalitetne kvantitativne analize. Ovakva analiza ostvarena je pomoću matematičkog modela rada rashladnog sistema NE Krško visokog stupnja složenosti koji je detaljno prikazan u sljedećem tekstu. Rezultati spomenutog matematičkog modela koji je pretočen u odgovarajući kompjutorski program predstavljaju uz određene ekološke analize osnovu za donošenje odluke o promjeni dozvoljenog termičkog opterećenja rijeke Save od NE Krško.

2. OPIS RASHLADNOG SISTEMA NE KRŠKO I OPĆI PRISTUP MODELIRANJU NJEGOVOG RADA

NE Krško je projektirana za protočni rashladni sistem s pomoćnim rashladnim tornjevima. Ovakva izvedba kombiniranog rashladnog sistema mora omogućiti poštivanje uvjeta vodoprivrede i zaštitu Save od toplinskog zagađenja. Izbor tipa tornjeva i kapacitet hlađenja prilagođen je nazivnoj snazi NE Krško i karakteristikama malovodnih protoka rijeke na lokaciji. U kritičnim malovodnim periodima rashladni tornjevi uključuju se u optočni pogon i recirkuliraju u zatvorenom krugu 15 m³/s rashladne vode. Ovim načinom omogućuje se smanjenje potreba za svježom rashladnom vodom iz rijeke za 60%, odnosno

samo 10 m³/s rashladne vode iz rijeke zadovoljava normalno pogonsko stanje elektrane kod pune snage.

Shema rashladnog sistema prikazana je na slici 1.



Slika 1. Shema protočnog rashladnog sistema s pomoćnim rashladnim tornjevima NE Krško

Rashladni tornjevi izvedeni su kao baterijski tornjevi s prisilnom cirkulacijom. Glavni projektant tornjeva, tvrtka »Marley«, primijenila je za ovu svrhu svoje standardne tipove vlažnih rashladnih tornjeva s poprečnim nastrujavanjem vode i zraka. Rashladni tornjevi podijeljeni su u dvije nezavisne baterije tornjeva sa šest ćelija u svakoj bateriji. Prijelaz topline odvija se u struji vode i zraka, i to najvećim dijelom odnošenjem topline ishlapljivanjem vode, a samo manjim dijelom direktnom konvekcijom na dodirnim površinama raspršene vode u struji zraka.

Kako je vidljivo iz slike 1, zahvat rashladne vode za tornjeve nalazi se u bazenu iza preljevnog bunara. Za punu snagu hlađenja predviđene su dvije pumpe rashladne vode za tornjeve s kapacitetom dobave $2 \times 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i instaliranom snagom elektromotora od $2 \times 2000 \text{ kW}$. Razdjelni kanal rashladne vode i raspored ventila omogućuje pogon i samo jedne pumpe na obje baterije rashladnih tornjeva, kao i pogon pumpe sa samo jednom po volji izabranom baterijom rashladnih tornjeva. Ovim načinom omogućena je velika fleksibilnost rada tornjeva u prijelaznim malovodnim razdobljima kada se ne zahtijeva puna snaga tornjeva. Iz sabirnih bazena ohlađene vode moguće je vršiti distribuciju vode ispustom $3 \text{ m}^3/\text{s}$ vode u Savu i povratom preostale količine od $12 \text{ m}^3/\text{s}$ na usis glavnih rashladnih pumpi ili zatvaranjem brane na ispustu u Savu recirkulirati punu količinu vode u optočnom sistemu hlađenja. U skladu s navedenim, rashladni sistem NE Krško može raditi u 14 režima koji su s obzirom na udio pojedinih komponenti pregledno dani u tablici 1. Posebni režimi rada koji se mogu pojaviti u pojedinim specifičnim dobima godine, odnosno pri određenim protocima, kao što je režim s uključenim tornjevima, ali u kojem ventilatori rade u obrnutom smjeru radi topljenja ledenih naslaga, ili režimi u kojima se uključuju cirkulacione pumpe tornjeva, ali bez uključivanja ventilatora kako bi se na usis glavnih rashladnih pumpi dovela dovoljna količina vode, nisu se razmatrali.

Razlog izostavljanja ovih režima jest u činjenici da su vrlo malobrojni i kratkotrajni (prvi) ili u nedostatku informacija o njihovoj opravdanosti (drugi). Izbor režima rada rashladnog sistema prema tablici 1. u ovoj analizi se bazirao na sljedećim pretpostavkama i ograničenjima:

- Zahtijevana snaga NEK od elektroenergetskog sistema je u toku godine 100%, ali uz uvažavanje vodoprivrednih ograničenja i planiranog faktora raspoloživosti. Te pretpostavke zasnovane su na velikoj potrošnji električne energije u odnosu na sadašnji kapacitet energetske objekata. Naravno, u praksi se događa da npr. pri izuzetno povoljnim hidrološkim prilikama ili pri razdobljima male potrošnje (noć) postoji potreba za smanjenjem snage NEK, ali su zbog niske frekvencije takvih pojava one zanemarene.
- Osnovni kriteriji pri izboru režima rada rashladnog sistema su vodoprivredna ograničenja. Postojeća ograničenja su prema lokacijskoj dozvoli [L 3] sljedeća:

Tablica 1. Pregled mogućih režima rada rashladnog sistema NE Krško

Broj režima	Br. uključenih glavnih rash. pumpi	Br. uključenih pumpi za rash. tornjeve	Br. uključenih baterija rash. tornjeva	Otvorenost direktnog ispusta vode rash. tornjeva u Savu (0-zatvoreno, 1-otvoreno)
1	3	0	0	0
2	2	0	0	0
3	3	1	1	0
4	2	1	1	0
5	3	2	2	0
6	2	2	2	0
7	3	1	1	1
8	2	1	1	1
9	3	2	2	1
10	2	2	2	1
11	3	1	2	0
12	2	1	2	0
13	3	1	2	1
14	2	1	2	1

- Maksimalna temperatura vode u vodotoku iza elektrane nakon potpunog miješanja ne smije biti viša od 28°C .
- Maksimalni prirast temperature riječnog toka ne smije biti veći od 2°C , odnosno 3°C ako se poveća čistoća vode, što do današnjeg dana nije ostvareno.
- Maksimalno dopušteno oduzimanje vode iz riječnog korita je $1/4$ protoka Save.

Za svrhe ovog rada pretpostavljeno je još 7 dodatnih varijanti ograničenja koja se razlikuju po različitom dozvoljenom maksimalnom prirastu temperature riječnog toka, tj. analizirane su varijante s dozvoljenim maksimalnim prirastom temperature od 2; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3; 4; 5°C .

- Dodatni kriterij, kojim se između režima koji za specifični slučaj zadovoljavaju vodoprivredna ograničenja izabire optimalan, jest snaga na pragu elektrane, tj. optimalan je onaj režim koji zadovoljava vodoprivredna ograničenja i ostvaruje najveću snagu na pragu elektrane.
- Pretpostavlja se da NE Krško u svim uvjetima (hidrološkim i meteorološkim) radi sa kako je prethodno definirano, optimalnim režimom rada rashladnog sistema.
- Izbor hidroloških i meteoroloških podataka potrebnih za određivanje režima rada rashladnog sistema u toku godine obavljen je na sljedeći način. Poznato nam je da se temperatura i protok rijeke, temperatura, vlažnost i pritisak zraka s obzi-

rom na klimatske i geografske uvjete neprekidno mijenjaju u toku godine.

Iz navedenih razloga izbor srednjih godišnjih vrijednosti ili posebno ljetnih i zimskih karakterističnih parametara ne predstavlja pravo rješenje za određivanje režima rada rashladnog sistema. Nasuprot tome, potpuno dinamičko sagledavanje problema zahtijevalo bi ponavljanje proračuna posebno svaki dan u godini, odnosno svaki sat zbog često znatnih kolebanja temperatura između dana i noći. Jasno je da bi ovakav postupak doveo do prevelikih komplikacija u obradi, iako bi rezultati bili točniji. Sve to upućuje da je potrebno tretirati problem uz nešto šire intervale nepromijenjenog stanja. Za temperaturu, pritisak i vlažnost zraka, kao i temperaturu rijeke, pretpostavljeno je da su konstantne u toku svakog mjeseca.

Ovi podaci određivani su na osnovi hidrometeoroloških zapažanja u toku dužeg razdoblja, kao srednja mjesečna vrijednost. Protok rijeke kao posebno važna veličina koja diktira dozvoljenu količinu rashladne vode, a time i broj sati rada rashladnih tornjeva, zahtijeva precizniju obradu. U tom smislu izračunato je prosječno vrijeme trajanja određenog protoka unutar svakog mjeseca. Na primjer, protok Save između $80 \leq Q \leq 100 \text{ m}^3/\text{s}$ traje prosječno u mjesecu ožujku 2,2661 dana. Ovako definirana veličina je osnovna vremenska jedinica unutar koje su svi ostali parametri okoline stalni. Određivanje režima rada, a time i proizvodnje električne energije računa se po svakoj osnovnoj jedinici, a zatim se sumira po mjesecima, a zatim za cijelu godinu.

- f) Zbog velike kompleksnosti rada rashladnog sistema NEK-a na osnovu iznesenih pretpostavki, potrebno je bilo matematičkim modeliranjem izraditi kompjutorski program koji simulira rashladni sistem NEK kako bi se utvrdili optimalni reži-

mi za pojedine situacije, a time i ukupna proizvodnja NEK-a. Pojednostavljeni blok-dijagram dan je na slici 2.

Program »PART« sastoji se od glavnog programa i niza potprograma od kojih svaki obrađuje određenu komponentu rashladnog sistema ili određeni problem. Ti potprogrami su sljedeći:

- potprogram za simulaciju rada glavnih rashladnih pumpi,
- potprogram za određivanje utjecaja temperature i količine rashladne vode na snagu elektrane,
- potprogram za simulaciju rada rashladnih tornjeva NE Krško,
- potprogram za proračun vlastite potrošnje elektrane kod različitih režima rada rashladnog sistema,
- potprogram za programiranje tabelarnih ispisa rezultata.

Matematički modeli na kojima su zasnovani ovi potprogrami dani su detaljno u točki 4.

3. PREGLED KORIŠTENIH HIDROLOŠKIH I METEOROLOŠKIH PODATAKA

3.1. Hidrološki podaci

3.1.1. Protoci

Za potrebe određivanja režima rada rashladnog sistema izrađena je analiza protoka rijeke Save za razdoblje od 1953. do 1982. godine. Podaci su obrađeni prema mjerenjima izvedenim na vodnoj stanici Rateče koja se smatra referentom za NE Krško, a nalazi se oko 45 km uzvodno od elektrane.

U tablici 2. dane su učestalosti pojave različitih intervala protoka (jedan interval iznosi $20 \text{ m}^3/\text{s}$) za spomenuti period.

Od hidroloških podataka za potrebe programa »PART« potrebno je posjedovati i funkciju promjene nivoa vode o protoku Save na brani NE Krško tzv. konsumpcijsku krivulju. Ova funkcija nam je potrebna jer se pomoću nje za određeni protok Save može odrediti visina usisa glavnih rashladnih pumpi kondenzatora i prikazana je u području od interesa (za protoke $30 \text{ m}^3/\text{s}$ - $250 \text{ m}^3/\text{s}$) na slici 3.

Također je potrebno poznavati i funkciju visine vode u preljevnom bunaru o dotoku vode u njega jer je ova visina izlazna visina glavnih rashladnih pumpi kondenzatora. Prema podacima Vodogradbenog instituta — Ljubljana ona je prikazana na slici 4.

Sve navedene funkcije aproksimirane su najpogodnijim analitičkim izrazima uz potrebu metode najmanjih kvadrata.

3.1.2. Temperature

Prosječne temperature rijeke Save su po mjesecima, prema podacima iz lit. [1], prikazane u sljedećoj tablici:



Slika 2. Blok — dijagram programa »PART«

Tablica 2. Prosječan broj dana po mjesevima za protoke Save unutar određenog intervala prema mjerenjima izvršenim na V.S. Rateče u razdoblju od 1953. do 1982. g.

Interval (m ³ /s)	Srednji protoci intervala	Mjeseci											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q < 40$	38	0	0	0	0	0	0	0	0,0341	0	0	0	0
$40 \leq Q < 60$	50	0,0992	1,5344	0,1674	0	0	0	0	0,1333	1,833	1,2329	0,399	0,0341
$60 \leq Q < 80$	70	2,7342	2,4668	0,6324	0	0	0	1,1346	3,999	4,668	4,2346	2,268	0,7675
$80 \leq Q < 100$	90	4,6345	3,7660	2,2661	0,666	0,0992	1,2990	3,2333	6,2682	5,268	3,8006	1,8	2,666
$100 \leq Q < 120$	110	4,433	2,9008	2,6009	1,4670	1,0013	2,4	5,2328	7,1331	3,834	3,7324	1,734	2,7342
$120 \leq Q < 140$	130	2,6319	2,2008	2,7652	2,067	1,6337	3,234	4,1013	4,4671	2,5680	2,232	1,734	3,2574
$140 \leq Q < 160$	150	2,8985	2,100	2,8985	2,301	2,7652	2,6010	3,6673	2,3653	1,866	2,3653	1,299	2,1669
$160 \leq Q < 180$	170	1,8321	2,100	2,7652	2,001	2,8985	3,366	2,3994	1,6678	1,668	1,1346	1,800	2,666
$180 \leq Q < 200$	190	1,6678	1,1004	2,6319	1,734	2,5668	3,399	1,7329	1,0013	0,732	0,9331	1,368	2,0677
$200 \leq Q < 220$	210	1,1005	0,8336	2,2336	2,2680	2,666	2,499	1,5004	0,7347	1,068	0,8339	1,368	1,5345
$220 \leq Q$	230	8,9683	8,9964	12,2388	17,496	17,369	11,202	7,998	3,1961	3,495	10,0006	16,23	13,0975

Napomena: Za srednji protok intervala $0 < Q < 40$ izabran je najniži protok koji je uopće izmjeren u razdoblju od 1953. do 1984. godine. Uzimanje manjeg protoka kao srednjeg za taj interval ne bi u ovom kontekstu imalo smisla.

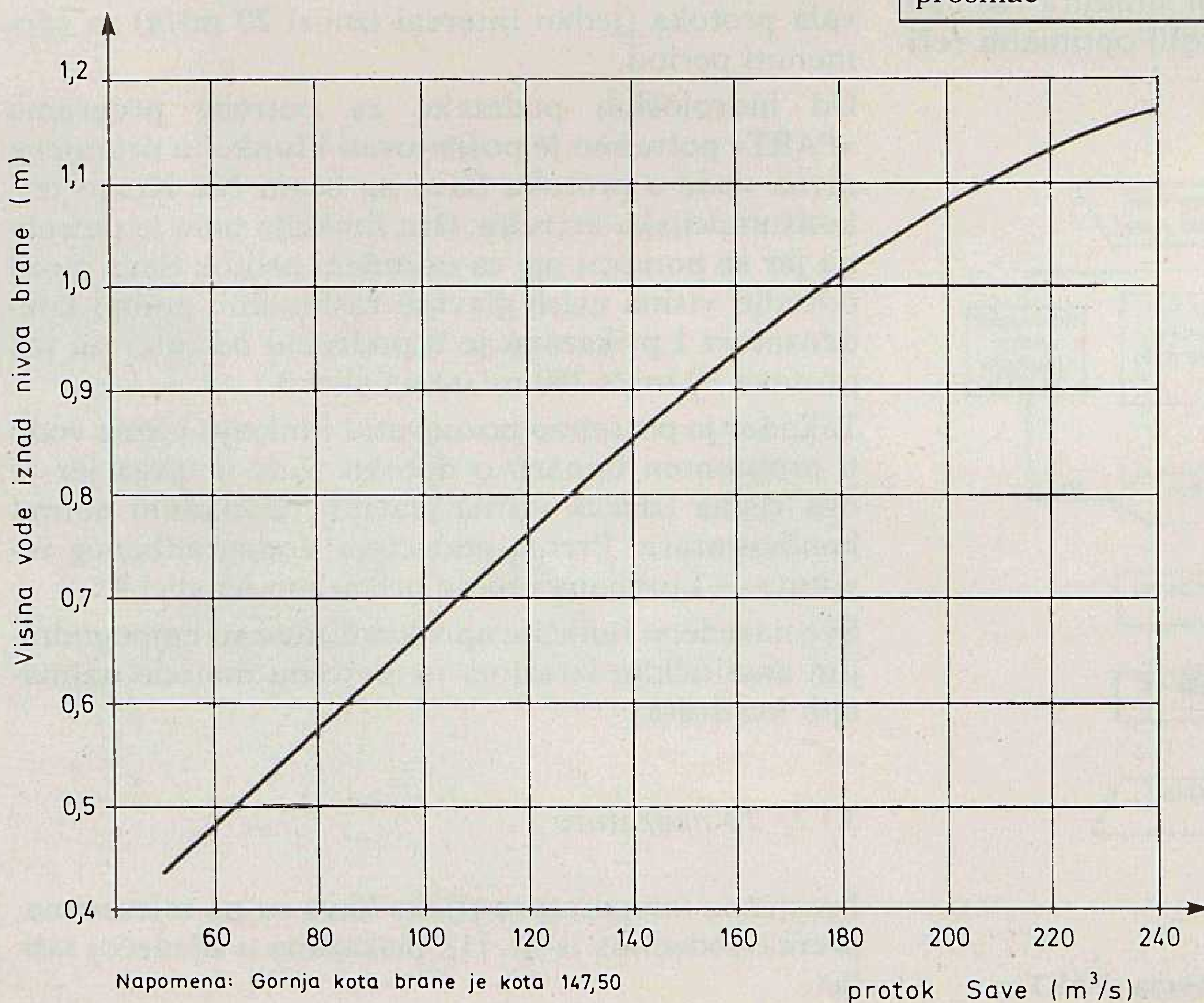
Prosječna temperatura Save po mjesecima												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
4,3	5,7	7,6	11,8	12,9	15,9	17,1	16,9	15,4	12,1	8,5	5,1	

3.2. Meteorološki podaci

Podaci za srednje mjesečne vrijednosti temperature, relativne vlažnosti i pritiska zraka za potrebe programa »PART« također su uzeti iz lit. [1] i nalaze se u tablici 3.

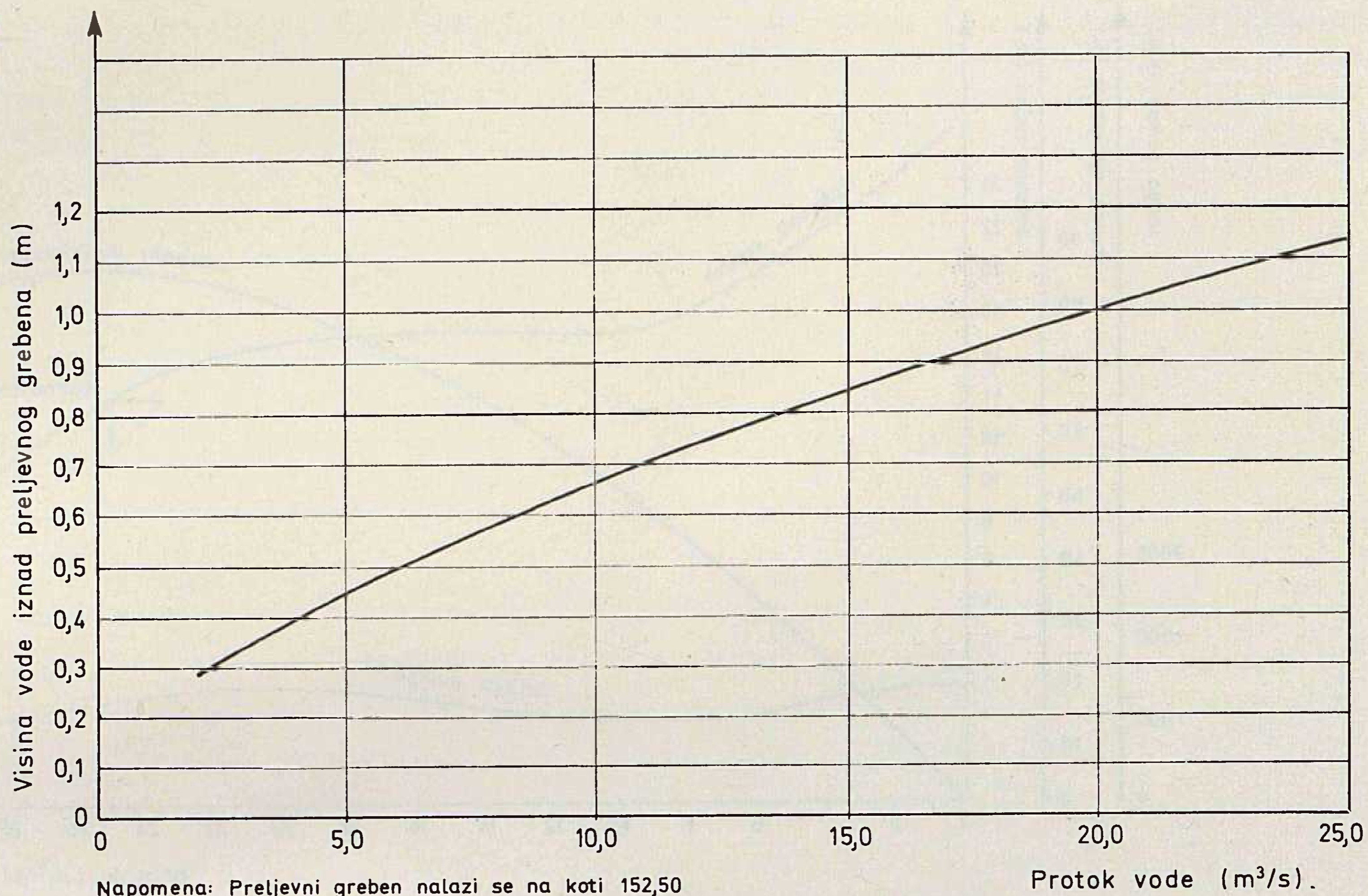
Tablica 3. Podaci za srednje mjesečne vrijednosti temperature relativne vlažnosti i pritiska zraka

Mjeseci	Temperatura zraka °C	Pritisak zraka mm/Hg	Relativna vlažnost zraka %
siječanj	-1,8	734,15	92
veljača	-0,4	732,91	86
ožujak	4,6	735,19	83
travanj	10,1	733,63	78
svibanj	14,2	738,05	80
lipanj	18,4	738,57	82
srpanj	19,8	739,48	82
kolovoz	19,0	738,67	84
rujan	15,2	740,94	88
listopad	10,0	735,89	90
studeni	4,8	735,99	91
prosinac	1,0	733,12	93



Slika 3. Konsumpcijska krivulja za slobodni odtok na brani NE Krško

Slika 4. Konsumpcijska krivulja preljevno bunara rashladne vode



4. OSNOVE MATEMATIČKOG MODELA RASHLADNOG SISTEMA NE KRŠKO

4.1. Općenito

Pri izradi matematičkih modela pojedinih komponenti rashladnog sistema NEK težilo se da se što je više moguće uvažava sva mjerenja koja su izvršena na tim komponentama, a u njihovom nedostatku koristili su se projektni parametri [1 2]. Na taj način može se smatrati da se u okviru danih mogućnosti maksimalno približilo stvarnim karakteristikama postrojenja. Mjerenja na kojima se velikim dijelom baziraju matematički modeli, odnosno veličine određenih koeficijenta, opisane su u [1 5, 6, 12, 21].

4.2. Matematički model rada glavnih rashladnih pumpi

Zadatak matematičkog modela glavnih rashladnih pumpi kondenzatora jest određivanje njihovog protoka u promjenljivim uvjetima rada u toku godine. Model obuhvaća utjecaje nekoliko najvažnijih parametara na rad rashladnih pumpi, tj. njihovu dobavu, a to su:

- nivo rijeke Save,
- nivo izlaznog preljevno bunara,
- promjena otpora strujanja rashladne vode u glavnom cjevovodu i kondenzatoru zbog promjene količine rashladne vode.

Svi ti utjecaji moraju se odraziti s promjenama po $Q-H$ krivulji pumpe koja je dana na slici 5. Za potrebe matematičkog modela ova je krivulja izražena matematički pomoću polinoma četvrtog stupnja koji je određen metodom najmanjih kvadrata.

U skladu s navedenim ukratko ćemo opisati algoritam proračuna.

Za pretpostavljeni protok moguće je izračunati visinu dobave pumpe prema sljedećoj relaciji:

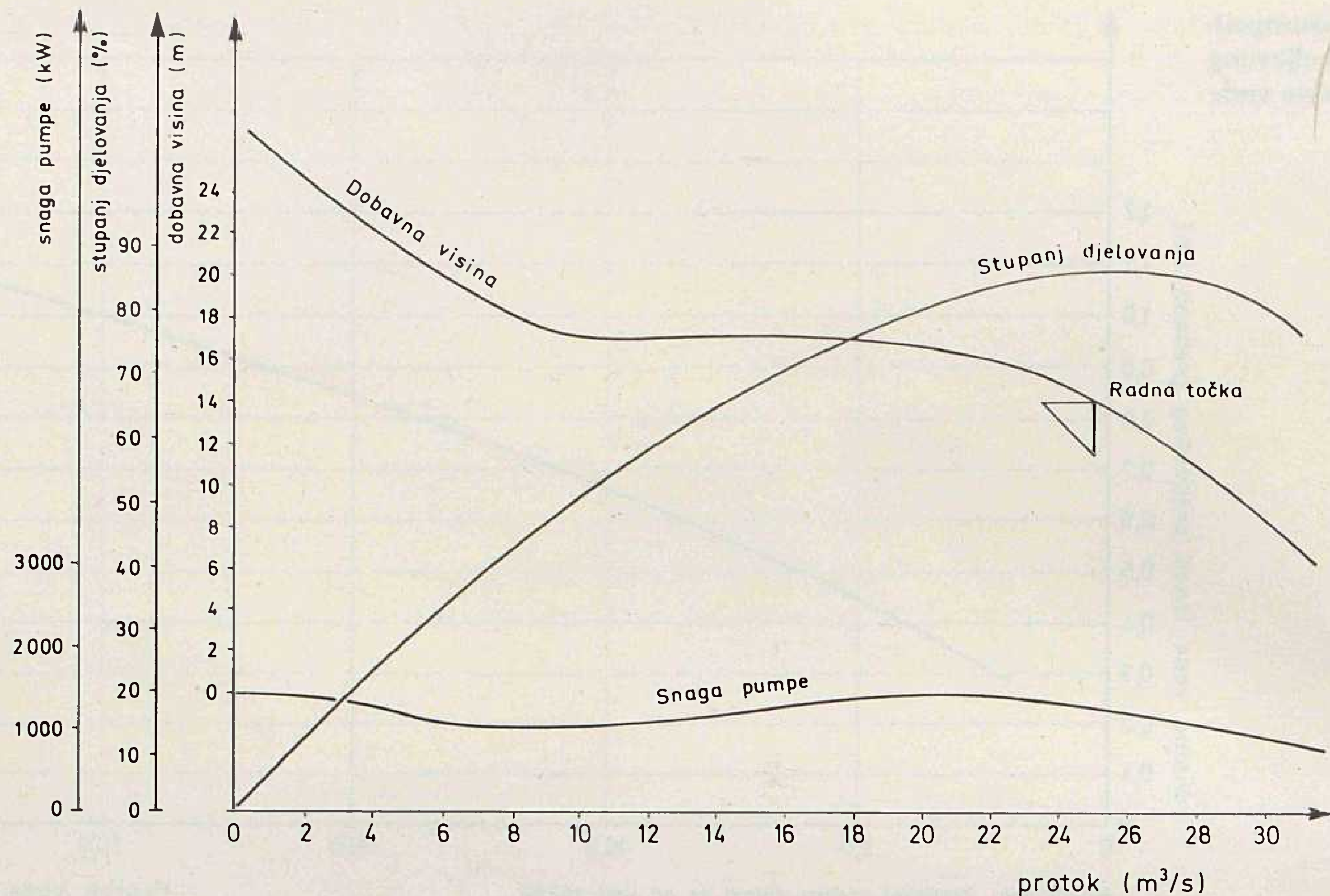
$$H_p = h_2 - h_1 + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} + \frac{1}{\rho \cdot g} (\Delta p_c + \Delta p_k) \quad (1)$$

gdje je:

- H_p — dobavna visina pumpe rashladne vode, m
- h_2 — preljevna visina koja je funkcija dotoka vode u preljevni bunar; ova funkcija dana je u prethodnom poglavlju, m
- h_1 — usisna visina pumpi koja ovisi o protoku Save (ova funkcija dana u prethodnom poglavlju), m
- W_2 — brzina vode na izlazu iz tlačnog cjevovoda, m/s
- W_1 — ulazna brzina vode u tlačnoj cijevi, m/s
- ρ — gustoća vode (funkcija temperature vode prema lit. 8), kg/m³
- g — akceleracija sile teže, m/s²
- Δp_c — pad pritiska u tlačnim cjevovodima, Pa
- Δp_k — pad pritiska u kondenzatoru, Pa.

Izlazna brzina vode iz tlačnog cjevovoda jest isključivo funkcija količine rashladne vode Q_{RV} . Prema tome, brzina vode (W_2) se može u svakom trenutku odrediti pomoću izraza

$$W_2 = \frac{Q_{RV} \cdot m}{Q_{RV0} \cdot m_0} \cdot W_0, \quad (2)$$



Slika 5. Q – H krivulja glavnih rashladnih pumpi kondenzatora NE Krško

gdje je:

- Q_{RV} — volumni protok rashladne vode u određenom trenutku, m^3/s
- Q_{RVO} — projektni volumni protok rashladne vode, m^3/s
- W_0 — projektna brzina rashladne vode koja odgovara Q_{RVO} , m/s
- m — broj rashladnih pumpi u pogonu
- m_0 — broj rashladnih pumpi u pogonu s kojima je postignut Q_{RVO} odnosno W_0 .

Vrijednosti pada pritiska u tlačnim cjevovodima računati su prema [l. 10], dok je pad pritiska u kondenzatoru izračunat prema [l. 7]. Nakon izračunavanja H_p prema jednadžbi 1, za prvi pretpostavljeni protok prema funkciji $H_p = f(Q)$ određuje se neovisno o prvoj drugu vrijednost za H_p , prema Q-H dijagramu.

Ako se prva i druga vrijednost H_p ne slažu, pretpostavlja se nova vrijednost za protok i proračun se ponavlja sve dok se ne postigne zadovoljavajuća točnost. Na taj način se za različite uvjete rada vrlo točno izračunavaju vrijednosti protoka i visine dobave rashladnih pumpi.

4.3. Određivanje utjecaja temperature i količine rashladne vode na snagu elektrane

Tlak u kondenzatoru kondenzacionih turbina određuje najnižu točku ekspanzione linije turbine i o njemu direktno ovisi mogući toplinski pad, a time i snaga turbine. U normalnim okolnostima (ispravan rad ejektora, propuštanje zraka u kondenzator u projektnim granicama) tlak u kondenzatoru je funkcija triju veličina:

$$p = f(G_{RV}, t_{RV}, G_p),$$

gdje je:

- p — tlak u kondenzatoru, Pa
- G_{RV} — količina rashladne vode, kg/s
- t_{RV} — temperatura rashladne vode, $^{\circ}C$
- G_p — količina pare koja ulazi u kondenzator (ovisi o opterećenju elektrane), kg/s .

Utjecaj različitih tlakova u kondenzatoru na snagu elektrane, prema podacima Westinghouse, prikazan je na slici 6. Za potrebe programa »PART« ovaj dijagram je izražen analitički. Postavlja se sada pitanje kako odrediti tlak u kondenzatoru u ovisnosti o količini rashladne vode i njezinoj temperaturi. Ovaj problem je riješen iterativnim postupkom uz upotrebu algoritma za proračun kondenzatora [l. 7] na sljedeći način:

Opće jednadžbe rada kondenzatora:

$$Q = K \cdot A \cdot v = \frac{T_i - T_u}{\ln \frac{(T_p - T_u)}{(T_p - T_i)}} K \cdot A \quad (1)$$

$$Q = G_{RV} \cdot C_p (T_i - T_u) \quad (2)$$

$$Q = G_p \cdot (i_p - i_{KOND}), \quad (3)$$

gdje je:

- Q — izmijenjena toplina u kondenzatoru, kJ/s
- K — ukupni koeficijent prolaza topline u kondenzatoru, $kJ/m^2 SK$
- A — vanjska površina cijevi kondenzatora, m^2
- v — srednja logaritamska temperatura, $^{\circ}C$
- G_{RV} — količina rashladne vode, kg/s

- C_p — specifična toplina rashladne vode, kJ/kg K
 T_p — temperatura kondenzacija (ovoj temperaturi odgovara tlak u kondenzatoru), °C
 T_i — izlazna temperatura rashladne vode kondenzatora, °C
 T_u — ulazna temperatura rashladne vode kondenzatora, °C
 i_p — entalpija pare koja ulazi u kondenzator, kJ/kg
 G_p — količina pare koja ulazi u kondenzator, kg/s
 i_{KOND} — entalpija kondenzata koji izlazi iz kondenzatora, kJ/kg.

- C_2 — faktor zaprljanja kondenzatorskih cijevi (ovaj faktor je podešen prema rezultati-ma pokazatelja kondenzatora dobijenim na garantnim ispitivanjima NEK)
 C_3 — faktor temperature rashladne vode
 C_4 — faktor materijala kondenzatorskih cijevi
 V_K — brzina rashladne vode u kondenzatorskim cijevima
 L — dužina kondenzatorskih cijevi, m
 G — opći faktor
 p_k — površina presjeka svih cijevi u kondenzatoru, m²
 ρ_{RV} — gustoća rashladne vode, kg/m³.

Iz jednadžbe (2) možemo izraziti kao nepoznanicu:

$$T_i = \frac{Q}{G_{RV} \cdot C_p} + T_u = \Delta T + T_u. \quad (4)$$

Veličina Q nam je poznata iz [l. 2] za različita opterećenja (promjena je linearna s opterećenjem) uz nominalne parametre količine rashladne vode (25 m³/s) i temperaturu (17 °C). Sa na ovaj način izračunatom vrijednošću T_i (prva pretpostavka T_i) možemo izračunati temperaturu kondenzacije primjenom izraza (1) i (2):

$$T_p = \frac{T_i \cdot e^X - T_u}{e^X - 1} \text{ gdje je } X = \frac{K \cdot G_p}{G_{RV} \cdot C_p} \quad (5)$$

Prema [l. 7] vrijednost X je funkcija slijedećih parametara:

$$X = X(C_1, C_2, C_3, C_4, L, V_K)$$

$$V_K = \sqrt{\frac{G_{RV} \cdot \rho_{RV}}{p_k}} \quad (6)$$

gdje je:

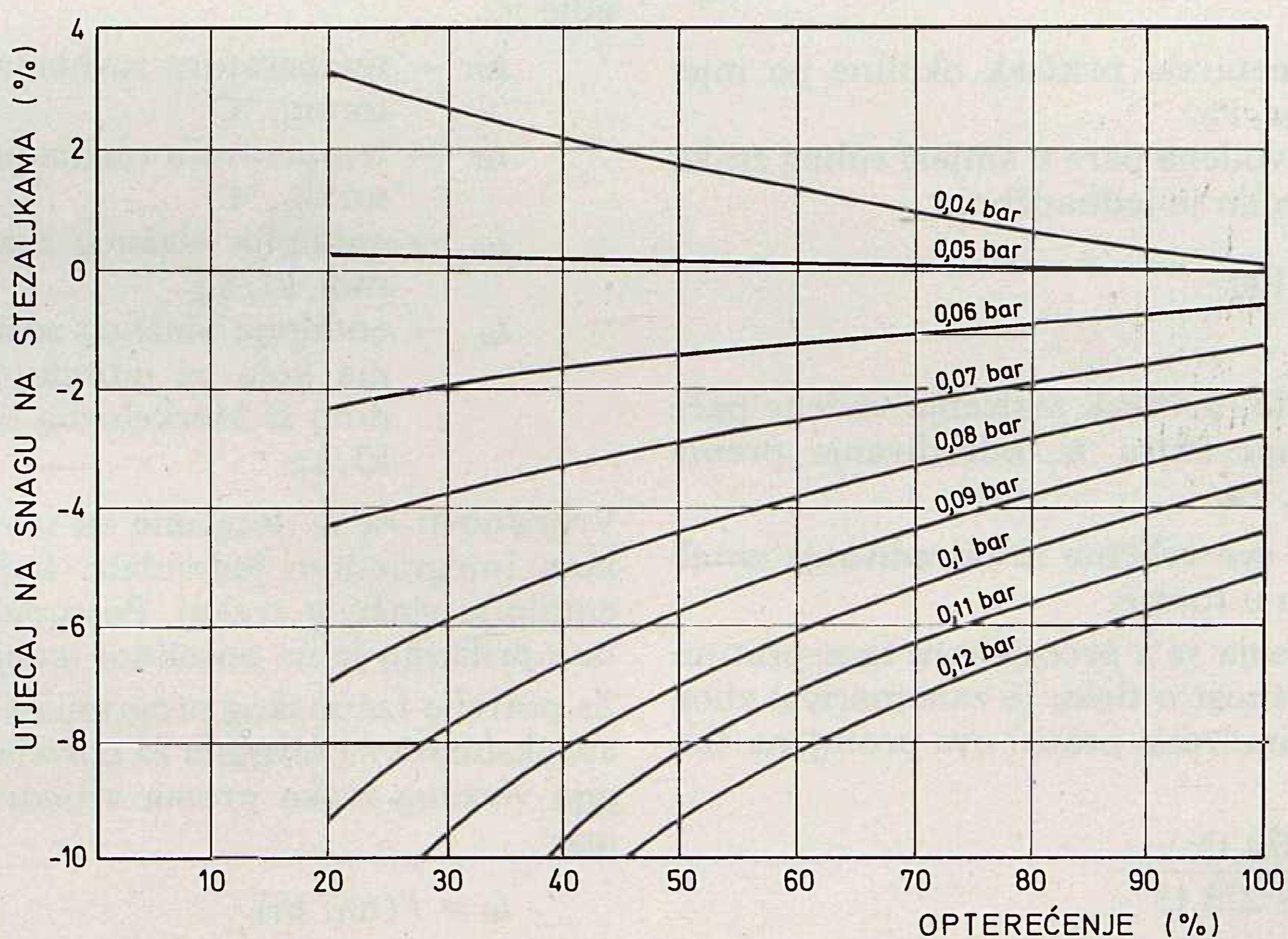
- C_1 — faktor promjera kondenzatorskih cijevi

Vrijednosti faktora C_1 , C_3 i C_4 računaju se kao funkcije poznatih veličina u skladu s [l. 7]. Pošto se na opisan način odredi temperatura kondenzacije i tlak kondenzacije [l. 8], uz pomoć slike 6. može se utvrditi utjecaj tog tlaka na snagu elektrane. Ako je utjecaj negativan, znači da će uz konstantnu snagu reaktora biti manja proizvedena električna energija, odnosno da će se više topline trebati odvesti rashladnom vodom kondenzatora i obrnuto. Korigira se pretpostavljena veličina Q , izračunava nova T_i koja, ako nije identična s prethodno izračunatom T_i , uzrokuje ponavljanje cijelog proračuna dok se taj uvjet ne zadovolji.

4.4. Matematički model rada rashladnih tornjeva

Matematički model rada rashladnih tornjeva omogućava određivanje izlazne temperature rashladne vode iz tornja. Ova temperatura je funkcija sljedećih veličina:

$$t_{IT} = f(t_{UT}, t_z, \phi, G_{RVT}, G_z, \sigma),$$



Slika 6. Utjecaj tlaka u kondenzatoru na snagu na stezaljkama generatora

gdje je:

- t_{IT} — izlazna temperatura rashladne vode iz tornja, °C
- t_{UT} — ulazna temperatura rashladne vode u toranj, °C
- t_z — temperatura zraka °C
- ϕ — relativna vlažnost zraka, °C
- G_{RVT} — količina rashladne vode koja ulazi u toranj, kg/s
- G_z — količina zraka koja struji kroz toranj, kg/s
- σ — koeficijent ishlapljivanja, kg/m²s,

Meteorološki podaci za određivanje parametara zraka prikazani su u tablici 3. Ulazni podaci za temperaturu zraka (suhi termometar) i podaci za relativnu vlažnost zraka određeni su kao prosječne vrijednosti za svaki mjesec u godini. Na isti način su određeni i ulazni podaci za entalpiju zraka prema sljedećoj jednadžbi:

$$i_{zu} = C_{pzu} \cdot t_z + x_0 (lr + C_{pp} \cdot t_z), \quad (1)$$

gdje je:

- i_{zu} — entalpija zraka na ulazu u toranj, kJ/kg
- C_{pzu} — specifična toplina ulaznog zraka, kJ/kg K
- r — toplina isparavanja vode kod temperature t_z (određivanje prema [lit 8]), kJ/kg
- C_{pp} — specifična toplina vodene pare, kJ/kg K
- x_0 — vlažnost zraka, kg/kg.

Vlažnost zraka određena je kao omjer parcijalnih pritisaka vodene pare i parcijalnog pritiska suhog zraka u smjesi prema jednadžbi:

$$X = 0,621 \frac{P_{VP}}{P_0 - P_{VP}},$$

gdje je:

- P_{VP} — parcijalni pritisak vodene pare u smjesi, Pa
- P_0 — barometarski pritisak okoline po mjesecima, Pa.

Parcijalni pritisak vodene pare u smjesi suhog zraka i vodene pare određen je jednadžbom

$$P_{VP} = \phi \cdot p_z / 100,$$

gdje je:

- p_z — parcijalni pritisak zasićenja vodene pare za temperaturu t_z (određivanje prema [lit. 8]), Pa.

Ovim su određene sve veličine za određivanje entalpije zraka na ulazu u toranj.

Gustoća zraka mijenja se s promjenom temperature u toku godine (ovisnost o tlaku je zanemariva) zbog čega se mora kontinuirano pratiti ova promjena stanja:

$$p_z = p_0 \cdot \frac{273,15}{t_z + 273,15},$$

gdje je:

- p_0 — gustoća zraka kod 0°C, kg/m³.

Volumni protok zraka je kod tornjeva s prisilnom cirkulacijom pomoću ventilatora, kakvi su u NEK, praktički konstantan (za tornjeve NEK iznosi 680,5 m³/s). Ovo znači da se maseni protok zraka G_z može prikazati jednadžbom

$$G_z = V \cdot \rho_z,$$

gdje je:

$$V — \text{volumni protok zraka, m}^3/\text{s}.$$

Daljnji proračun rashladnih tornjeva izveden je prema Merkelu [lit 9]. Prema tom autoru glavna karakteristika rashladnog tornja definira se prema izrazu

$$a = \frac{G_{RVT}}{2 \cdot G_z} + \frac{G_{RVT}}{\sigma \cdot F},$$

gdje je:

- a — rashladni faktor tornja
- G_{RVT}, G_z, σ — objašnjeni u prethodnom tekstu
- F — površina rosišta na kojoj se u tornju izmijenjuje toplina između vode i zraka, m².

Rashladni faktor tornja je kod zadanih količina vode i zraka ovisan o produktu $\sigma \cdot F$, tj. o koeficijentu ishlapljivanja i razvedenosti vodene površine, dakle o tome kako je temeljito voda bila raspršena. Koeficijent ishlapljivanja ovisi u potpunosti, kao i koeficijent prijenosa topline, o relativnoj brzini strujanja zraka prema vodi. U općem slučaju dovoljno je poznavati veličinu »a« da se odredi širina zone hlađenja ($t_{IT} - t_{UT}$). Kod jednakih drugih uvjeta rashladni toranj je to bolji što je vrijednost »a« manja, što znači da je rashladni faktor u neku ruku mjerilo vrijednosti rashladnog tornja.

Formula za prijelaz topline u rashladnom tornju prema Merkelu glasi:

$$a \cdot C_{pv} (t_{UT} - t_{IT}) = i_{zi} - i_{zu},$$

gdje je:

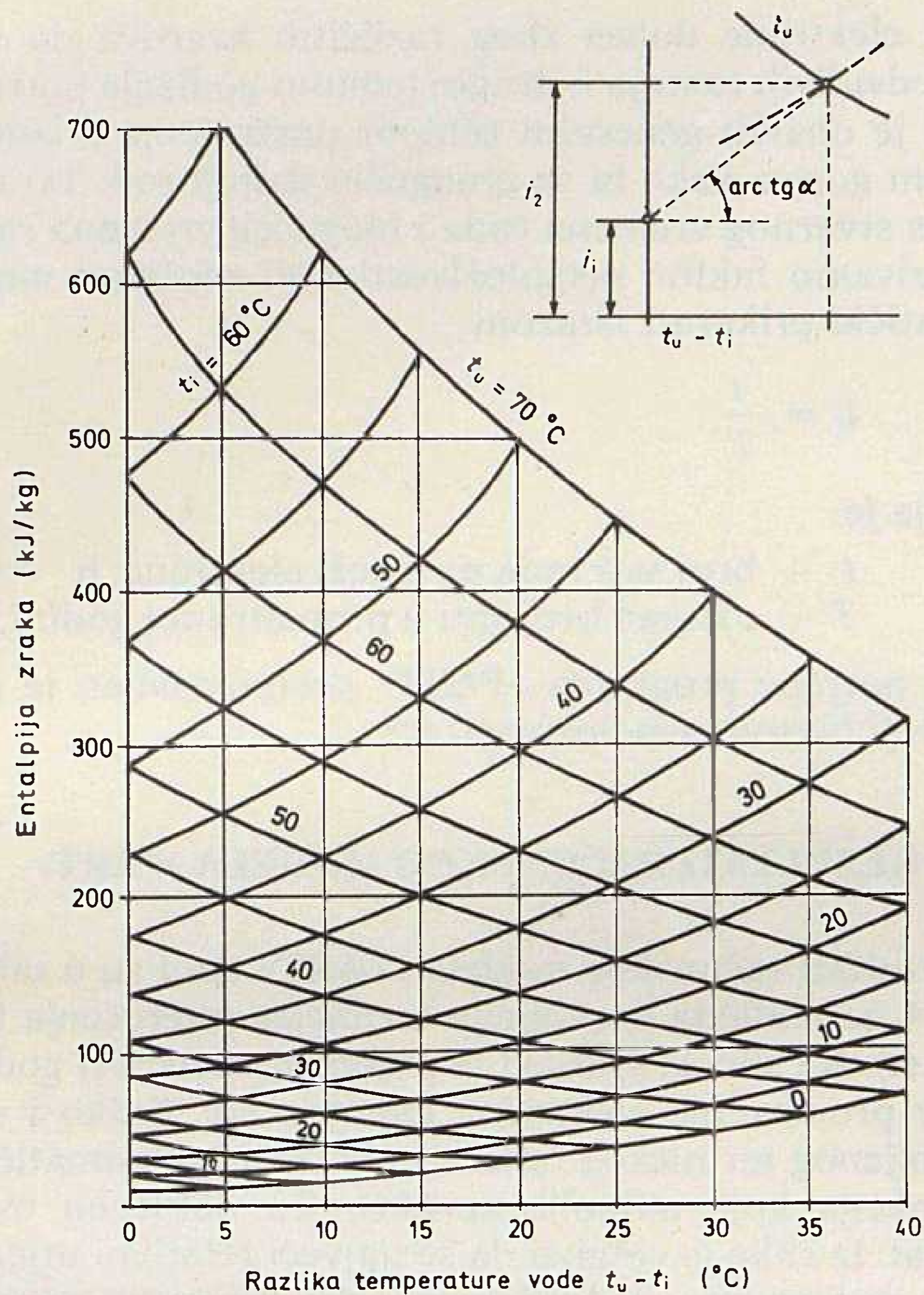
- t_{UT} — temperatura rashladne vode na ulazu u toranj, °C
- t_{IT} — temperatura rashladne vode na izlazu iz tornja, °C
- i_{zu} — entalpija vlažnog zraka na ulazu u toranj, kJ/kg
- i_{zi} — entalpija vlažnog zraka na izlazu iz tornja koja se određuje grafičkom metodom iz Merkelovog dijagrama (slika 7), kJ/kg.

Vrijednosti za i_{zi} dobivene su iz dijagrama s grafičkom integracijom jednadžbe koja definira izlaznu entalpiju vlažnog zraka. Postupak očitavanja rezultata prikazan je na posebnoj manjoj slici.

Za potrebe računskog programa »PART« izvedena je aproksimativna formula za određivanje izlazne entalpije vlažnog zraka prema vrijednostima iz dijagrama:

$$i_{zi} = f(t_{UT}, t_{IT}).$$

Uvrštenjem u osnovnu jednadžbu za prijelaz topline slijedi:



Slika 7. Dijagram hlađenja ishlapljivanjem u rashladnom tornju po Merkel-u

$$t_{IT} = \frac{f(t_{UT}, t_{IT}) - i_{zu}}{a \cdot c} \cdot t_{UT}$$

Za rješenje te jednadžbe korištena je Newtonova metoda traženja rješenja deriviranjem gornjeg izraza. Potrebno je napomenuti da je vrijednost »a«, točnije umnožak $\sigma \cdot F$, o kojem ovisi rashladni faktor tornja, određen pomoću glavne Merkelove jednadžbe prema mjerenjima rashladnih tornjeva NEK-a pri različitim uvjetima, tj. pri količinama rashladne vode. Utvrđena je funkcija promjena $\sigma \cdot F$ koja daje vrlo dobre rezultate i pri uspoređenju s projektnim krivuljama ovih rashladnih tornjeva.

Osim proračuna izlazne temperature rashladne vode iz tornjeva u matematički model rashladnih tornjeva uključen je i proračun ishlapljene količine vode prema [lit 3] koji ćemo ukratko opisati.

Proces prijelaza topline s rashladne vode na okolni zrak zasniva se najvećim dijelom na odnošenju topline ishlapljivanjem vode u prsištu tornja, a manjim dijelom na konvekciji na dodirnim površinama raspršene vode u struji zraka. U ovisnosti o konstrukcijskoj izvedbi rashladnog tornja i meteorološkoj situaciji, procesom ishlapljivanja odvodi se 70–90% od ukupno izmijenjene topline. Za proračun količine ishlapljene tekućine usvojen je konzervativni pristup koji pretpostavlja da je zrak na izlazu iz rashladnog tornja 100% zasićen vodenom parom.

Na taj način može se gubitak vode izračunati iz jednakosti predane topline vode i odvedene topline

maksimalno zasićenim zrakom prema sljedećoj jednadžbi:

$$(G_{RVT} - G_{ish}) \cdot c_{pv} (t_{UT} - t_{IT}) = G_z (i_{zi} - i_{zu}),$$

gdje je:

G_{ish} — količina ishlapljene vode, kg/s.

(Ostale oznake su objašnjene u prethodnom tekstu.)

Odnosno, količina ishlapljene vode u struji zraka jednaka je:

$$G_{ish} = G_z (X_i - X_u),$$

gdje je:

X_i — maksimalni udio vodene pare u smjesi zraka i vodene pare kod izlazne temperature zraka iz tornja, kg/kg

X_u — udio vodene pare u smjesi zraka i vodene pare kod ulaznog stanja zraka u toranj, kg/kg.

Iz prethodne dvije jednadžbe može se iteracijskim postupkom, uz pretpostavljanje temperature zraka na izlazu iz tornja, o kojoj ovisi i_{zi} i X_i , izračunati količina ishlapljene vode i temperatura zraka na izlazu iz tornja. Osim gubitaka ishlapljivanjem, u rashladnim tornjevima postoje i gubici vode odnošenjem kapljica koje struja zraka u tornju povlači za sobom u atmosferu.

Zbog nedostatka bilo kakvih teoretskih ili mjerenih podataka, usvojeno je, prema podacima proizvođača, da gubici vode zbog odnošenja kapljica iznose 0,05% količine rashladne vode za tornjeve.

4.5. Miješanje vodenih tokova

Pretpostavljeno je da je miješanje svih vodotoka potpuno. Na taj način temperatura nekog vodotoka, koji nastaje spajanjem dvaju ili više manjih, računa se kao srednja ponderirana vrijednost njihovih temperatura, gdje su ponderi količinski odnosi parcijalnih tokova naprama ukupnom.

4.6. Proračun vlastite potrošnje potrošača rashladnog sistema

Potrošači električne energije u rashladnom sistemu jesu:

- glavne rashladne pumpe
- rashladne pumpe tornjeva
- ventilatori.

Energija koju je potrebno odvojiti na otcjepu vlastitog potroška za rad jedne pumpe (E_{VP}) (bilo koje) jednaka je:

$$E_{VP} = K_p \cdot g \cdot p \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_p}$$

gdje je:

Q — volumni protok kroz pumpu, m³/s

H — visina dobave pumpe, m

- η_p — stupanj djelovanja pumpe (na slici 5 dan je i stupanj djelovanja glavnih rashladnih pumpi NEK u ovisnosti o protoku)
- g — akceleracija sile teže, m/s^2
- ρ — gustoća vode, kg/m^3
- K_p — faktor koji obuhvaća gubitke energije zbog transformacije (na transformatorima vlastitog potroška) gubitke prenosa (od transformatora do elektromotora) i gubitke u elektromotoru. Ovaj faktor je određen prema [lit 11].

Energija vlastitog potroška potrebna za rad jednog ventilatora računa se na sljedeći način:

$$E_v = K_v \cdot C \cdot P_o,$$

gdje je:

- P_o — nazivna snaga ventilatora pri određenom stanju zraka (prema podacima proizvođača), kW
- C — korekcionni faktor snage ventilatora u ovisnosti o temperaturi vlažnog termometra (na slici 8. dan je dijagram ovisnosti ovog faktora o temperaturi vlažnog termometra prema podacima proizvođača za ventilatore koji se koriste na rashladnim tornjevima NEK)
- K_v — identično značenje kao K_p .

4.7. Faktori raspoloživosti

Vrijeme rada rashladnog sistema identično je vremenu rada same elektrane. Ako promatramo određeni vremenski interval, npr. jednu godinu, uočavamo da je vrijeme rada elektrane u tom razdoblju manje za određeni faktor od veličine promatranog perioda. Uzrok ovome je u sljedećim činjenicama: prvo, u ra-

du elektrane dolazi zbog različitih kvarova do nepredvidivih zastoja i, drugo, jednom godišnje potrebno je obaviti generalni remont postrojenja s izmjenom goriva kako bi se omogućio daljnji rad. Taj odnos stvarnog vremena rada i mogućeg vremena rada nazivamo faktor raspoloživosti koji možemo matematički prikazati izrazom

$$f_r = \frac{t}{T},$$

gdje je:

- t — broj sati rada na mreži elektrane, h
- T — ukupan broj sati u promatranj godini, h.

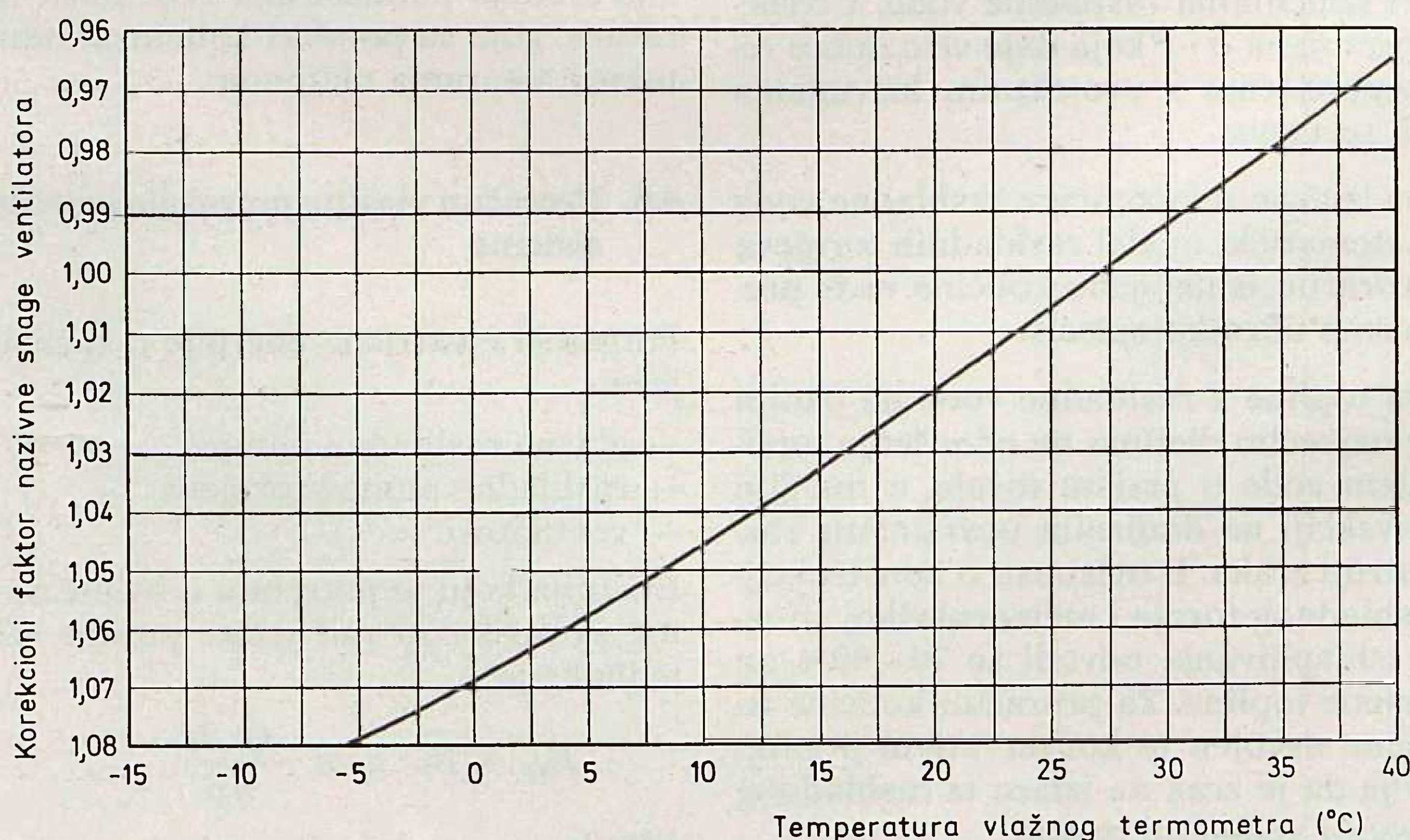
Za potrebe programa »PART« pretpostavljen je godišnji faktor raspoloživosti 0,8.

5. REZULTATI RAČUNSKOG MODELA »PART«

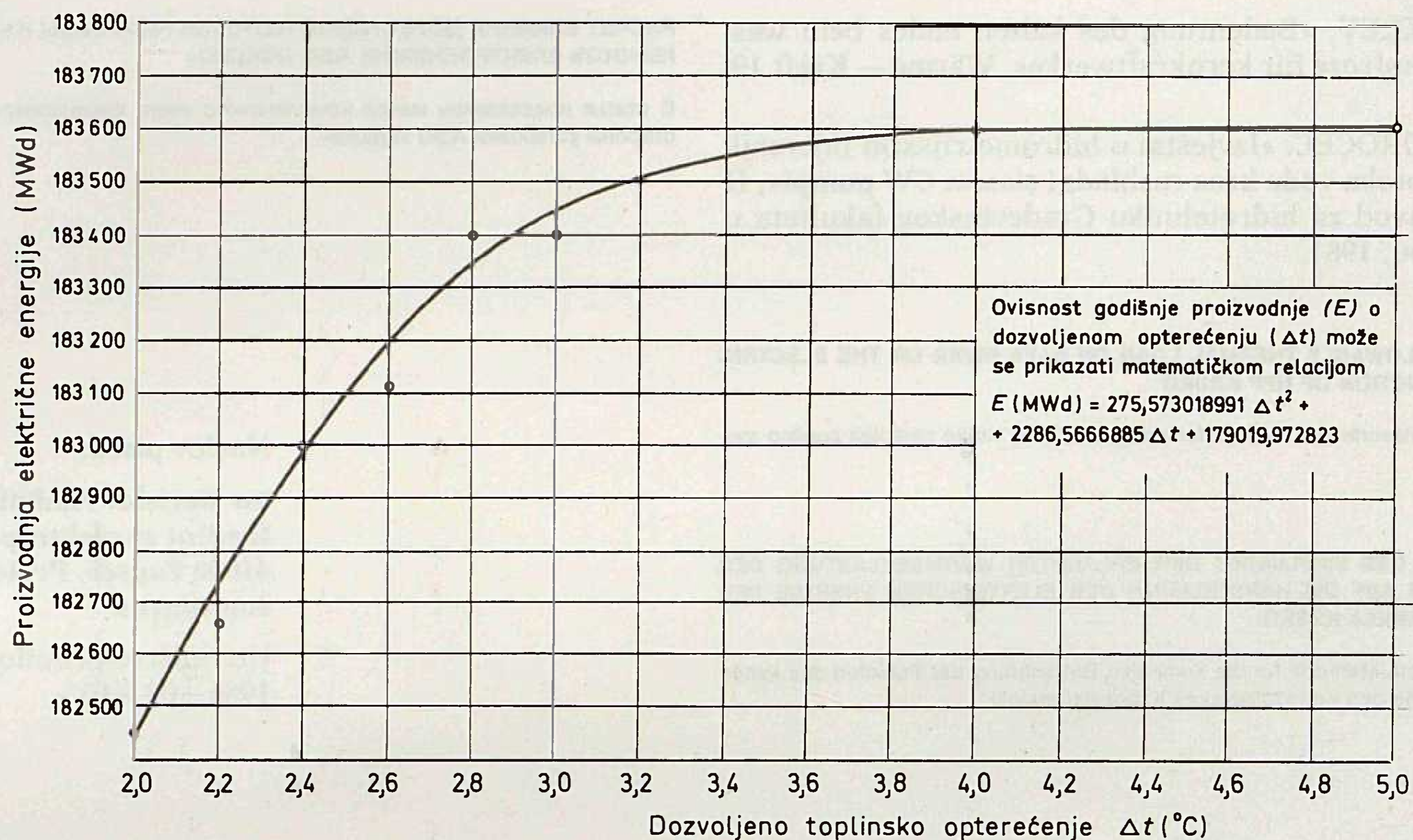
Rezultati računskog modela »PART« dani su u tablici 4. za različita dozvoljena termička opterećenja $S_{ave}(t)$. Na slici 9. grafički je prikazana ovisnost godišnje proizvodnje električne energije NE Krško i dozvoljenog termičkog opterećenja, kao i matematička funkcija koja najbolje aproksimira dobivenu ovisnost. Iz slike je vidljivo da se najveći relativni utjecaj na proizvodnju električne energije ostvaruje povećanjem temperatura do $4^\circ C$, a nakon $4^\circ C$ ne postizu se praktički nikakvi efekti.

Tablica 4.

$t/^\circ C/$	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	4	5
Proizvod. el. energ. (MWd)	182 434	182 665	182 956	183 131	183 398	183 398	183 614	183 616



Slika 8. Korekciona krivulja nazivne snage ventilatora rashladnih tornjeva u ovisnosti o temperaturi zraka vlažnog termometra



Slika 9. Godišnja proizvodnja el. energije NE Krško (MWd) pri različitim toplinskim opterećenjima

6. ZAKLJUČAK

Povećanje proizvodnje NE Krško moguće je postići promjenom dozvoljenog toplinskog opterećenja Save (t). Da bi se odredili efekti različitih promjena dozvoljenog toplinskog opterećenja na proizvodnju električne energije, izrađen je matematički model rashladnog sistema NE Krško pod nazivom »PART« koji je poslužio za kvantificiranje traženih efekata.

Matematički model vrlo kompleksno simulira rashladni sistem NE Krško, te za različite hidrološke i meteorološke situacije određuje optimalan režim rada rashladnog sistema, kao i ukupnu proizvodnju električne energije.

Rezultati matematičkog modela pokazali su da je najveći gradijent porasta proizvodnje NE Krško u području promjene dozvoljenog toplinskog opterećenja za 2°C na 3°C i da zbog malih efekata ne bi bilo opravdano dozvoliti veća toplinska opterećenja Save.

LITERATURA

- [1] Westinghouse Electric Corporation: »Final safety analysis report«, NEK
- [2] Westinghouse Electric Corporation: »Thermal performance data for Krško Yugoslavia«
- [3] Din 1947: »Leistungsversuche an kühlturmen«

- [4] H. KUNAJ: »Optimalna izvedba rashladnog sistema NE Prevlaka«, Institut za elektroprivredu, 1983.
- [5] S. IVANČIĆ: »Izveštaj o garancijskim ispitivanjima NE Krško«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
- [6] S. IVANČIĆ: »Utvrdjivanje energetske karakteristika NE Krško«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1984.
- [7] Westinghouse Electric Corporation: »General information on surface condensers«
- [8] E. SCHMIDT: »Properties of water and steam In SI-Units« Springer — Verlag, München, 1979.
- [9] F. BOŠNJAKOVIĆ: »Nauka o toplini« — prvi dio, Tehnička knjiga, Zagreb, 1978.
- [10] I. I. AGROSKIN, G. T. DIMITRJEV, F. I. PIHALOV: »Hidraulika«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1969.
- [11] T. H. MARGULEVA: »Nuclear power station«, Moskva, 1974.
- [12] H. KUNAJ: »Tehnički izvještaj sa ispitivanja rashladnih tornjeva u NE Krško«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
- [13] H. KUNAJ: »Optimalna izvedba rashladnog sistema NE Slavonija $4 \times 1300 \text{ MW}$ «
- [15] H. RAUS: »Tehnička hidraulika«, Građevinska knjiga, Beograd 1969.
- [16] E. KAMPE: »Kühlturme«, VEB Verlag für Banwesen, Berlin, 1975.
- [17] H. POŽAR: »Osnove energetike«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [18] Grupa autora: »Condenser cooling water system optimization study«, Ebasco, New York, 1976.
- [19] F. SCHÜLLER: »Das optimale kalte ende von kondensations — block ein heiten«

[20] IRENKLEV: »Bedeutung des kalten endes bein waserdampfproze für kernkraftwerke«, Wärme — Kraft 19, 1976.

[21] V. ANDROČEC: »Izveštaj o hidrometrijskim mjerenjima protoka vode kroz rashladni sistem CW pumpi«, II dio, Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Zagrebu, 1981.

РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ РЕКИ САВЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ АЭС «КРШКО»

В статье представлен метод комплексного учета функционирования холодной стороны установки АЭС «Кршко».

IMPACT OF ALLOWABLE THERMAL LOAD ON SAVA RIVER ON THE ELECTRIC POWER PRODUCTION OF NPP KRŠKO

In the article is described a method for analysis of NPP Krško complex cooling system function.

BERECHNUNG DES EINFLUSSES DER ERLAUBTEN WÄRMEBELASTUNG DES FLUSSES SAVA AUF DIE HERSTELLUNG DER ELEKTRISCHEN ENERGIE DES KERNKRAFTWERKES KRŠKO

Im Artikel wird die Methode für die komplexe Betrachtung der Funktion des kalten Endes der Anlage des Kernkraftwerkes Krško dargestellt.

Naslov pisca:

mr Berislav Nadinić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1986 — 03 — 10

ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA ZAGAĐENJA ATMOSFERE SUMPORNIM DIOKSIDOM NA PODRUČJU ISTRE I KVARNERSKOG ZALJEVA

mr Jure Ćurković — Zlatko Varaždinec, Zagreb

UDK 351.76:614.1/7

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu se daje analiza postojećeg stanja zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom na području Istre i Kvarnerskog zaljeva. Kao podloga za procjenu prizemnih koncentracija SO_2 izrađen je katastar emisije svih točkastih i plošnih izvora na analiziranom području. Analiza je obavljena računskim modelom LONGZ. Kalibracija računskog modela obavljena je na bazi mjerenih vrijednosti prizemnih koncentracija i potvrdila je reprezentativnost ovog modela za analizirano područje. Na osnovi katastra zagađenja izvršena je identifikacija najvećih zagađivača. Predložene su moguće zaštitne mjere za tri područja povišenih prizemnih koncentracija SO_2 uz analizu doprinosa pojedinih zagađivača.

Ključne riječi: Istra i Kvarnerski zaljev, sumporni dioksid, analiza zagađenja atmosfere.

1. UVOD

Određivanje nivoa atmosferskog zagađenja određenog područja zahtijeva vrlo složene metode proračuna uz korištenje vrlo preciznih, a time i skupljih ulaznih podataka. Međutim, ako je cilj kvalitativno saznanje o nivou zagađenja određenog područja, možemo se koristiti jednostavnijim i jeftinijim metodama. Izbor metode svakako ovisi u prvom redu o svrsi za koju će rezultati biti upotrijebljeni. Racionalan pristup proračunu zagađenja nekog područja trebao bi se bazirati na odgovorima polaznih pitanja: tko traži informacije o zagađenju zraka, kakav cilj treba biti zadovoljen i za koju svrhu se provode proračuni zagađenja?

Ako se zahtijeva proračun samo prosječnih godišnjih vrijednosti zagađenja, da bi se odredilo zadovoljavanje ili nezadovoljavanje standarda kvalitete zraka, potrebno je izračunati prosječnu godišnju vrijednost zagađenja zraka iz 8 760-satnih vrijednosti. Izračunavanje prosječnih godišnjih vrijednosti može se obaviti direktnim i relativno jeftinim metodama.

Da bi se dobila visoka rezolucija izlaznih podataka, potrebno je potrošiti relativno mnogo vremena na prikupljanju ulaznih podataka visoke rezolucije, što istovremeno ne mora značiti da će se u tom slučaju dobiti i mnogo točniji podaci o zagađenju zraka. U ovom radu učinjen je pokušaj da se odredi najprikladnija metoda kojom se može zadovoljiti unaprijed postavljena funkcija cilja odnosno namjena izlaznih informacija o zagađenju atmosfere u nekom području (slika 1).

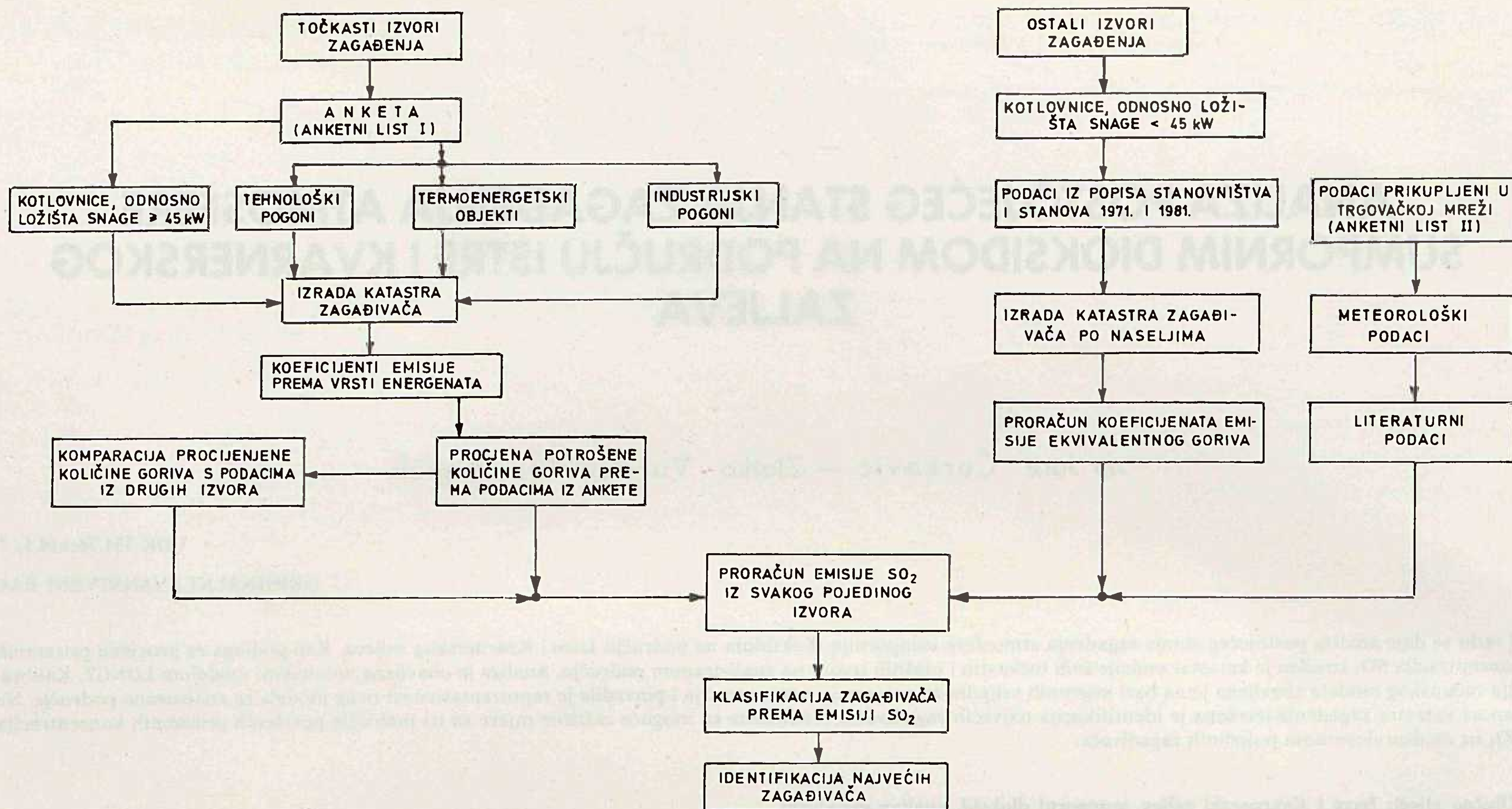
Meteorološki parametri imaju dominantan utjecaj na ponašanje polutanata u nekom području, bilo da se radi o urbanoj ili ruralnoj sredini. Od meteoroloških

parametara najznačajniji su parametri vjetra (brzina, smjer i turbulencija), kao i stabilnost atmosfere.

Za procjenu emisije polutanata iz nekog izvora značajni su podaci o količini, vrsti i kemijskom sastavu upotrebljavanog goriva, kao i karakteristike prostora u kojem se obavlja ispuštanje. U slučaju procjene emisije na širem području (veće urbane sredine, regije, republike, države itd.) praktično je nemoguće dinamičko sagledavanje kretanja emisije od svih izvora. Prikupljanje takvih podataka radi modeliranja zagađenja okoline skupo je i neracionalno. Zbog toga je nužna kategorizacija izvora na bazi snage emisije. U slučaju snimanja katastra emisije na području Istre i Kvarnerskog zaljeva podaci su prikupljeni direktno na terenu za sve izvore čija snaga prelazi 45 kW, dok su podaci za izvore ispod ove snage prikupljeni na temelju popisa stanovništva i stanova 1971. i 1981. godine. Detaljni opis metodološkog pristupa koji je korišten u analizi emisije i imisije na području Istre i Kvarnerskog zaljeva prikazan je u [L 2].

Kako bi donošenje odluke o podobnosti neke lokacije za smještaj novog pogona moglo biti zasnovano i na procjeni utjecaja tog novog pogona na privremeno zagađenje, svakako je potrebno poznavati postojeće stanje zagađenja u širem području oko planiranog pogona.

Budući da je utvrđivanje postojećeg stanja zagađenja mjerenjem izuzetno skupo i dugotrajno, a i zahtijeva i relativno veliku mrežu mjernih stanica, u praksi se gotovo u pravilu primjenjuje kombinacija mjerenja i računskog modeliranja promatranog područja. Mjerenje nivoa zagađenja na nekom području može se kompenzirati računskim modeliranjem, dok je nemoguće nadomjestiti modeliranje u sferi budućeg predviđanja nivoa zagađenja, odnosno nivoa zagađe-



Slika 1. Shematski prikaz izrade katastra emisije za područje Istre i Kvarnerskog zaljeva

nja koje će nastati kao posljedica uvođenja novog pogona.

Da bi se zadovoljila naša regulativa, odnosno kriteriji zagađenja atmosfere koji su definirani za TE Plomin 2 [L 1], investitor je odlučio financirati izradu katastra emisije i modeliranje prizemnih koncentracija SO_2 na području Istre i Kvarnerskog zaljeva.

Katastar emisije jedan je od najvažnijih elemenata pri procjeni nivoa prizemnih koncentracija u nekom području. Katastar emisije omogućuje planiranje razvoja određenog područja (urbane sredine, regije, itd.) i daje sliku kvalitete zraka. Ako se katastru emisije superponiraju planirani budući objekti i njihova emisija u atmosferu uz poznavanje meteoroloških parametara reprezentativnih za određeno područje, može se računskim modeliranjem dovoljno točno predvidjeti buduća kvaliteta zraka na području koje nas zanima. Na taj način mogu se na vrijeme poduzeti zaštitne mjere od zagađenja zraka (smanjenjem emisije, izborom nove lokacije, promjenom visine ispusta polutanata itd.), prije nego što se donese plan razvoja područja od interesa.

Katastar emisije također je osnova za sanaciju postojećeg stanja, jer se procjenom udjela svakog pojedinog člana katastra emisije u postignutim prizemnim koncentracijama, odnosno emisiji, može utvrditi optimalna struktura zaštitnih mjera koje uz minimalna ulaganja daju maksimalni učinak u smanjenju zagađenja zraka u području koje nas zanima.

Računskim modelima s kojima se može simulirati utjecaj na okolinu, odnosno proračunati prizemne koncentracije analiziranog polutanta, može se danas obuhvatiti više tisuća zagađivača i mogu se proračunati prizemne koncentracije, odnosno doprinosi svakog zagađivača posebno. Na taj način može se dobiti

veoma brza slika o kvaliteti zraka, a to je ujedno podloga za izbor lokacija kontinuiranog monitoringa zagađenja na određenom području.

1.1. Metodološki pristup korišten u analizi

Radi procjene postojećeg stanja zagađenja atmosfere u široj okolini* — TE Plomin 2, analize emisije i prizemnih koncentracija SO_2 napravljene su za područje radijusa 80 km od lokacije, koje je ocijenjeno kao reprezentativno za analizu utjecaja TE Plomin na okolinu.

Izrada katastra emisije obuhvaća područje Istre, općine Rijeka, Krk, Opatija i Cres — Lošinj. Pri izradi katastra emisije pošlo se od bilance potrošnje goriva na području od interesa (podaci dobiveni od rudnika, trgovačke mreže i statistički podaci) i u industrijskim pogonima i termoenergetskim objektima.

Koeficijenti emisije SO_2 određivani su mjerenjima ili su korišteni literaturni podaci navedeni u [L 1]. Shematski prikaz toka izrade katastra emisije dan je na slici 2.

Osnovu za procjenu emisije iz tehnoloških procesa, termoenergetskih objekata i industrijskih pogona čini je anketa koja je provedena na analiziranom području u svim pogonima. Za procjenu emisije koja nastaje kao posljedica spaljivanja goriva za potrebe grijanja stambenog i poslovnog prostora korišteni su podaci prikupljeni anketom za kotlovnice snage veće od 45 kW, dok su za procjenu emisija iz kotlovnica snage manje od 45 kW korišteni statistički i podaci

* Pod pojmom »šire okoline« smatra se područje unutar kojeg su prosječne godišnje prizemne koncentracije SO_2 od TE Plomin 2, manje od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

prikupljeni anketom o plasmanu pojedinih vrsta energenata putem trgovačke mreže.

Emisija polutanata nastala kao posljedica spaljivanja goriva za potrebe grijanja stambenog i poslovnog prostora, iz kotlovnica snage manje od 45 kW, računata je po naseljima na temelju utvrđenih potreba za grijanjem, za ekvivalentno gorivo.

Na osnovi katastra emisije SO_2 , meteoroloških i topografskih podataka, te karakteristika svakog točkastog izvora (visina izvora, promjer dimnjaka, brzina izlaznih dimnih plinova, itd.) prišlo se proračunu emisijskih vrijednosti SO_2 korištenjem računskih modela SHORTZ i LONGZ.

Računski model SHORTZ razvila je Environmental Protection Agency (EPA), a namijenjen je proračunu kratkotrajnih prizemnih koncentracija SO_2 (epizodnih stanja) u orografski razvijenom terenu. Računski model LONGZ razvila je ista agencija, a osnovna mu je namjena proračun dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) prizemnih koncentracija SO_2 u orografski razvijenom terenu.

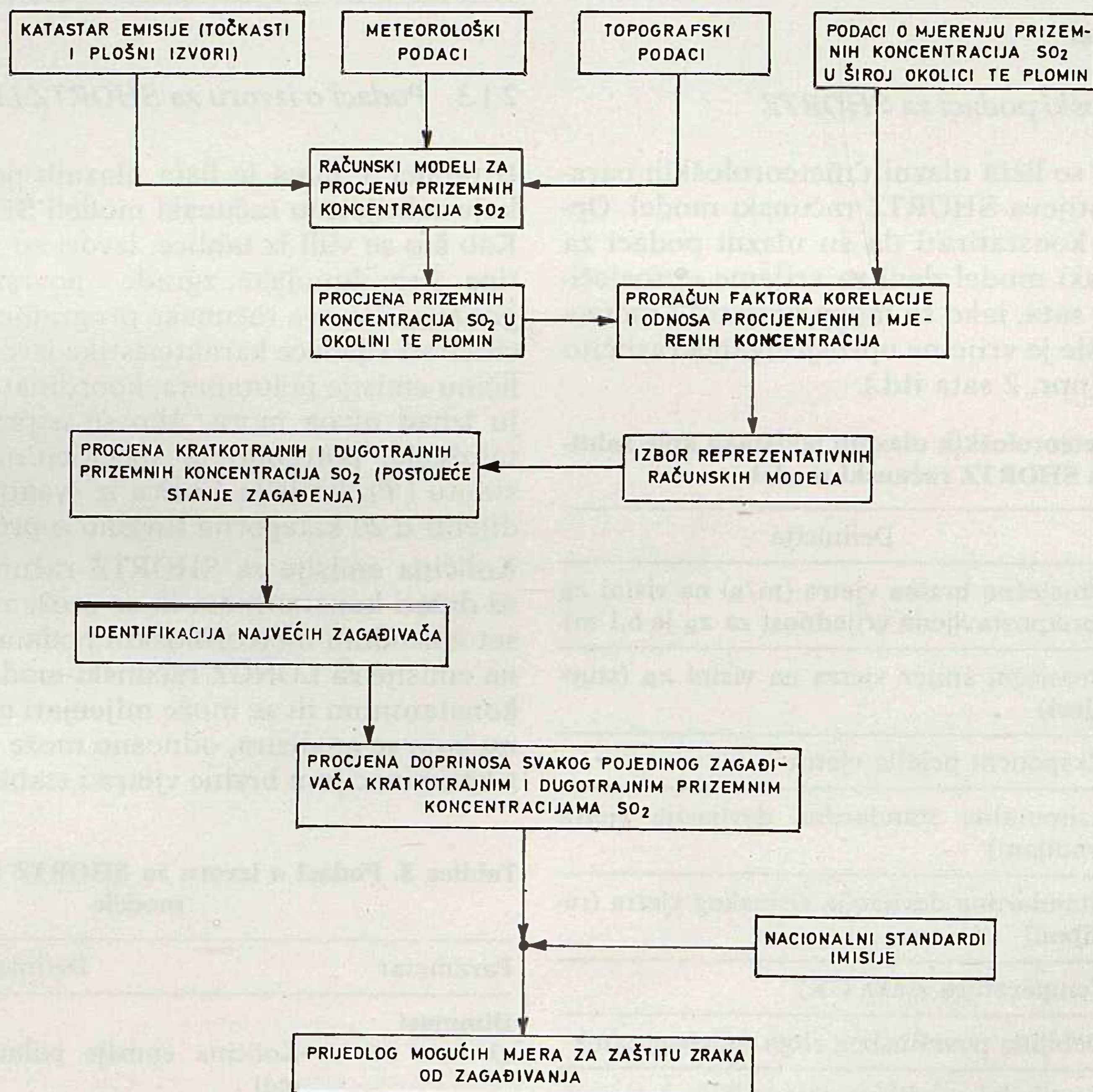
Za kalibriranje navedenih računskih modela provela su se kontinuirana mjerenja prizemnih koncentracija SO_2 i meteoroloških parametara na 11 lokacija u široj okolini TE Plomin. Detaljniji opis provedenih mjerenja i prezentacija pojedinih rezultata mjerenja dan je u poglavlju 4. Uz te podatke za kalibraciju na-

vedenih računskih modela korišteni su i podaci mjerenja prizemnih koncentracija SO_2 u Rijeci, Puli i Labinu. Dobiveni korelacijski faktori između izmjerenih i modeliranih vrijednosti prizemnog zagađenja sa SO_2 dani su u poglavlju 5. Shematski prikaz pojedinih metodoloških koraka pri procjeni prizemnih koncentracija SO_2 dan je na slici 2.

2. OSNOVE PRIMJENJENIH RAČUNSKIH MODELA

U analizi postojećeg stanja zagađenja atmosfere u široj okolini TE Plomin korišteni su modeli SHORTZ i LONGZ i COMPLEX/PFM. Ovdje će biti ukratko opisani SHORTZ i LONGZ, dok je COMPLEX/PFM detaljnije opisan u [L 2], gdje je upotrijebljen radi provjere ocjene prizemnih koncentracija kako bi se utvrdila lokacija dinamičkog monitoringa.

SHORTZ i LONGZ kompjutorski programi obuhvaćaju kratkotrajne i dugotrajne disperzijske modele koji su prvi put korišteni u studiji »U. S. Environmental Protection Agency (EPA), Region III of the air quality impact of SO_2 emissions from 107 major stationary sources located in and adjacent to Allegheny County, Pennsylvania«. Osnovna razlika između ovih dispozicijskih računskih modela i prethodno razvijenih sličnih disperzijskih modela H. E. Cramer Company, Inc. jest u tome što ovi modeli uključuju



Slika 2. Shematski prikaz procjene prizemnih koncentracija SO_2 u široj okolini TE Plomin

novi pristup za proračun efekata u orografski razvijenom terenu preko mreže receptora.

SHORTZ i LONGZ računski programi daju mogućnost korisniku da računa prizemne koncentracije polutanata od velikog broja izvora na velikom broju receptora, te da identificira doprinos svakog izvora ili grupe izvora na ukupno proračunate prizemne koncentracije za svaki od receptora.

Dakle, SHORTZ i LONGZ su računski programi koji su u svojoj osnovi namijenjeni modeliranju velikih urbanih sredina ili analizi pojedinih ili plošnih izvora u orografski razvijenom terenu.

Detaljan opis jednadžbi disperzijskih modela za ova dva programa zajedno s tehničkim opisom osnova ovog modela prikazan je u [L 1].

Opće tehničke upute za primjenu računskih programa SHORTZ i LONGZ bazirane su na iskustvima »H. E. Cramer Company« u primjeni modela disperzije korištenjem obaju navedenih programa i njihove pretprocesore za pripremu ulaznih podataka. U osnovi, svaka primjena obuhvaća različitu kombinaciju izvora, meteoroloških i lokacijskih faktora, pa u specifičnoj primjeni SHORTZ i LONGZ računskih modela najbolji je pristup da se polazi od slučaja do slučaja pažljivim odabiranjem raspoloživih reprezentativnih meteoroloških podataka, tipova izvora koji će se modelirati i topografskih karakteristika okolnog terena.

2.1. Ulazni podaci

2.1.1. Meteorološki podaci za SHORTZ

U tablici 1. daje se lista ulaznih meteoroloških parametara koje zahtijeva SHORTZ računski model. Općenito se može konstatirati da su ulazni podaci za SHORTZ računski model dani za vrijeme uprosječivanja od jednog sata, iako se mogu koristiti i meteorološki podaci čije je vrijeme uprosječivanja različito od jednog sata (npr. 2 sata itd.).

Tablica 1. Lista meteoroloških ulaznih podataka koje zahtijeva SHORTZ računski model

Parametar	Definicija
\bar{u}_R	Prosječna brzina vjetra (m/s) na visini z_R (pretpostavljena vrijednost za z_R je 6,1 m)
DD	Prosječni smjer vjetra na visini z_R (stupnjevi)
p	Eksponent profila vjetra
σ_A	Azimutalna standardna devijacija vjetra (radijani)
σ_E	Standardna devijacija visinskog vjetra (radijani)
T_a	Temperatura zraka ($^{\circ}K$)
H_m	Debljina površinskog sloja miješanja (m)
$\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_{i,k}$	Vertikalni gradijent potencijalne temperature ($^{\circ}K/m$)

2.1.2. Meteorološki podaci za LONGZ

U tablici 2. prikazana je lista ulaznih meteoroloških podataka koje traži LONGZ računski model.

Tablica 2. Lista meteoroloških podataka koje zahtijeva LONGZ računski model

Parametar	Definicija
$f_{i,j,k,l}$	Frekvencija distribucije brzine vjetra, smjera vjetra, kategorije stabilnosti atmosfere za l-tu sezonu
$\bar{u}\{z_R\}_i$	Prosječna brzina vjetra (m/s) na visini z_R za i-tu kategoriju brzine vjetra
p_{ik}	Eksponent profila vjetra za i-tu kategoriju brzine vjetra i k-tu kategoriju stabilnosti atmosfere
$\sigma_{E;i,k}$	Standardna devijacija (radijani) za i-tu kategoriju brzine vjetra i k-tu kategoriju stabilnosti atmosfere
$\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_{i,k}$	Vertikalni gradijent potencijalne temperature ($^{\circ}K/m$) za i-tu kategoriju brzine vjetra i k-tu kategoriju stabil. atmosfere
$H_{m,i,k,l}$	Medijan debljine površinskog sloja miješanja (m) za i-tu kategoriju brzine vjetra, k-tu kategoriju stabilnosti atmosfere i l-tu sezonu

2.1.3. Podaci o izvoru za SHORTZ i LONGZ

U tablici 3. dana je lista ulaznih podataka o izvoru koje zahtijevaju računski modeli SHORTZ i LONGZ. Kao što se vidi iz tablice, izvori su podijeljeni na tri tipa, i to: dimnjake, zgrade i površine (individualna gradnja). Za ove računske programe potrebno je specificirati sljedeće karakteristike izvora: tip izvora, količinu emisije polutanata, koordinate izvora i elevaciju iznad nivoa mora. Ako se u proračun uključuje taloženje, potrebno je specificirati raspadnu konstantu (ψ). Emisija čestica iz svakog izvora može se dijeliti u 20 kategorija (ovisno o promjeru čestica).

Količina emisije za SHORTZ računski model može se držati konstantnom ili se može mijenjati za svaki set epizodnih meteoroloških podataka. Slična količina emisije za LONGZ računski model može se držati konstantnom ili se može mijenjati u odnosu na sezonu koja se analizira, odnosno može se dovesti u vezu s kombinacijom brzine vjetra i stabilnosti atmosfere.

Tablica 3. Podaci o izvoru za SHORTZ i LONGZ računske modele

Parametar	Definicija
Dimnjaci	
Q	Količina emisije polutanata (masa/vrijeme)
ψ	Koeficijent raspada polutanata (s^{-1})
X, Y	Koordinate dimnjaka (m)

Parametar	Definicija
z_s	Elevacija izvora iznad razine mora (m)
h	Visina dimnjaka (m)
V	Volumetrička količina emisije (m^3/s)
T_s	Izlazna temperatura dimnih plinova ($^{\circ}K$)
r	Unutrašnji promjer dimnjaka (m)
ϕ_n	Maseni udio čestica u n-toj kategoriji brzine vjetra
V_{sn}	Gravitacijska brzina taloženja čestica u n-toj kategoriji brzine vjetra (m/s)
Zgrade	
Q	Količina emisije polutanata (masa/vrijeme)
ψ	Koeficijent raspada polutanata (s^{-1})
X, Y	Koordinate središta zgrade (m)
z_s	Elevacija zgrade iznad razine mora (m)
h	Visina zgrade (m)
L	Duljina zgrade (m)
W	Širina zgrade (m)
δ	Kut između sjevera i najduže strane zgrade (stupnjevi)
ϕ_n	Maseni udio čestica u n-toj kategoriji brzine vjetra
V_{sn}	Gravitacijska brzina taloženja čestica u n-toj kategoriji brzine vjetra (m/s)
Površinski izvori	
Q	Količina emisije polutanata (masa/vrijeme)
ψ	Koeficijent raspada polutanata (s^{-1})
X, Y	Koordinate centra površinskog izvora (m)
z_s	Prosječna elevacija površin. izvora iznad razine mora (m)
h	Karakteristične vertikalne dimenzije površinskog izvora (m)
L	Dužina površinskog izvora (m)
W	Širina površinskog izvora (m)
γ	Kut između sjevera i najduže strane površinskog izvora (stupnjevi)
ϕ_n	Maseni udio čestica u n-toj kategoriji brzine vjetra
V_{sn}	Gravitacijska brzina taloženja čestica u n-toj kategoriji brzine vjetra (m/s)

2.1.4. Primjena SHORTZ i LONG računskih modela u orografski razvijenom terenu

Za proračun prizemnih koncentracija polutanata u orografski razvijenom terenu postoje dva osnovna pristupa:

- modifikacija Gaussova modela za ravni teren i
- primjena numeričkog modela koji uzima u obzir varijacije u visini terena.

Do sada razvijeni računski modeli koriste za svaki od ovih pristupa, u najboljem slučaju, jednostavnije aproksimacije međuutjecaja orografski razvijenog terena i dimne perjanice. U računskim modelim SHORTZ i LONG koristi se modificirani Gaussov model za ravni teren.

Modifikacija Gaussova modela razlikuje se od prvih modifikacija u tretiranju debljine sloja miješanja i

pretpostavkama o međuutjecaju terena i perjanice unutar površinskog sloja miješanja.

Kod primjene u orografski razvijenom terenu računski modeli SHORTZ i LONG koriste modificirane modele za ravni teren, uvođenjem efektivne visine perjanice i debljine sloja miješanja.

3. ULAZNI PODACI

3.1. Procjena emisije SO_2

Radi dobivanja slike o postojećem stanju emisije sumpornog dioksida u okolinu prikupljeni su podaci o svim izvorima sumpornog dioksida u atmosferi koji su izazvani ljudskom aktivnošću. Osnovni proces u kojem se oslobađa SO_2 jest izgaranje fosilnih goriva, tako da je osnovna podjela prilikom prikupljanja podataka s terena provedena s obzirom na način izgaranja:

- termoelektrane, toplane i industrijske kotlovnice,
- procesne peći,
- kotlovnice iznad 45 kW toplinske snage,
- individualne kotlovnice 45 kW toplinske snage,
- kućna ložišta,
- promet.

Prema načinu ispuštanja sumpornog dioksida u okolinu izvršena je osnovna podjela svih izvora na:

- točkaste izvore,
- plošne izvore.

Kao točkasti izvori sumpornog dioksida tretirani su svi energetske i industrijske objekti, procesne peći i kotlovnice iznad 45 kW, dok su kao plošni izvori obrađena sva kućna ložišta i kotlovnice ispod 45 kW.

Kako bi prikupljeni podaci ocrtavali što vjerniju sliku emisije, prikupljanje je organizirano pomoću posebno prilagođenih upitnih listova direktnim anketiranjem svih vlasnika izvora zagađenja.

Upitni listovi podijeljeni su u tri tipa prema namjenama.

Prema anketnom listu I izvršeno je prikupljanje svih relevantnih podataka za emisiju SO_2 iz točkastih izvora.

U prvom dijelu ovaj list je prilagođen kotlovnica za centralna grijanja ili za proizvodnju topline za industrijske potrebe, a u drugom dijelu obuhvaća sve ostale posebne peći, odnosno tehnologije koje bi mogle emitirati sumporni dioksid. Anketni list sadrži tablice koje obrađuju vrstu goriva i potrošnju, prosječnu godišnju potrošnju iz proteklih 5 godina, kao i planirano povećanje kapaciteta do 2000. godine. Anketnim listom II prikupljeni su podaci o prodanom gorivu u maloprodajnoj trgovačkoj mreži na određenom području. Ovi podaci su prvenstveno predviđeni za određivanje strukture prosječnog goriva utrošenog na određenom području. Procjena buduće potražnje različitih vrsta goriva od trgovačke mreže uzeta je do 1990. godine.

Tablica 4. Sadržaj ukupnog i emitiranog sumpora u gorivima

Broj	Naziv	Ogrijevna vrijed. H_d (kJ/kg)	Sadržaj sumpora		SO ₂ -emisija (kg/MWh)
			ukupni (mas. %)	emitirani (mas. %)	
Kruta goriva					
1.1.	Kameni ugljen Raša	23 520	9,5	6,8	20,7
1.2.	Mrki ugljen (prosjeak)	15 650	1,84	1,55	7,1
1.3.	Lignit (prosjeak)	9 150	0,67	0,53	4,14
1.4.	Koks	28 900	1,0	1,0	2,47
1.5.	Antracit (uvoz)	27 200	1,0	1,0	2,6
1.8.	Drvo (suho)	15 490			—
Tekuća goriva					
2.1.	Ekstra lako lož ulje	42 700	0,5	0,5	0,9
2.2.	Srednje teško loživo ulje	39 900	3,0	3,0	5,4
2.3.	Lako loživo ulje (raf.)	41 160	2,0	2,0	3,5
2.4.	Mazut	40 200	4,0	4,0	7,1
Plinovita goriva					
3.1.	Plin mješavina butan/propan 7 : 3	50 000			—
3.2.	Zemni plin	42 950			—
3.3.	Gradski plin	26 833			—
3.4.	Koksnii plin	34 450	1,2	1,2	2,5
3.5.	Amonijački plin	3 850	6,0	1,2	111,3
3.6.	Rafinerijski plin	46 892	0,1	0,1	0,2
3.7.	FCC (raf.) plin	20 990	1,0	1,0	3,4

Anketni list III predviđen je za analizu potrošnje goriva za zagrijavanje stambenog prostora koji nije obuhvaćen kotlovnica iz Anketnog lista I. S obzirom na specifičnost ovih podataka, kao i na veliku mogućnost pogrešne procjene na terenu, ovi podaci su dobiveni na temelju podataka o načinu zagrijavanja stambenog prostora prema popisu stambenog fonda iz 1971. i 1981. godine. Struktura utrošenog goriva određena je na osnovi podataka o prodanom gorivu na određenom području iz Anketnog lista II. Za projekciju buduće situacije korištena je analogija povećanja stanovništva sa stambenim fondom. Izvori podataka o gorivima su različiti jer nije uvijek bilo moguće dobiti dovoljno podataka o korištenom gorivu iz same ankete.

Karakteristike goriva prikazane u tablici 4 preuzete su iz (L 1), prema kojima je računata emisija iz točkastih izvora. Podaci o gorivima individualnih ložišta — niski plošni izvori — dobiveni su iz prosječnih vrijednosti upotrebljenih goriva za određeni tip naselja, kao što je prikazano u tablici 5.

Tablica 5. Kvaliteta prosječnih goriva utrošenih na području Istre i Rijeke prema emitiranom sumporu

Lokacija potrošnje	Ogrijevna vrijed. H_d (kWh/kg)	Emitirani sumpor mas. %	Prosječna emisija SO ₂ po m ² ukupnog stambenog prostora kg SO ₂ /m ² god
Veliki gradovi	3,6453	0,135	0,068 280
Gradska naselja kont. tipa	5,0081	0,341	0,125 538
Turist. naselja obala	5,3920	0,12	0,041 032
Seoska naselja	2,7950	0,10	0,065 965
Područje SO Labin i bliža okolica	6,4179	4,12	1,183 581

3.1.1. Proračun emisija sumpornog dioksida iz individualnih ložišta — niski plošni izvori

Emisija sumpornog dioksida iz individualnih ložišta proračunata je na osnovi podataka o prodatom gorivu na određenom području i potrebne količine goriva za zagrijavanje stambenog prostora. Na potrošnju energije u domaćinstvima utječe niz faktora od kojih su osnovni:

- klimatski uvjeti
- kvaliteta izgrađenih objekata
- navike i opći standard stanovništva.

Za promatrano područje korišteni su podaci evidencije stambenog fonda dobiveni prema posljednjem popisu stanova. Analiza je provedena za sve tipove zagrijavanja stambenog prostora i to: 1 — individualno zagrijavanje, 2 — centralna grijanja toplinskog učina do 45 kW i 3 — centralna grijanja pomoću toplane ili centralne kotlovnice. Emisija za slučaj zagrijavanja pod 3 uzeta je u obzir pri proračunu emisije iz točkastih izvora. Prema statističkim podacima, odvojena je površina stanova koji se zagrijavaju isključivo pomoću električne energije i koji su spojeni na centralizirane sisteme opskrbe plinom, tako da je u proračun uzeta u obzir samo površina stambenog prostora koji se zagrijava individualno.

Količina emitiranog sumpornog dioksida po m² ukupne stambene površine izračunata je na osnovi prosječne potrošnje topline prema klimatskim uvjetima pojedinih područja i propisanim projektnim parametrima uz upotrebu prosječnog goriva prema tablici 5.

Proračun odgovarajuće emisije plošnih izvora izveden je na nivou naselja koje su očitane s karata mjera 1 : 25 000. Odgovarajuća emisija za određeno naselje izračunata je za stambene površine prema popisu stanovništva i stanova uz uvažavanje spomenutih ograničenja. Vrijednost specifične emisije po jedinici površine stambenog prostora izračunata je kao kvocijent ukupne emisije plošnih izvora i odgovarajuće katastarske površine naselja.

3.1.2. Proračun emisije SO₂ iz točkastih izvora

Proračun emisije sumpornog dioksida iz točkastih izvora koji su određeni prema kriterijima iz poglavlja 3.1. u potpunosti je utemeljen na podacima prikupljenim anketom za sve izvore emisije na promatranom području. Svaki izvor je identificiran s Gauss-Krügerovim koordinatama na karti mjerila 1 : 25 000. Potrošnja goriva snimljena je za razdoblje od proteklih pet godina (1981–1985), a projekcija buduće potrošnje izrađena je na osnovi planiranog razvoja anketiranih subjekata. Kako bi se dobio uvid u oscilacije SO₂ u toku godine, podaci su obrađeni tako da omogućuju analizu zagađenja po mjesecima za promatranu godinu.

Korištena goriva prikazana su u tablici 4. Pripadajuća emisija SO₂ izračunata je na osnovi udjela emitiranog sumpora u gorivu.

3.1.3. Katastar emisije sumpornog dioksida

Uloga katastra emisije sumpornog dioksida jest uvid u postojeće zagađivače zraka na određenom području i u potencijalne buduće takve objekte i njihove emisije. Na taj način omogućeno je planiranje razvoja tog područja i poduzimanje adekvatnih mjera za smanjenje zagađenja, odnosno zadržavanje čistoće zraka u dozvoljenim granicama.

Pomoću podataka iz katastra, primjenom određenih matematičkih modela uz meteorološke podatke i parametre konfiguracije terena, izrađuju se proračuni prizemnih koncentracija.

Kao što je prethodno navedeno, katastrom emisije obuhvaćeni su točkasti i plošni izvori analiziranog područja.

Podaci o potrošnji goriva, što je podloga za proračun emisija, dobiveni su iz prijave za registraciju, bilance potrošnje goriva na određenom području, rudnika, trgovačke mreže, statističkih podataka, odgovornih osoba u pogonima te anketom na dotičnom području.

S obzirom na specifičnost istarskog i riječkog područja gdje je prilično razvijen turizam, anketni list sadrži podatke i o mjesečnoj potrošnji goriva, jer su ljetni i zimski mjeseci različito opterećeni u odnosu na druge dijelove regije. Na taj način nastojao se dobiti detaljniji uvid u emisiji u toku godine.

Uz katastar emisije sumpornog dioksida učinjena je kategorizacija izvora (prema TA Luft 83). Izvori su podijeljeni u četiri kategorije obzirom na satnu emisiju SO₂. Pretpostavka je da su visine dimnjaka u skladu sa zahtjevima koje postavlja ovaj propis. Kategorije zagađivača postavljene su na sljedeći način:

I kategorija	≥ 500	(kg SO ₂ /h)
II kategorija	≥ 50 < 500	"
III kategorija	≥ 5 < 50	"
IV kategorija	< 5	"

Prednost ovakve kategorizacije jest u tome da se odmah uoče najveći zagađivači, te postavi prioritet pri poduzimanju odgovarajućih akcija za smanjenje zagađenja, odnosno lakše planiranje lokacije za buduće izvore.

3.2. Meteorološki podaci

Meteorološki podaci na lokaciji TE Plomin prikupljeni su za dvogodišnje razdoblje (1980, 1981. god.). Statistika anemografskih podataka za navedeno vremensko razdoblje prikupljena je kod TE Plomin na elevaciji 50 m nadmorske visine i kod vodotornja Štrmac na elevaciji 350 m nadmorske visine.

Anemograf, koji je bio smješten na vodotornju Štrmac, nalazi se približno na visini ispusta iz TE Plomin 2. Budući da su s ovim instrumentom kontinuirano praćene promjene režima strujanja u tom sloju, ispitana je reprezentativnost ovih podataka za šire područje u slobodnoj atmosferi (bez upliva tla)

gdje počinje širenje ispuštenih plinova sagorjevanja iz TE Plomin.

U 1980. godini prikupljen je niz meteoroloških podataka u 266 dana, te da je preklapanje raspoloživosti meteoroloških podataka i rada TE Plomin 1 ostvareno u 168 dana. Raspoloživost meteoroloških podataka u 1981. godini iznosi 266 dana, a preklapanje meteoroloških podataka i rada TE Plomin 1 ostvareno je u 191 danu. U toku 1981. godine sakupljeni su i podaci o sondažnim mjerenjima u 32 dana.

Brzina i smjer vjetra mjereni su anemografom na vodotornju Štrmac (350 m nadmorske visine). Dosadašnja meteorološka istraživanja [L 7, 9] potvrdila su njihovu reprezentativnost za šire područje oko Plominskog zaljeva.

Stabilnost atmosfere određena je za svaki sat dvogodišnjeg razdoblja (1980. i 1981) prema 7 Pasquillovih kriterija (od »A 4« — jako labilno do »G« — jako stabilno) pomoću gradijenta temperature i brzine vjetra (metoda Vogt-a). Ulazne podatke čine dva niza satnih vrijednosti stabilnosti: niz S_d za donji sloj (0–150 m) i niz S_g za gornji sloj (150 m do 350 m i više). Dobiveni su pomoću mjerenja temperature kod TE Plomin, u Plomin gradu, te na vodotornju Štrmac.

Za ocjenu reprezentativnosti podataka stabilnosti u području Plomina i za širi okoliš Istre iskorištena su specijalna radiosonažna mjerenja u Puli za vrijeme ALPEX-perioda 1.3–30.4.1982. Statistika istovremene pojave stabilnosti u oba sloja atmosfere nad TE Plomin i nad Pulom ukazuje na veliku sličnost u režimu stabilnosti, posebno u gornjem sloju. To potvrđuje reprezentativnost osnovnog ulaznog niza stabilnosti, S_g .

Visina sloja miješanja na području Istre određivana je nakon što su obavljena istraživanja na osnovi podataka radiosonažnih mjerenja u Puli i istovremenog mjerenja globalnog zračenja u Rijeci za vrijeme ALPEX-eksperimenta.

Prvo je ispitan odnos između visine sloja miješanja i stabilnosti u Puli, a zatim i u plominskom području. Uz E, F i G stabilnost visina sloja miješanja je 0, a isto se događa i u noćnim neutralnim stanjima D. Zatim su provedene usporedbe istovremenih visina sloja miješanja u Puli i Zagrebu. Dobivena analogija u dnevnom hodu uz visinu sloja miješanja nad Pulom, prosječno manjom od 70 m nego nad Zagrebom (utjecaj mora), omogućila je kompletiranje dvogodišnjeg niza satnih vrijednosti kao ulaznih podataka u model.

Meteorološki podaci za područje Istre i Kvarnerskog zaljeva, prikupljeni su na meteorološkim stanicama Rijeka (stanica 111, 131 m nadmorske visine), Pula (stanica 108, 74,5 m nadmorske visine) i meteorološkoj stanici u Plominu (350 m nadmorske visine).

Na meteorološkoj stanici u Rijeci prikupljen je 7-godišnji niz satnih vrijednosti brzine vjetra, smjera vjetra i stabilnosti atmosfere, po kvartalima i sumarno za cijelu godinu.

Na meteorološkoj stanici u Puli prikupljen je 10-godišnji niz satnih vrijednosti brzine i smjera vjetra, te stabilnosti atmosfere.

Podaci o brzini i smjeru vjetra prikupljeni su anemografom na svakoj od navedenih meteoroloških stanica. Stabilnost atmosfere na meteorološkoj stanici Rijeka i Pula određena je metodom Pasquilla na bazi brzine vjetra i insolacije za dan, odnosno brzine vjetra i naoblake za noć, pri čemu je uzeta u obzir i pojava magle i grmljavine [L 8]. Podaci o visini sloja miješanja korišteni su s meteorološke stanice u Plominu jer su se jedino na toj meteorološkoj stanici vršila prikupljanja.

Ukupan set meteoroloških podataka dobiven je od Hidrometeorološkog zavoda SR Hrvatske kao reprezentativan za područje Istre i Kvarnerskog zaljeva.

4. KONTINUIRANA MJERENJA PRIZEMNIH KONCENTRACIJA

Podaci o 24-satnim prizemnim koncentracijama prikupljeni su za bliže područje TE Plomin na četiri lokacije, prema tablici 6. u razdoblju 1.1.1980. — 31.12.1981. prema [L7].

Za mjerenja prizemnih koncentracija u široj okolici TE Plomin korišten je pokretni ekološki laboratorij* koji je obavio mjerenja onečišćenja zraka i meteoroloških parametara na lokacijama Poreč, Pazin, Pula, Rovinj, Ripenda, Fažana, Učka, Brioni, Rijeka, Cres (Vransko jezero).

Mjerenja navedenih parametara obavljena su za ljetni period (1 faza) u toku 1985. godine, dok su ponovljena mjerenja na istim lokacijama za zimski period (2 faza) obavljena u toku 1986. godine.

Na navedenim lokacijama provedena su mjerenja onečišćenja zraka sa slijedećim polutantima: SO_2 , H_2S , ukupni sumpor i NO_x . Osim toga, na tim lokacijama obavljana su i kontinuirana mjerenja relevantnih meteoroloških parametara, i to: brzine vjetra, smjera vjetra, stratifikacije prizemnog sloja atmosfere, temperature zraka, relativne vlage zraka, tlaka zraka i snage globalnog sunčeva zračenja.

Mjerenja prizemnih koncentracija SO_2 u Rijeci obavlja Zavod za zaštitu zdravlja Rijeka. Za kalibraciju računskih modela Zavod je dostavio podatke mjerenja prizemnih koncentracija SO_2 na lokacijama Čandekova ulica, Vežice, Čavle, Bakar i Kraljevica za razdoblje 1980–1984. godine. Taj set podataka je navedena institucija ocijenila reprezentativnim za šire područje grada Rijeke.

Mjerenja prizemnih 24-satnih koncentracija SO_2 u Puli, koja su korištena za kalibraciju modela, obavljana su od 1.3.1982. do 28.2.1983., na slijedećim lokacijama: Partizanski put, Vodnjanska cesta, Bulevar B. Kidriča, Obala M. Tita, Ulica Joakima Rakovca i Omladinska ulica [L 10]. Korelacije izmjerenih i izračunatih vrijednosti prikazane su u tablicama 6, 7 i 8.

* Zavod za zaštitu zdravlja, Zagreb,

Tablica 6. Koeficijent korelacije i odnos 24-satnih prosječnih godišnjih prizemnih koncentracija SO₂ na 4 lokacije u blizoj okolici TE Plominkoef. korelacije (*r*) 0,608

Lokacija receptora	Nadmor. visina receptora (m)	C _{I_{ZM}} izmjereno (μg/m ³)	C _{I_{ZR}} izračunato (μg/m ³)	Odnos C _{I_{ZM}} /C _{I_{ZR}}
1. PLOMIN-GRAD	171	33	27,7	1,19
2. RIPEDNA KRAS	290	148	57,9	2,56
3. STEPČIĆI	175	100	91,1	1,10
4. LABIN-MARCILNICA	260	57	91,6	0,62

Primjedba: Sve vrijednosti prosječnih 24-satnih god. prizemnih koncentracija SO₂ odnose se na vremenski period od 1.1.1980. do 31.12.1981.

Tablica 7. Koeficijent korelacije i odnos 24-satnih prosječnih godišnjih prizemnih koncentracija SO₂ na 6 lokacija u Pulikoef. korelacije (*r*) 0,865

Lokacija receptora	Gauss-Krügerove koordinate		Nadmorska visina (m)	C _{I_{ZM}} izmjer. (μg/m ³)	C _{I_{ZR}} izrač. (μg/m ³)	Odnos C _{I_{ZM}} /C _{I_{ZR}}
	Y(km)	Y(km)				
1. Partizanski put	5 410,00	4 972,20	5,0	19	6,1	3,11
2. Vodnjanska cesta	5 409,50	4 971,86	5,0	20	10,9	1,83
3. Bulevar B. Kidriča	5 407,94	4 969,46	5,0	37	73,7	0,50
4. Obala M. Tita	5 409,30	4 970,50	5,0	22	17,2	1,28
5. Omlad. ulica	5 409,10	4 968,90	5,0	33	24,3	1,36

Primjedba: Sve vrijednosti prosječnih 24-satnih god. prizemnih koncentracija SO₂ odnose se na vremenski 01.03.1982. do 28.02.1983. god.

Tablica 8. Koeficijent korelacije i odnos prosječnih godišnjih prizemnih koncentracija SO₂ na 5 lokacija u Rijecikoef. korelacije (*r*) 0,9605

Lokacija receptora	Koordinate receptora		Nadmorska visina (m)	C _{I_{ZM}} izmjer. (μg/m ³)	C _{I_{ZR}} izrač. (μg/m ³)	Odnos C _{I_{ZM}} /C _{I_{ZR}}
	Y(km)	Y(km)				
1. Čandekova ul.	5 455,2	5 022,0	100	116	105,33	1,10
2. Vežice	5 459,8	5 019,9	160	36	30,03	1,20
3. Čavle	5 460,1	5 023,9	300	36	22,31	1,61
4. Bakar	5 464,0	5 018,1	10	46	35,05	1,31
5. Kraljevica	5 466,4	5 013,9	40	46	13,46	3,42

Primjedba: Sve vrijednosti prosječnih 24-satnih god. prizemnih koncentracija SO₂ odnose se na vremenski period 01.01.1981. do 31.12.1981. god.

C_{I_{ZM}} — Prosječna god. 24-satna izmjerena prizemna koncentracija SO₂

C_{I_{ZR}} — Prosječna god. 24-satna izračunata prizemna koncentracija SO₂

5. OBRADA PODATAKA, ANALIZA I INTERPRETACIJA REZULTATA

5.1. Emisija SO₂ u području od interesa

Na osnovi prikupljenih podataka o izvorima emisije, obavljenog proračuna i klasifikacije izrađen je katar emisije.

U kategoriji $Q > 500$ kg SO₂/h identificirano je 18 točkastih izvora koji su locirani na 5 lokacija, s ukupnom emisijom od 62 281,4 t SO₂/god., što čini 81,49 % od ukupne emisije SO₂ iz točkastih izvora, odnosno 80,8 % od ukupne emisije SO₂ na ovom području u 1984. godini.

U kategoriji ($50 \leq Q \leq 500$ kg SO₂/h) identificirana su 24 točkasta izvora s ukupnom emisijom od 9883,9 t SO₂ u 1984. godini, što čini 12,93 % od ukupne emisije SO₂ iz svih točkastih izvora odnosno 12,82 % od ukupne emisije SO₂ iz točkastih i plošnih izvora na ovom području.

U kategoriji ($5 \leq Q \leq 50$ kg SO₂/h) identificirano je 67 točkastih izvora s ukupnom emisijom SO₂ od 2916,3 t u 1984. godini, što čini 3,81 % od ukupne emisije SO₂ iz točkastih izvora odnosno 3,78 % od ukupne emisije SO₂ iz točkastih i plošnih izvora u analiziranom području.

U kategoriji ($Q < 5$ kg SO₂/h) identificirano je 739 točkastih izvora s ukupnom emisijom SO₂ od 1344,3 t

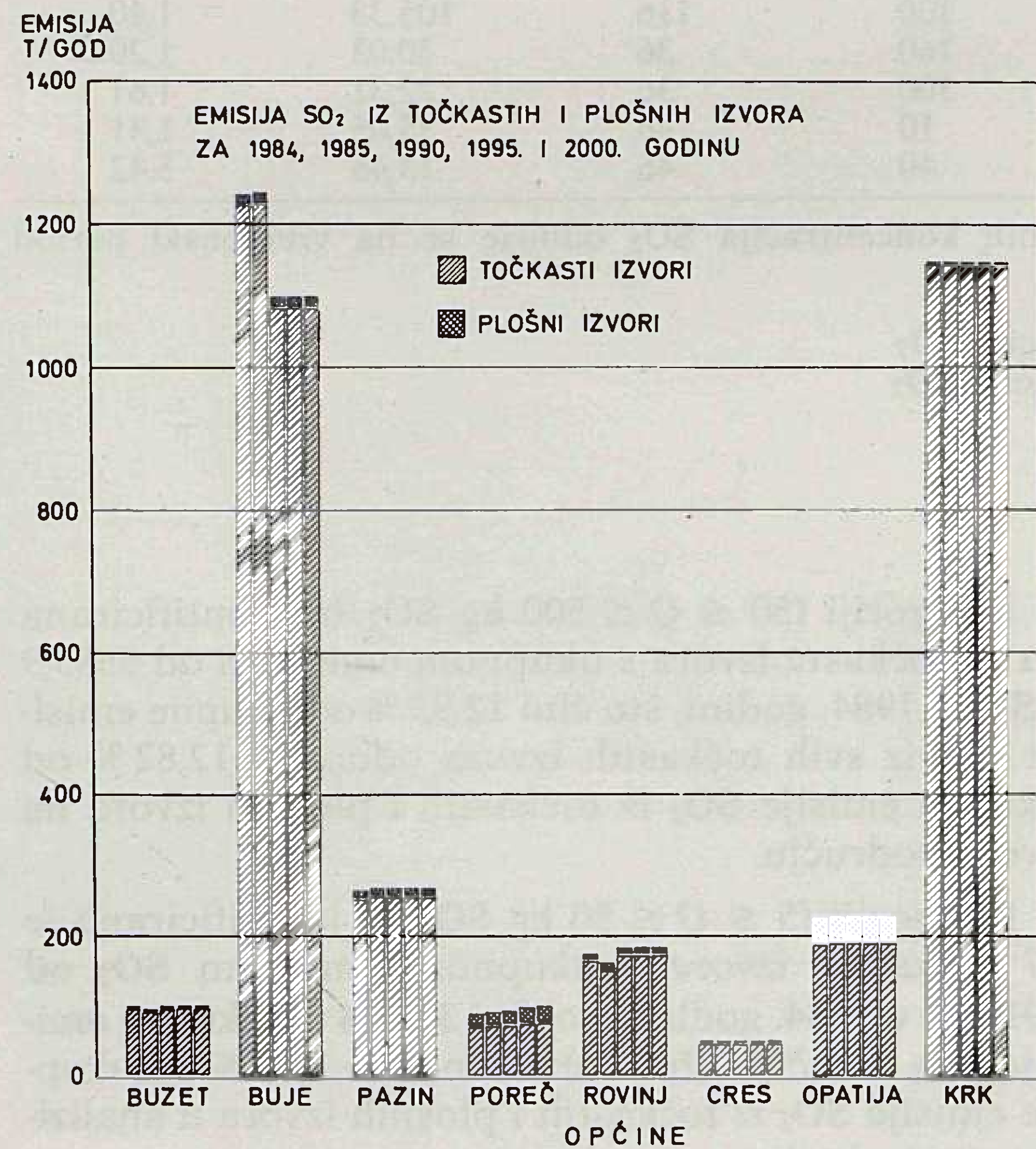
u 1984. godini, što čini 1,77 % od ukupne emisije SO₂ iz točkastih izvora, odnosno 1,74 % od ukupne emisije SO₂ iz točkastih i plošnih izvora na ovom području.

Grafički prikaz sumarnih rezultata emisije SO₂ po općinama dan je na slici 2. a, b. Iz navedenoga se vidi da u postojećem stanju općine Rijeka i Labin imaju približno jednaku emisiju iz točkastih izvora. Općina Rijeka sudjeluje sa 46,14 %, a općina Labin s 47,1 % u ukupnoj emisiji SO₂ u 1985. godini. Navedene dvije općine čine 93,24 % ukupne emisije SO₂ u analiziranom području 1985. godine, a sve ostale općine (Buzet, Buje, Pazin, Poreč, Rovinj, Pula, Cres — Lošinj, Opatija i Krk) sudjeluju u ukupnoj emisiji SO₂ sa 6,76 %, od čega samo na općinu Pula otpada 3,18 %.

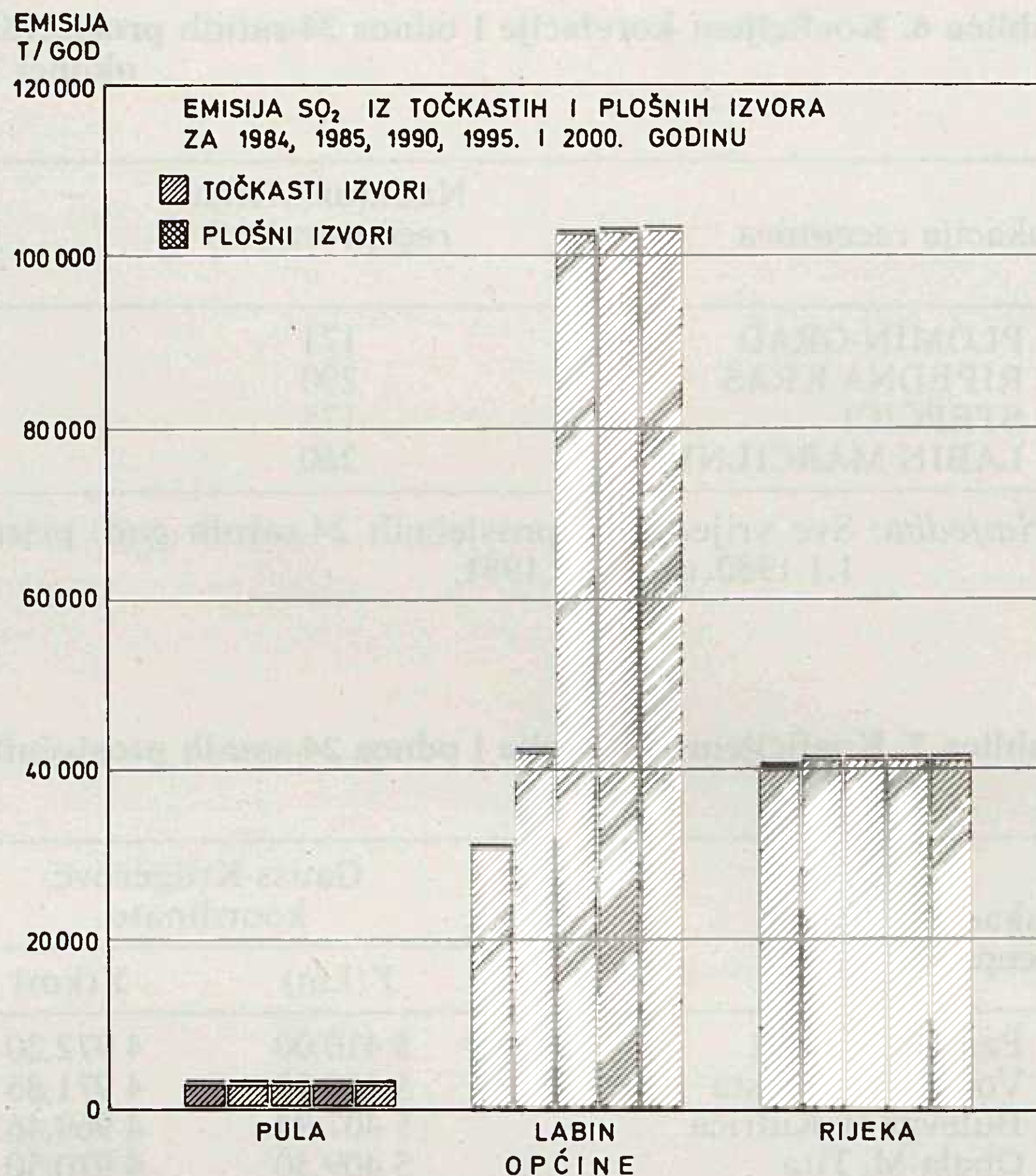
Katastar emisije obuhvaća i obradu podataka po mjesecima, što omogućava uočavanje razlike između hladnog i toplog dijela godine, što je korišteno pri kalibraciji modela.

Katastar je izrađen i prema općinama, a za svaki izvor zagađenja dani su i sljedeći podaci: identifikacijski broj, mjesto, naziv izvora, Gauss-Krügerove koordinate izvora, vrsta goriva, količina goriva, visina dimnjaka, izlazna površina dimnjaka i izlazna temperatura dimnih plinova. Kao što se vidi iz iznesenog, dani su svi relevantni podaci za ocjenu doprinosa prizemnim koncentracijama svakog pojedinog izvora u bilo kojoj točki prostora obuhvaćenog analizom.

Sumarni podaci o ukupnoj emisiji SO₂ iz točkastih i plošnih izvora u području Istre i Kvarnerskog zaljeva za sve općine obuhvaćene analizom dani su u tablici 9. U istoj tablici dani su i sljedeći podaci: broj stanovnika i površine svake pojedine općine, emisije SO₂ po km² površine i emisije SO₂ po stanovniku.



Slika 2 a. Emisija SO₂ iz točkastih i plošnih izvora za 1984, 1985, 1990, 1995. i 2000. godinu



Slika 2 b. Emisija SO₂ iz točkastih i plošnih izvora za 1984, 1985, 1990, 1995. i 2000. godinu

5.2. Prizemne koncentracije SO₂ u promatranom području

Proračun prosječnih godišnjih prizemnih koncentracija SO₂ na području Istre i Kvarnerskog zaljeva napravljen je LONGZ računskim modelom.

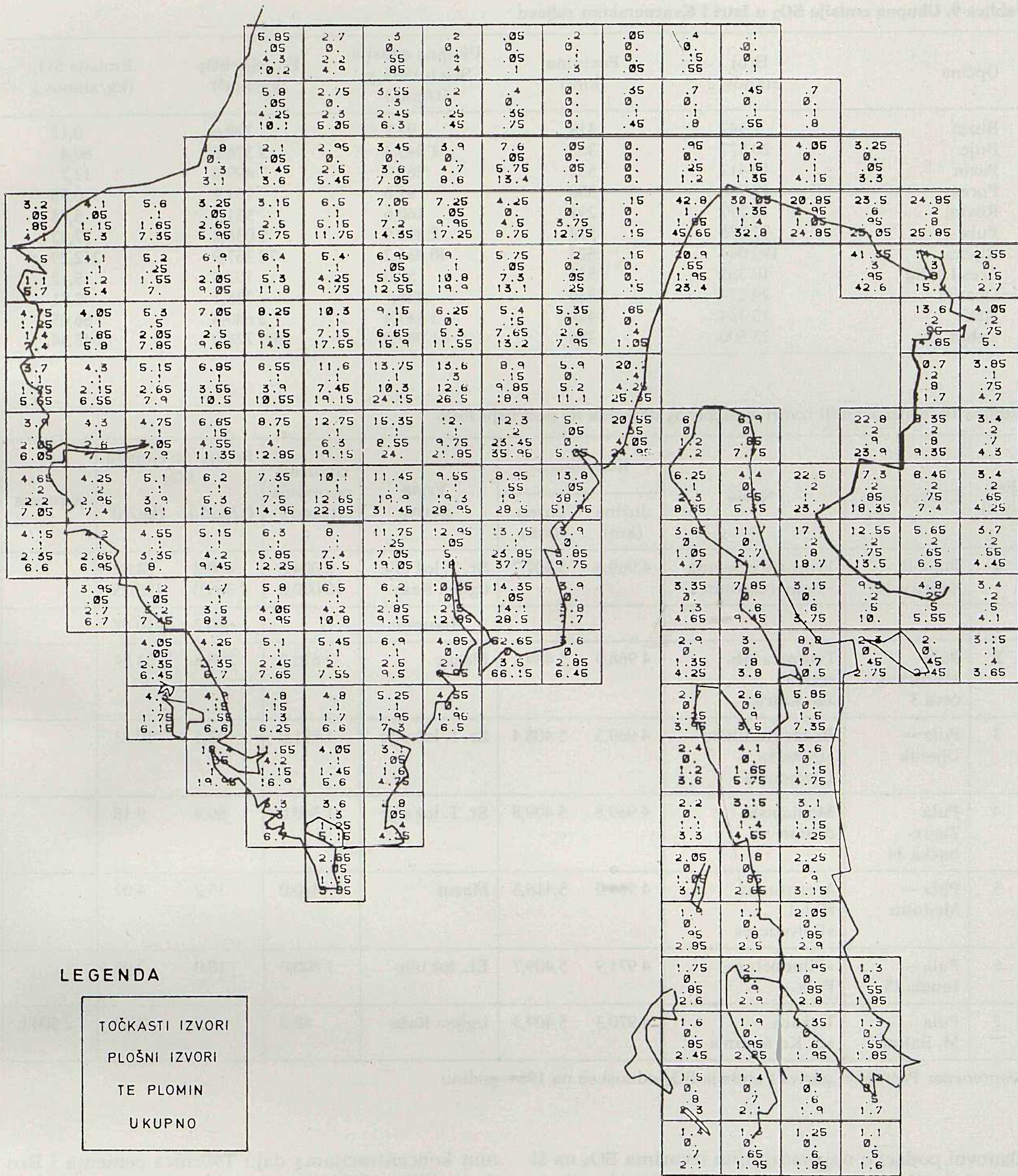
Rezultati proračuna prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ prikazani su na slici 3. za 1980/1981. godinu, gdje su prikazani posebno doprinosi prosječnim godišnjim prizemnim koncentracijama SO₂ iz točkastih izvora, plošnih izvora i TE Plomin 1.

Prikaz rezultata proračuna dan je u mreži 5 × 5 km u cijelom analiziranom području. Prema slici 3. mogu se identificirati tri područja povišenih prizemnih koncentracija SO₂:

- šire područje grada Rijeke, gdje su prosječne vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ kreću u rasponu od 20 — 50 μg/m³
- okolina TE Plomin 1, gdje se prosječne vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ kreću u rasponu 20 — 70 μg/m³
- šire područje grada Pule, gdje se prosječne vrijednosti prizemnih koncentracija kreću u rasponu od 10 do 30 μg/m³.

6. IDENTIFIKACIJA NAJVEĆIH ZAGAĐIVAČA NA ANALIZIRANOM PODRUČJU

Prema provedenom istraživanju na području Istre i Kvarnerskog zaljeva i izrađenom katastru izvora emisije, identificirana je trideset jedna privredna organizacija koja prema intenzitetu emisije SO₂ pripa-



Slika 3. Prosječne godišnje prizemne koncentracije SO₂ na području Istre i Kvarnerskog zaljeva — prosjek 1980/1981. (mikrogrami/M³)

da prvim trima grupama kategorizacije opisane u poglavlju 3.1.3. Lokacija je određena koordinatama ispušta, odnosno za industrije s više izvora s koordinatama najvećeg izvora.

Na području Riječkog zaljeva identificirano je ukupno 17 značajnih zagađivača čija se emisija vrši iz pri-

bližno osamdeset pojedinačnih izvora koji su detaljnije opisani u [L 1].

Na području Pule identificirani su svi značajniji izvori sumpornog dioksida, koji se nalaze u katastru emisije [L 1]. Prema istim kriterijima izdvojeni su najintenzivniji zagađivači, čiji su osnovni podaci prikazani u tablici 10.

Tablica 9. Ukupna emisija SO₂ u Istri i Kvarnerskom zaljevu

Općina	Broj stanov.	Površina (km ²)	Ukupna emisija SO ₂ u 1985. g. (t/god.)	Emisija SO ₂ (kg/km ²)	Emisija SO ₂ (kg/stanov.)
Buzet	7 342	319	92,7	290,6	0,12
Buje	20 577	368	1 243,4	3 378,8	60,4
Pazin	19 412	532	265,9	499,8	13,7
Poreč	19 946	350	91,6	261,7	0,98
Rovinj	18 277	291	160,6	551,9	8,78
Pula	77 278	574	2 891,9	5 038,2	37,42
Rijeka	193 044	523	40 981,2	78 357,9	212,29
Cres-Lošinj	10 361	513	53,0	103,3	5,12
Opatija	29 274	310	225,7	728,1	7,71
Krk	13 334	428	1 147,4	2 680,8	86,05
Labin	25 500	386	41 969,0	108 728,0	1 645,84

Tablica 10. Najznačajniji izvori sumpornog dioksida na području Pule

Red. broj	Lokacija	Naziv	Koordinate		Vrsta goriva	Godišnja potrošnja (t/god.)	Prosječna emisija SO ₂		Napomena
			dužina (km)	širina (km)			(t/god.)	(kg/h)	
1	Pula, B. Kidriča 10	Tvornica cementa »Đulio relevante«	4 969,6	5 407,7	Sr. T. lož ulje ugljen Raša	8 004,0 10 000,0	480,2	54,82	
							1 360,0	155,25	
					Ukupno		1 840,2	210,07	
2	Pula Mažuranićeva 3	Tvornica lab. stakla »B. Kidrič«	4 968,9	5 409,1	Mazut	2 610,0	208,8	23,84	
3	Pula — Uljanik	Brodogradilište »Uljanik« Ljevaonica	4 969,5	5 408,4	Sr. T. lož ulje	1 551,0	93,1	10,63	
4	Pula Zagrebačka 34	Medicinski centar	4 969,8	5 409,8	Sr. T. lož ulje	1 340,0	80,4	9,18	
5	Pula — Medulin	Arenaturist Hotel »Belvedere«	4 964,0	5,416,6	Mazut	440,0	35,2	4,02	
6	Pula — Inuds. 15	»Plinobeton« Pula	4 971,9	5,409,7	EL. lož ulje	1 800,0	18,0	2,05	
7	Pula M. Balote 7	Tiskara »O. Keršovani«	4 970,3	5 409,3	Ugljen Raša	68,0	9,2	3,68	2 500 h

Napomena: Potrošnja goriva i emisija SO₂ odnosi se na 1984. godinu

Osnovni podaci o najznačajnijim izvorima SO₂ na širem području Istre prikazani su u tablici 11, gdje su kategorizirani prema podacima iz katastra emisije.

7. PRIJEDLOG MOGUĆIH MJERA ZA REDUKCIJU PRIZEMNIH KONCENTRACIJA SO₂

7.1. Pula

Prema provedenim analizama na pet lokacija receptora na području Pule uz identifikaciju 7 najznačajnijih izvora SO₂, uočeno je da najveći doprinos prizem-

nim koncentracijama daju Tvornica cementa i Brodogradilište »Uljanik«. Na primjer, prema podacima za 1980./81. god. doprinos Tvornice cementa iznosio je 28,18 µg/m³ u Bulevaru B. Kidriča. Izgradnjom dimnjaka od 35 metara (sadašnja visina 15 metara) prizemna koncentracija SO₂ smanjila bi se za gotovo 4 puta, a izgradnjom dimnjaka od 50 metara dobile bi se gotovo 7 puta niže koncentracije SO₂ na promatranom receptoru. Izgradnja dimnjaka visine 30 m u Brodogradilištu reducirala bi doprinos ovog izvora od 35,51 µg/m³ (prosjeck 1980/81. god.) na istoj lokaciji receptora za približno 5 puta, odnosno 7,52 µg/m³.

Tablica 11. Najznačajniji izvori sumpornog dioksida na području Istarskog poluotoka

Red. broj	Lokacija	Naziv	Koordinate		Vrsta goriva	Godišnja potrošnja (t/god.)	Prosječna emisija SO ₂		Napomena
			dužina (km)	širina (km)			(t/god.)	(kg/h)	
1	Koromačno	Tvornica cementa Koromačno	4 980,6	5 431,1	Mazut	16 351,0	1 308,1	149,33	
					Ugljen Raša	16 011,0	2 177,5	248,57	
					EL. lož ulje	9,0	0,1	0,01	
					Antracit	7 102,0	142,0	16,21	
					Ukupno		3 627,7	414,12	
2	Most Raša	Tvornica hidrat. vapna	4 991,6	5 424,9	Ugljen Raša	9 385,0	1 276,4	145,71	
3	Labin	Toplana Labin	4 994,4	5 431,1	Ugljen Raša	1 838,0	250,0	208,33	1 200 h
4	Raša	Toplana Raša	4 993,2	5 428,3	Ugljen Raša	780,0	106,1	88,42	1 200 h
5	Podpićan	Tvornica keram. pločica	5 006,2	5 429,1	SR. T. lož ulje	3 990,6	239,4	27,33	
6	Pazin Cerovlje	IGMA — Ciglana	5 014,8	5 422,8	Mazut	2 470,0	197,6	22,56	
7	Labin Tupljak	Istarski ugljenokopi	5 007,3	5 429,3	Ugljen Raša	414,9	56,4	6,44	
8	Plomin	TE Plomin 1	5 434,6	4 999,5	Ugljen Raša	182 480,0	24 817,3	5 613,50	4 421 h

Napomena: Potrošnja goriva i emisija SO₂ odnosi se na 1984. godinu

Tablica 12. Doprinos najznačajnijih izvora SO₂ u Puli na lokacijama receptora za razdoblje 1980/1981. godina

Red. br.	Lokacija objekta	Naziv objekta	Gauss-Krügerove koordinate		Doprinos izvora na lokaciji receptora (µg/m ³)					
			širina (km)	dužina (km)	Partizanski put	Vodnjanska cesta	Bulevar B. Kidriča	Obala M. Tita	Omladinska ulica	Verudela Zlatne stijene
1.	Pula B. Kidriča 10	Tvornica cementa »D. Relevante«	4 969,6	5 407,7	2,14	2,86	28,18	5,11	8,83	3,11
2.	Pula Mažuranićeva 3	Tvornica labor. stakla »B. Kidrič«	4 968,9	5 409,1	0,34	0,47	1,47	0,87	0,00	0,49
3.	Pula Uljanik	Brodogradilište »Uljanik« — ljevaon.	4 969,5	5 408,4	0,23	0,33	35,50	1,09	3,23	0,41
4.	Pula Zagrebačka	Medicinska centar	4 969,8	5 409,8	0,38	0,46	1,85	1,10	1,28	0,31
5.	Pula Medulin	Arenaturist Hot. »Belvedere«	4 964,0	5 416,6	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
6.	Pula Industrijska 15	Plinobeton — Pula	4 971,9	5 409,7	1,12	4,10	0,24	0,87	0,18	2,37
7.	Pula M. Balote	Tiskara »O. Keršovani«	4 970,3	5 409,3	0,04	0,07	0,21	0,06	0,10	0,07
	Ukupno				4,28	8,32	67,49	9,14	13,66	6,79

Treba napomenuti da se prizemne koncentracije SO₂ na drugim lokacijama receptora smanjuju ili ostaju gotovo iste, što znači da bi se navedenim mjerama mogla postići ravnomjernija raspodjela prizemnih koncentracija na širem području grada. Doprinos pojedinih izvora prikazan je za primjer u tablici 12.

Iz svega navedenog može se konstatirati da bi izgradnja dimnjaka u Tvornici cementa »Đulio Relevante« visine 50 m i u Brodogradilištu »Uljanik« visine 30 m dala prizemne koncentracije SO₂ na području grada Pule približno za red veličine niže od postojećih. Navedena konstatacija znači da bi Pula s navedenim

mjerama zaštite zraka od zagađivanja dobila prvu kategoriju čistoće zraka. Prikaz rezultata s različitim visinama dimnjaka dan je u tablici 13.

Na kraju treba istaći da bi konačni prijedlog mjera za optimalnu redukciju prizemnih koncentracija SO₂ na širem području grada Pule trebalo napraviti nakon detaljne studije ovog područja.

Tablica 13. Moguće mjere za smanjenje prizemnih koncentracija SO₂ na području Pule

Lokacije receptora	Tvornica cementa »Đ. Relevante«		Brodograd. »Uljanik«			
	Visina dimnjaka (m)					
	35		50		30	
	Doprinos prizemnim koncentracijama SO ₂ (µg/m ³)					
	1980.	1981.	1980.	1981.	1980.	1981.
Partizanski put	2,06	1,58	1,89	1,46	0,21	0,15
Vodnjanska cesta	2,74	2,04	2,46	1,85	0,30	0,20
Bulevar B. Kidriča	7,02	7,43	3,97	4,39	8,90	6,15
Obala M. Tita	3,68	3,97	3,03	3,36	0,78	0,64
Omladinska ulica	6,06	6,78	4,9	5,51	1,46	1,78
Verudela Zlatne stijene	3,19	2,09	2,87	1,89	0,37	0,25

7.2. Rijeka

Prema podacima iz studije [L 1] proizlazi da najveći doprinos prizemnim koncentracijama SO₂ na području grada Rijeke daju INA-Rafinerija nafte Mlaka i Urinj, Koksara i TE Rijeka 1. Kao moguće mjere zaštite prizemnih slojeva atmosfere od zagađivanja sa SO₂, u okviru ovog rada, analizirano je kako slijedi:

a) Izgradnja dimnjaka visine 40 m umjesto postojećeg visine 20 m u INA-Rafinerija nafte — Mlaka

Efekti ove zaštitne mjere dat će se za lokaciju receptora, na kojoj je ustanovljen najveći doprinos ovog izvora prizemnim koncentracijama SO₂. Prema proračunu iz [L 1] slijedi da ovaj izvor daje najveći doprinos prizemnim koncentracijama SO₂ u Čandekovoj ulici 69 µg/m³ za razdoblje 1980/81. god. Izgradnjom dimnjaka visine 40 m na lokaciji ovog izvora dobili bi se efekti smanjenja prizemnih koncentracija na navedenoj lokaciji receptora od 31,5 µg/m³ u 1980/81. god. Dakle, s ovom mjerom približno bi se prepolovio doprinos ovog izvora prizemnim koncentracijama SO₂ na navedenoj lokaciji receptora. Slična konstatacija bi se mogla izvesti i za druge lokacije receptora.

b) Izgradnja dimnjaka visine 60 m umjesto postojećeg visine 20 m u INA-Rafinerija nafte — Mlaka

Rezultati proračuna prizemnih koncentracija SO₂ na 5 lokacija receptora u Rijeci, dani u [L 1], upućuju na

to da bi se izgradnjom dimnjaka visokog 60 m na lokaciji ovog izvora dobile približno dvostruko manje prizemne koncentracije SO₂ u odnosu na dimnjak visok 40 m, odnosno četverostruko manje u odnosu na postojeći dimnjak. Na primjer, za lokaciju receptora u Čandekovoj ulici doprinos ovog izvora u 1980. god. iznosio je približno 61 µg/m³, dok bi taj doprinos s dimnjakom visokim 60 m iznosio 16 µg/m³.

c) Izgradnja dimnjaka visine 40 m umjesto postojećeg visine 20 m u INA-Rafinerija nafte — Urinj

Najveći doprinos ovog izvora prizemnim koncentracijama SO₂ jest na lokaciji receptora u Bakru. Taj doprinos je iznosio 22 µg/m³ za razdoblje 1980/81. god. Izgradnjom dimnjaka visokog 40 m ovaj doprinos smanjio bi se na 15 µg/m³ u 1980. godi. odnosno 16 µg/m³ u 1981. godi. na navedenoj lokaciji receptora. Iz dobivenih rezultata [L 1] također slijedi da bi ova mjera zaštite dala pozitivan efekt smanjenja prizemnih koncentracija SO₂ i na drugim lokacijama receptora.

d) Izgradnja dimnjaka visine 60 m umjesto postojećeg visine 20 m u INA-Rafinerija nafte — Urinj

Za lokaciju receptora u Bakru dobilo bi se daljnje smanjenje prizemnih koncentracija SO₂ prosječno za 4 µg/m³. Ova mjera ne daje tako izrazite efekte smanjenja kao ona Rafinerije nafte — Mlaka, što se moglo i očekivati jer je lokacija ovog izvora mnogo povoljnija od lokacije u Mlaci.

Ako se analiziraju samo rafinerije, kao moguće mjere za smanjenje prizemnih koncentracija SO₂ u Rijeci mogle bi se sugerirati prema tablici 14:

- izgradnja dimnjaka visine 60 m u INA-Rafinerija nafte — Mlaka
- izgradnja dimnjaka visine 40 m u INA-Rafinerija nafte — Urinj.

Konačnu odluku o mogućim mjerama za redukciju prizemnih koncentracija SO₂ na području Rijeke trebalo bi donijeti na temelju studije koja bi se bavila samo gradom Rijekom i u okviru koje bi trebalo analizirati utjecaj izvora na mnogo više lokacija receptora. Iz navedenog primjera u ovom radu proizlazi da se izrada studije za prijedlog optimalnih mjera za redukciju prizemnih koncentracija SO₂ u Rijeci nameće kao imperativ.

7.3. Bliža okolina TE Plomin

Iz dobivenih rezultata [L1] slijedi da je najveći zagađivač u ovom području TE Plomin 1. Budući da su moguće zaštitne mjere za ovaj izvor emisije SO₂ detaljno obrađene u studiji [L 2], neće se u okviru ovog rada posebno obrađivati.

Drugi izvor koji daje značajniji doprinos prizemnim koncentracijama SO₂ u Labinu (Stari grad) jest toplana. Ovaj izvor ima izgrađen dimnjak visok 42 m. S

Tablica 14. Moguće mjere za smanjenje prizemnih koncentracija SO₂ na području Rijeke

Lokacija receptora	INA-Rafinerija nafte							
	Urinj				Mlaka			
	Visina dimnjaka (m)							
	40		60		40		60	
	Doprinos prizemnim koncentracijama SO ₂ (µg/m ³)							
	1980.	1981.	1980.	1981.	1980.	1981.	1980.	1981.
Čandekova ulica	2,99	2,60	2,12	2,40	29,55	35,33	15,95	17,56
Vežice	3,97	4,23	3,84	4,02	2,50	2,61	2,38	2,44
Čavle	0,44	0,30	0,42	0,13	1,51	1,73	1,46	1,47
Bakar	14,84	15,98	11,26	11,98	1,06	1,11	1,01	1,03
Kraljevica	4,42	5,07	3,66	4,05	0,48	0,51	0,46	0,48
Brajdica	1,23	0,89	1,19	0,83	0,42	0,25	0,40	0,24

obzirom na razliku u elevaciji receptora (Labin — Stari grad) i izvora (Toplana Labin) nije moguće dobiti značajniju redukciju SO₂ izgradnjom višeg dimnjaka. Jedina mjera koja se čini razumnom u ovom slučaju jest zamjena sadašnjeg energenta (raški ugljen) drugim, i na taj način redukcija emisije SO₂ u atmosferu.

8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Katastar zagađivača atmosfere sa SO₂ izrađen za područje Istre i Kvarnera, koji je poslužio kao podloga za analizu postojećeg stanja zagađenja SO₂ u prizemnim slojevima atmosfere, u cijelosti je priložen u [L 1]. S obzirom na vrlo kompleksno područje analize, pri testiranju računskog modela nastojalo se prikupiti i iskoristiti sve raspoložive podatke o emisiji (katastar emisije), meteorološke podatke, orografske podatke, kao i sve podatke mjerenja prizemnih koncentracija SO₂ na analiziranom području.

S tim u vezi korišteni su meteorološki podaci s meteoroloških stanica u Rijeci i Puli, te meteorološki podaci koji su prikupljeni na lokacije TE Plomin. Podaci o mjerenim prizemnim koncentracijama SO₂ korišteni su sa 5 lokacija mjerenja u Rijeci, 5 lokacija mjerenja u Puli i 4 lokacije mjerenja u bližoj okolini TE Plomin. Odabrani broj lokacija mjerenja ocijenjen je kao reprezentativan za testiranje računskog modela.

U tablici 6. dan je koeficijent korelacije i odnos 24-satnih izmjerenih i izračunatih prosječnih godišnjih prizemnih koncentracija SO₂ u bližoj okolini TE Plomin. Iz navedene tablice uočava se da se dobivaju veoma dobri odnosi izmjerenih i izračunatih prizemnih koncentracija SO₂ na lokacijama mjerenja u Plomin-gradu, Stepčićima i Labin Marcilnici, dok je nešto lošiji odnos u Ripendi Kras. Ovaj lošiji odnos prizemnih koncentracija SO₂ u Ripendi Kras može se opravdati niskim dimnjakom TE Plomin 1 i topografskim položajem ove lokacije mjerenja. Naime, u jedinim meteorološkim uvjetima vrlo je teško razlu-

čiti nastrojavanje i opstrujavanje neke prirodne prepreke ako se ona nalazi vrlo blizu izvora. Uz sve navedeno, dobiven je relativno zadovoljavajući koeficijent korelacije za ove četiri lokacije koji iznosi $r = 0,608$. Kako se radi o modeliranju velikog broja izvora s različitim visinama ispuštanja i različitom snagom emisije može se konstatirati da je dobiveni stupanj korelacije vrlo dobar za ovo orografski jako razvijeno područje.

U tablici 7. dan je koeficijent korelacije i odnosi izmjerenih i izračunatih prosječnih 24-satnih prizemnih koncentracija SO₂ za 5 lokacija mjerenja u Puli. Iz navedene tablice vidi se da se dobivaju zadovoljavajući odnosi između izmjerenih i izračunatih prizemnih koncentracija SO₂ na 4 lokacije mjerenja, te nešto lošiji odnos na lokaciji mjerenja Partizanski put. Ako se uzme u obzir da se radilo s veoma velikim brojem izvora (točkastih i plošnih), i da nije uključen doprinos prometa u prizemnim koncentracijama SO₂ koji u jednoj gradskoj sredini može biti značajniji, naročito u uvjetima ako je odabrana lokacija mjerenja tako da obuhvati ukupni fon zagađenja, može se konstatirati da su dobiveni odnosi vrlo dobri i dovoljni za daljnje analize. Uz ovo navedeno dobiven je stupanj korelacije između izmjerenih i izračunatih vrijednosti od $r = 0,865$.

U tablici 8. dan je koeficijent korelacije i odnos izmjerenih i izračunatih vrijednosti 24-satnih prizemnih koncentracija SO₂ za pet lokacija mjerenja u Rijeci. Iz navedene tablice uočava se da se dobivaju vrlo dobri odnosi izmjerenih i izračunatih prizemnih koncentracija SO₂ u Rijeci na četiri lokacije mjerenja, dok je taj odnos nešto lošiji na lokaciji mjerenja u Kraljevici. Za ovih pet mjerenja u Rijeci dobiven je stupanj korelacije između izmjerenih i izračunatih vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ od $r = 0,9605$.

Ako se podaci izmjerenih i izračunatih vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ sa svih 14 lokacija mjerenja stave zajedno, dobije se ukupni stupanj korelacije $r = 0,744$.

Budući da se radi o modeliranju točaka u prostoru gdje greška u lokaciji točke od stotinjak metara može dovesti do relativno pogrešne procjene prizemnih koncentracija, dobiveni korelacijski odnos (faktor korelacije) za svih 14 lokacija mjerenja daje za pravo da se konstatira da je računski model LONGZ reprezentativan za modeliranje prizemnih koncentracija SO₂ na području Istre i Kvarnerskog zaljeva.

Također, na temelju iznesenog može se konstatirati da su katastar emisije i snage emisije dobro određeni i predstavljaju dobru bazu ulaznih podataka za sve daljnje analize kretanja prizemnih koncentracija SO₂ u ovom području. Ova konstatacija ne znači da bi trebalo prestati mjeriti prizemne koncentracije SO₂ u urbanim sredinama analiziranog područja, nego da bi trebalo napraviti kombinaciju mjerenja i modeliranja gdje bi nekoliko mjernih stanica davalo bazu podataka za kalibraciju računskog modela, a rasprostiranje prizemnih koncentracija SO₂ u urbanoj sredini trebalo bi se određivati modeliranjem. Ovakav pristup je dugo prisutan u svjetskoj praksi, a prema [L 3] on se eksplicite i sugerira.

Rezultati proračuna prosječnih godišnjih prizemnih koncentracija SO₂ u analiziranom području pokazuju da se mogu identificirati tri područja povišenih prizemnih koncentracija SO₂:

- šire područje grada Rijeke, gdje se prosječne vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ kreću u rasponu od 20 do 50 μg/m³
- okolina TE Plomin 1, gdje se prosječne vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ kreću u rasponu od 20 do 70 μg/m³
- šire područje grada Pule, gdje se prosječne vrijednosti prizemnih koncentracija kreću u rasponu od 10 do 30 μg/m³

Može se zaključiti da najveći doprinos prizemnih koncentracija SO₂ daju:

- u području grada Rijeke — INA-Rafinerija nafte Mlaka i Urinj, Koksara i TE Rijeka 1
- u području grada Pule — Tvornica cementa »Đulio Relevante« i Brodogradilište »Uljanik«
- u okolini TE Plomin — TE Plomin 1, Tvornica cementa Koromačno i Toplana Labin

Iz svih iznesenih karakteristika katastra emisije i iz veoma široke primjene (prostorno planiranje, lociranje objekata itd.) proizlazi da bi njegova izrada trebala biti kontinuirana i da bi ažuriranje podataka trebalo biti u nadležnosti svake društveno-političke zajednice. Izrada katastra zagađivača i katastra emisije obavezna je po zakonu o prostornom planiranju i uređenju prostora NN 54/80 od 31. prosinca 1980.

LITERATURA

- [1] J. ĆURKOVIĆ, V. JELAVIĆ, M. JURETIĆ, Ž. POSTRUŽIN, Z. VARAŽDINEC: »Postojeće stanje zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom u široj okolini TE Plomin«, Institut za elektroprivredu — Zagreb, 1986.
- [2] J. ĆURKOVIĆ, V. JELAVIĆ, M. JURETIĆ, Ž. POSTRUŽIN, Z. VARAŽDINEC: »Procjena prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin«, Institut za elektroprivredu — Zagreb, 1986.
- [3] US Environmental Protection Agency, Philadelphia PA: User's Instructions for the SHORTZ and LONGZ Computer Programs — Vol. 1 and 2, H.E. Cramer Co., Inc. Salt Lake City, UT, NTIS, March 1982.
- [4] Institut »R. Bošković« OOUR Fizika, energetika i primjena: »Proračun emisije radioaktivnih elemenata i teških metala na osnovi mjerenja koncentracija u pepelu, zraku i vodi«, Zagreb 1984.
- [5] OECD: »The Cost and Benefits of Sulphur Oxide Control, A Methodological Study«, Paris, 1981.
- [6] H.M. DIX: »Environmental Pollution« (Atmosphere, Land, Water and Noise), The Institution of Environmental Sciences Series, John Wiley and Sons Ltd., 1981
- [7] RHMZ SR Hrvatske — Centar za meteorološka istraživanja, »Meteorološki aspekti utjecaja TE Plomin 2 na okoliš«, Zagreb, ožujak 1982.
- [8] E. LONČAR: »Metoda određivanja satnih vrijednosti visine sloja miješanja«, Rasprave i prikazi br. 16, RHMZ SRH, 1981.
- [9] RHMZ SR Hrvatske — Centar za meteorološka istraživanja: »Model rasprostiranja SO₂ oko TE Plomin 1 i 2, Zagreb, siječanj 1984.
- [10] Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada: »Organizacija mjerenja onečišćenja atmosfere na području SR Hrvatske, Izvještaj za 1983. godinu, Zagreb, prosinac 1983.
- [11] Zavod za zaštitu zdravlja — Rijeka: »Mjerenja osnovnih i specifičnih pokazatelja zagađenja zraka na području riječkog zaljeva«, Rijeka, siječanj 1985.
- [12] E. BAZZANO, D. FRATERNALI and R. SOZZI: »A Methodology to Predict and Plan Air Pollution Levels in a Given Territory: 22nd UNICHAL — Congress, VII International District Heating Conference, Copenhagen /Denmark, 30.06. — 04.07.1986.
- [13] Van Nostrand Reinhold Company: Industrial Pollution, Edited by N. Irving Sax

Podloge

1. Savezni zavod za statistiku, Popis stanovništva i stanova 1971. godine
2. Republički zavod za statistiku SRH, Popis stanova na području Istre i ZO Rijeka 1981. godine
3. Zavod za zaštitu zdravlja Rijeka, Izvještaj o mjerenjima SO₂ na području grada Rijeke za 1980, 1981, 1982, 1983. i 1984. godinu
4. Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske: Izvještaj o elektroenergetskim prilikama u SR Hrvatskoj, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985.
5. Podaci o prometu goriva na području Istre i Kvarnerskog zaljeva

ANALYSIS OF NOW-A-DAY ATMOSPHERE POLLUTION WITH SULFUR DIOXIDE IN THE REGION OF ISTRA AND KVARNER BAY

In the article is given an analysis of now-a-day atmosphere pollution with sulfur dioxide in the region of Istra and Kvarner Bay. As a basis for estimation of ground level concentration of SO_2 TS elaborated a list of all spotted and spread sources in the region. The analysis is performed by model 'LONGZ'. Calibration of the model was done by measured values of ground concentrations and the model was proved as representative. On the base of the list, some greater sources are indicated. Proposed are some protection measures for areas with greater SO_2 ground level concentrations with the analysis of some sources contributions.

ANALYSE DES GEGENWÄRTIGEN ZUSTANDES DER UMWELTVERSCHMUTZUNG DURCH SCHWEFELOXID AUF DEM GEBIET ISTRIENS UND DER BUCHT KVARNER

Die Arbeit analysiert den gegenwärtigen Zustand der Umweltverschmutzung durch Schwefeloxid auf dem Gebiet Istriens und der Buch Kvarner. Als Unterlage zur Berechnung der erdnahen Konzentration von SO_2 wurde ein Kataster der Emissionen aller Punkte und Flächenquellen auf dem analysierten Gebiet ausgearbeitet. Die Analyse wurde mit Hilfe des Arbeitsmodells Longz durchgeführt. Das Rechenmodell wurde aufgrund der Maßwerte der erdnahen Konzentrationen geeicht. Die Eichung bestätigte die Repräsentanz dieses Modells für das analysierte Gebiet. Aufgrund eines Verschmutzungskatasters wurde die Identifikation der größten Umweltverschmutzer aufgestellt. Es wurden mögliche Schutzmaßnahmen für drei Gebiete der erhöhten erdnahen Konzentration SO_2 mit einer Analyse der Umweltverschmutzer vorgeschlagen.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ДВУОКИСЬЮ СЕРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ИСТРЫ И КВАРНЕРСКОГО ЗАЛИВА

В работе дан анализ существующего состояния загрязнения атмосферы двуокисью серы на территории Истры и Кварнерского залива. В качестве основы для оценки надземных концентраций двуокиси серы выполнен кадастр выброса всех точечных и плоскостных источников на анализируемой территории. Анализ произведен при помощи ЭВМ модели ЛОНГЗ. Калибрование математической модели исполнено на базе измеренных значений надземных концентраций и подтвердил правильность данной модели для анализируемой территории. На основании кадастра загрязнения произведена идентификация крупнейших загрязнителей. Предложены возможные защитные мероприятия для трех областей повышенных надземных концентраций двуокиси серы с анализом выбросов загрязнителей, взятых в отдельности.

Naslov pisaca:

mr Jure Ćurković, dipl. inž.
Zlatko Varaždinec, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1986 — 10 — 28



ASTRA

**SPONZOR-SUORGANIZATOR
UNIVERZIJADE '87**

ZAGREB
JUGOSLAVIJA



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

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

Djelatnosti na vanjskom tržištu:

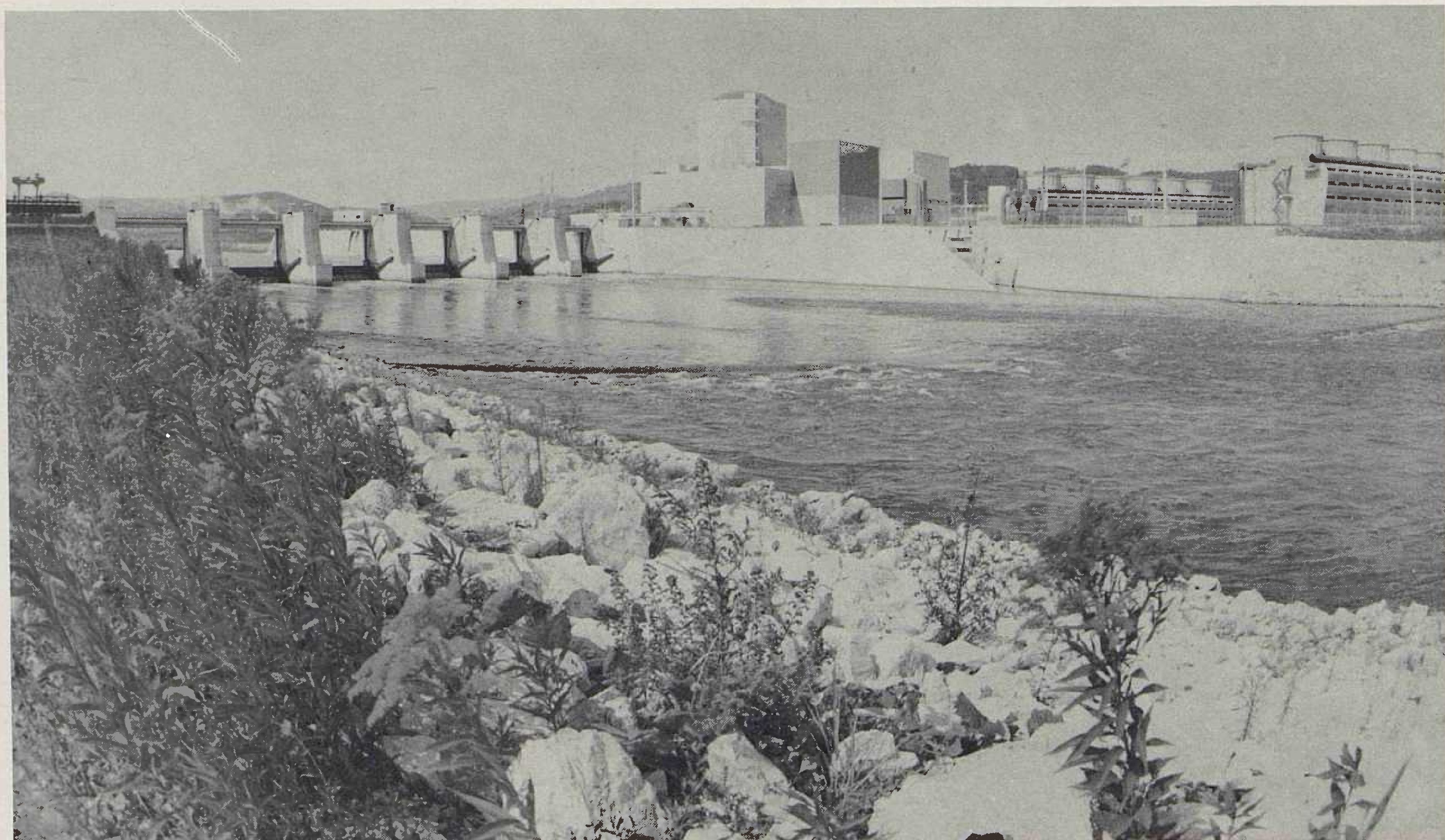
- izvoz-uvoz kompletnih objekata, postrojenja i opreme za sve grane industrije;
- izvoz-uvoz brodova i aviona;
- izvoz-uvoz poljoprivredno-prehrambenih proizvoda;
- međunarodno trgovinsko posredovanje;
- međunarodna trgovina putem mreže inozemnih firmi i predstavništava;
- zastupanje inozemnih firmi.

Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

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

OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

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



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

IZGRADNJA KOTLA K500 – U LOŽENOG UVOZNIH KAMENIM UGLJENOM U TE-TO ZAGREB

Zdravko Mužek – mr Zlatko Komerički, Zagreb

UDK 621.181.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Istražena je opravdanost izgradnje kotla K500 – U (500 t/h, uvozni kameni ugljen) u TE-TO Zagreb. Proces vrednovanja izgradnje kotla uvažava neizvjesnosti immanentne budućnosti. Osim mjerljivih parametara u vezi s predmetom istraživanja, sagladavaju se i strateški elementi uvoza energetskeg kamenog ugljena i diverzifikacija energetske oblike korištenih u toplinskom sistemu Zagreba.

Ključne riječi: ugljen, toplinski sistem.

1. UVOD

Termoelektrana – toplana Zagreb opskrbljuje toplinom (vrelom vodom i vodenom parom) korisnike u istočnom dijelu centraliziranog toplinskog sistema. Odluka o izgradnji I faze TE-TO (dva bloka PT 32) donesena je 1957. godine, kamen temeljac je položen 14.10.1958, a 1962. godine su blokovi pušteni u pogon. Energetska baza trebalo je da budu zagorski rudnici lignita, rudnik s područja Vukomeričkih gorica i viškovi prirodnog plina s obližnjih naftnih polja. Pokazalo se, međutim, da nije moguće osigurati trajnu dobavu navedenih ugljena, pa se u početku eksploatacije (do 1965) on dovozio iz Bosne (ali uz znatne probleme). U ono vrijeme (druga trećina šezdesetih) prisutna je u Jugoslaviji tendencija supstitucije ugljena jeftinijim teškim loživim uljem, pa su te dvije činjenice (teškoće s osiguranjem ugljena i njegova cijena) uvjetovale pregradnju kotlova i prijelaz na korištenje teškog loživog ulja (i prirodnog plina). Ova postrojenja su i danas u pogonu. Od tada ugljen se u Zagrebu koristi gotovo isključivo u malim individualnim ložištima sa svim lošim posljedicama zbog nekontroliranog ispuštanja dimnih plinova u okolinu.

Godine 1975. započela je izgradnja II faze TE-TO, odnosno bloka T 100/120 – 130 – 3 (u daljem tekstu T 100) na teško loživo ulje/prirodni plin. Objekt je pušten u probni pogon u lipnju 1979. godine. Osim navedenih jedinica spojnog procesa, u TE-TO je izgrađen i niz jedinica za proizvodnju vrela vode ili pare u izravnom procesu za pokrivanje vršnog dijela dijagrama opterećenja.

Eksploatacijom u toku 23 godine kotlovi 2 × 200 t/h blokova 2 × PT 32 potpuno su dotrajali. Potreba njihove hitne zamjene odgovarajućim novim postrojenjima jest stoga danas prioritetna. Sa sigurnošću se može predvidjeti da bi izravna posljedica nepravovremene izgradnje novih kapaciteta već uskoro bila nemogućnost adekvatne opskrbe industrije istočnog

dijela grada jednim od osnovnih inputa – tehnološkom toplinom.

Aktualno pitanje koje se u vezi s izgradnjom kapaciteta u TE-TO postavlja nije, dakle, da li treba graditi nove kapacitete, već kako koncipirati zamjenu navedenih kotlova 2 × 200 t/h. Da bi se dao odgovor na to pitanje, polazi se od nekoliko kriterija koje određena koncepcija zamjene kotlova 2 × 200 t/h i daljeg razvitka CTS-a Zagreba treba ispunjavati da bi se smatrala opravdanom. Pri razradi bilo koje koncepcije većeg vremenskog raspona najveće je težište uvijek na prvom koraku (zbog neizvjesnosti koje rastu s rastom vremenskog razmaka i zbog neposredne realizacije prvog koraka), pa se i spomenuti kriteriji odnose naročito na postrojenje koje treba graditi u toj prvoj fazi realizacije zamišljene koncepcije razvitka. Ono treba biti:

- tehnički izvodljivo
- ekološki prihvatljivo
- ekonomski povoljnije od alternativnih rješenja
- u suglasju sa strategijom razvitka sistema.

Cilj ovog rada jest ispitivanje koncepcije razvitka izvora u TE-TO u kojoj je prvi korak izgradnja kotla učina 500 t/h na uvozni energetskeg ugljen (u daljem tekstu K500 – U), i to ispitivanje ekonomske opravdanosti te izgradnje. Problematika tehničke izvodljivosti navedenog postrojenja razmatrana je i potvrđena u »Idejnom rješenju povezivanja generatora pare učina 500 t/h, loženog ugljenom, i postojećim proizvodnim jedinicama spojnog procesa« [L 1], a ekološka prihvatljivost je predmet posebnih istraživanja koja su u toku. Prije nego li se priđe razradi materije izravno vezane uz ispunjenje cilja rada dat će se kraći osvrt na četvrti od navedenih uvjeta – uklapanje predmetne koncepcije u strategiju razvitka CTS-a i energetskeg sistema Zagreb.

2. STRATEGIJA DUGOROČNOG RAZVITKA ENERGETIKE ZAGREBA

Strategija dugoročnog razvitka energetike Zagreba definirana je u studiji »Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. godine« [L 2], koja je usvojena u Skupštini grada Zagreba u prosincu 1983. godine. Osnovne spoznaje i poruke te studij temelj su za sagledavanje uloge svakog energetskeg objekta u kompleksnoj energetskej opskrbi korisnika na području grada.

Zagrebačko područje raspolaže neznatnim resursima energije u usporedbi s potrebama grada. Od konvencionalnih obnovljivih izvora energije raspoloživo je na zagrebačkom području nešto ogrjevnog drveta te relativno mali hidropotencijal Save (iskoristivo oko 400 GWh godišnje), korištenje kojeg treba sagledavati jedino u kontekstu višenamjenskih zahvata na rijeci. Od nekonvencionalnih obnovljivih oblika moguće je koristiti energiju Sunčeva zračenja i energiju geotermalnih izvora.

Korištenje Sunčeve topline je, zbog broja sunčanih dana u toku godine, odnosa izravne i difuzne komponente u globalnom zračenju i visokih investicija ekonomski inferiorno korištenju konvencionalnih energetskeg oblika te se predviđa tek sporadični udio sunčane topline u budućem korištenju energije u Zagrebu. Analize korištenja geotermalnih izvora pokazale su da je u određenim uvjetima (veći objekti, npr. sportsko — rekreacijski, dislocirani od mreže prirodnog plina ili CTS-a) opravdana njena primjena. No, stanje istraženosti zagrebačkog područja upućuje na to da će uloga geotermalne energije u budućoj opskrbi biti marginalna.

Od domicilne energije treba spomenuti i energiju gradskog otpada zbrinjavanje kojeg je predviđeno spaljivanjem u termoelektrani — toplani, koja bi bila element centraliziranog toplinskog sistema.

Zbog navedenog siromaštva u pogledu energetskeg izvora, zagrebačko područje mora temeljiti svoju opskrbu na dobavi energetskeg oblika (primarnih i transformiranih) iz drugih područja zemlje i svijeta. Pri tome je, zbog visoke koncentracije potreba te zahtjeva u pogledu kvalitete korištenja energije, nužno imati pred očima da velika urbana područja poput Zagreba treba da osiguraju:

- korištenje energetskeg oblika koji mogu ispuniti zahtjeve u pogledu održavanja kvalitete okoline,
- korištenje energetskeg oblika i načina zadovoljenja potreba krajnjeg korisnika, koji omogućuju fleksibilnost s obzirom na moguće promjene uvjetovane neizvjesnošću koja je imanentna budućnosti,
- korištenje oblika energije i transformacija koji privredi omogućavaju konkurentnost u međunarodnoj podjeli rada i maksimiranje dohotka,
- takvu strukturu energetske opskrbe koja će iziskivati minimalne ukupne troškove u adekvatnoj opskrbi korisnika raspoloživim energetskeg oblicima.

Navedeni ciljevi uvjetuju prostorno razgraničenje pojedinih sistema u budućem razvitku energetske op-

skrbe Zagreba. Pri industriji, ovisno o vrsti potreba i njihovu intenzitetu, pokazalo se da:

- u užem gradskom području (10 gradskih općina) treba koristiti paru (vrelu vodu) iz centraliziranog toplinskog sistema,
- izvan užeg gradskog područja treba koristiti paru (vrelu vodu) iz vlastitih kotlovnica na ugljen ili prirodni plin (alternativno, teško loživo ulje),
- za visokotemperaturne procese u industriji (industrijske peći i sl.) treba koristiti prirodni plin i, alternativno, loživo ulje ili ukapljeni plin (ovisno o zahtjevima tehnološkog procesa).

Pri stanovanju i pratećim sadržajima pokazalo se da je:

- u područjima visoke gradnje i velike gustoće izgrađenosti najpovoljnije toplinu za grijanje i pripremu potrošne tople vode osigurati iz centraliziranog toplinskog sistema,
- u području niže gradnje i manjih gustoća izgrađenosti povoljnije je za te potreba koristiti prirodni plin.

Današnja struktura građenja grada i struktura građenja predviđena GUP-om iz 1971. godine [L 3] (koji je korišten u studiji [L 2], a koji u pogledu prostornog rasporeda strukture građenja nije u osnovi mijenjan ni u izmjenama GUP-a koje su u toku) je takva da su veće gustoće građenja, s višim objektima, obilježje područja bližih središnjem dijelu Zagreba i područja novih naselja kolektivne gradnje. Na taj način područje koje pokriva sistem opskrbe prirodnim plinom prstenasto okružuje područje koje je pokrivano opskrbom iz centraliziranog toplinskog sistema (CTS čini jezgru prstena). »Debljina« tog prstena odnosno teritorijalni obuhvat opskrbe prirodnim plinom ovisit će o raspoloživim količinama prirodnog plina za grad Zagreb u budućnosti. Uz pretpostavku da je raspoloživo maksimalno $1,2 \cdot 10^9$ m³ prirodnog plina za grad, pri njegovoj konačnoj izgrađenosti prema GUP-u predviđeno je da se oko 83% svih stanova i pratećih sadržaja u Zagrebu zagrijava iz sistema opskrbe prirodnim plinom i iz CTS-a. Ostali stambeni i prateći prostor (oko 17%), uglavnom u seoskim područjima, koristit će neki od individualnih načina energetske opskrbe, tj. etažni sistem na brikete mrkog ugljena, ekstralako loživo ulje i slično. Ako se u daljem razvitku opskrbe prirodnim plinom u SRH pokaže da su za Zagreb raspoložive veće količine prirodnog plina od $1,2 \cdot 10^9$ m³, »širit« će se područje plina prema rubnim područjima Zagreba (maksimalno do $1,7 \cdot 10^9$ m³, što je krajnja moguća godišnja potrošnja).

Iz navedene koncepcije proizlazi važan zaključak da centralizirani toplinski sistem i sistem opskrbe prirodnim plinom čine komplementarne dijelove skladne energetske opskrbe. Oni se međusobno dopunjuju, a ekonomski i ekološki kriteriji su odredili mjesto svakog od njih u energetskej opskrbi. Koncepcija ima još jednu značajku koju valja posebno istaći, a ta je diverzifikacija energetskeg izvora i energetskeg oblika (posebno predviđenom dogradnjom CTS-a). Ta diverzifikacija je element koji Zagrebu pruža fleksi-

bilnost u odgovoru na eventualna odstupanja u energetici zemlje i svijeta u odnosu na danas saglediv razvitak (a to odstupanja su, zbog neizvjesnosti koju nosi budućnost, realno i moguća).

Studijom [L 2] usmjeren je razvitak CTS-a Zagreba prema ovoj koncepciji:

- na postojećim lokacijama (TE-TO, EL-TO) treba da se provedu nužne zamjene postojećih dotrajalih kapaciteta,
- treba mijenjati strukturu korištenih oblika energije izgradnjom kapaciteta na ugljen (predviđena je izgradnja koncentracijsko-oduzimnog bloka 200 — 300 MW s ugljenom kao osnovnim gorivom i, alternativno, loživim uljem i plinom),
- nuklearnu elektranu Prevlaka iskoristiti za zajedničku proizvodnju električne energije i topline za CTS Zagreb.

Proizlazi, dakle, da izgradnja kotla K500 — U ima sve strateške elemente predviđene usmjeravanjem definiranim u [L 2].

3. STRATEŠKI ELEMENTI UVOZNOG ENERGETSKOG UGLJENA

Studija [L 2], kojom je definirana prije dana strategija razvitka energetike Zagreb, nije definirala porijeklo ugljena koji bi se koristio u CTS-u Zagreba. Današnje spoznaje o mogućnosti nabave i transporta ugljena, te spoznaja o ekonomskim i ekološkim aspektima primjene ugljena u CTS-u Zagreba navode na to da se prioritet da uvoznom energetskom ugljenu. S tim u vezi potrebno je istaći i osnovne strateške elemente takvog rješenja. Sadržani su oni u ovim pitanjima:

- Kolike su rezerve energetskog ugljena u svijetu i kakav je njihov geopolitički raspored?
- Koliki je nivo i kakvi su trendovi međunarodne trgovine energetskog ugljena?
- Kakve su mogućnosti prihvata uvoznog energetskog ugljena u domaćoj luci i transporta do Zagreba?
- U kojoj je mjeri rješenje osjetljivo na poremećaje u opskrbi (ekonomski i/ili fizički)?
- Kadrovska pripremljenost za uvoz ugljena?
- Kako pristupiti izboru kvalitete uvoznog energetskog ugljena?

3.1. Rezerve i geopolitički raspored energetskog ugljena

Svjetske rezerve ugljena znatno premašuju rezerve bilo kojeg drugog fosilnog goriva, pa se vjeruje da će ga biti dovoljno da podmiri svjetske potrebe i idućih stoljeća.

Prema [L 4] procjenjuju se ukupne geološke rezerve ugljena (antracit, kameni ugljen, mrki ugljen, lignit) u svijetu na oko 13 500 milijardi tona, odnosno oko 11 000 milijardi tona ekvivalentnog ugljena (radi ilustracije navodi se da je ukupna svjetska potrošnja primarnih oblika energije u 1984. godini iznosila tisuću

puta manje 10,3 milijarde tona ekvivalentnog ugljena, a potrošnja ugljena tri tisuće petsto puta manja — 3,1 milijarda tona ekvivalentnog ugljena [L 5]. Od navedenih geoloških rezervi 1 320 milijardi tona jesu dokazane rezerve, a 882 milijarde tona dodatne iskoristive rezerve (prema sadašnjim lokalnim tehnološkim i ekonomskim uvjetima) [L 4]. Proizlazi da buduće iskoristive rezerve ugljena (dokazane + dodatno iskoristive) oko 580 puta premašuju ukupnu potrošnju ugljena u 1984. godini, a da dokazane rezerve dostaju za oko 350 godina korištenja na nivou 1984. godine. Treba, međutim, naglasiti da rast cijena energije i usavršavanje metoda pridobivanja ugljena ima za posljedicu povećanje iskoristivnih rezervi, a nove spoznaje povećavaju i geološke rezerve. Rast procjena geoloških rezervi ugljena u razdoblju 1974 — 1980. iznosio je prosječno 4,3% godišnje, a prosječna stopa rasta iskoristivih rezervi bila je i viša: 6,4% [L 2] (prosječna godišnja stopa rasta svjetske potrošnje primarne energije iznosila je u istom razdoblju tek 2,5% [L 4]).

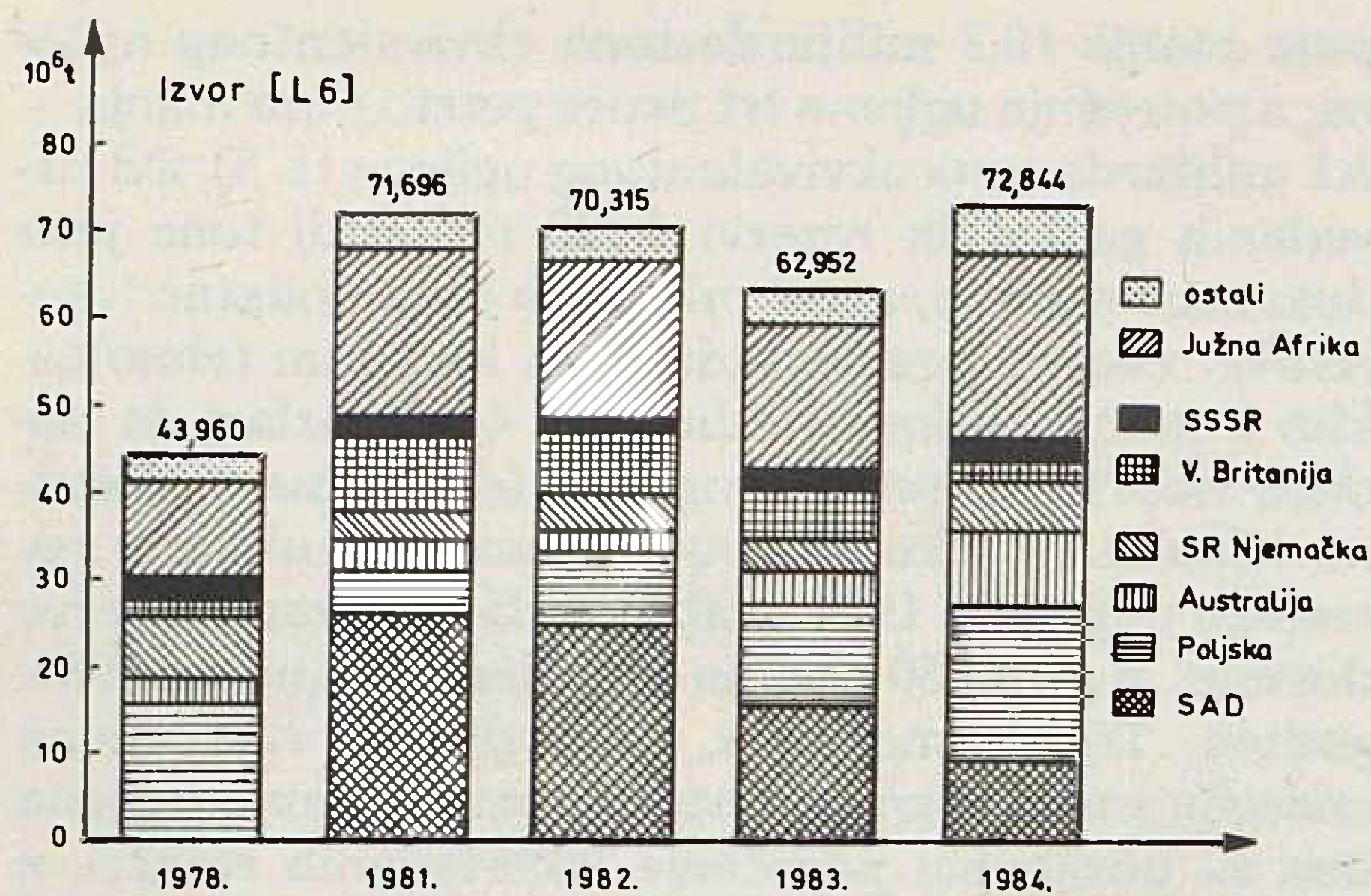
Povoljna je i struktura rezervi u pogledu kvalitete ugljena: u ukupnim geološkim rezervama kameni ugljen i antracit sudjeluju sa 62%, mrki ugljen sa 29%, a lignit sa 9% [L 2], a i geopolitička struktura (izuzme li se činjenica da zemlje u razvitku raspolažu tek s desetak postotka od budućih svjetskih iskoristivnih rezervi). Imaju li se, naime, na pameti tradicionalne političke suprotnosti između SAD-a, SSSR-a i Kine (a te zemlje su posjednice najvećih rezervi ugljena) i nemale rezerve (u apsolutnom iznosu), Poljske, Južnoafričke Republike, Australije, Kolumbije itd., proizlazi da sa stanovišta kupaca postoji zadovoljavajuća geopolitička diverzifikacija rezervi kvalitetnog ugljena.

3.2. Nivo i trendovi međunarodne trgovine energetskog ugljena

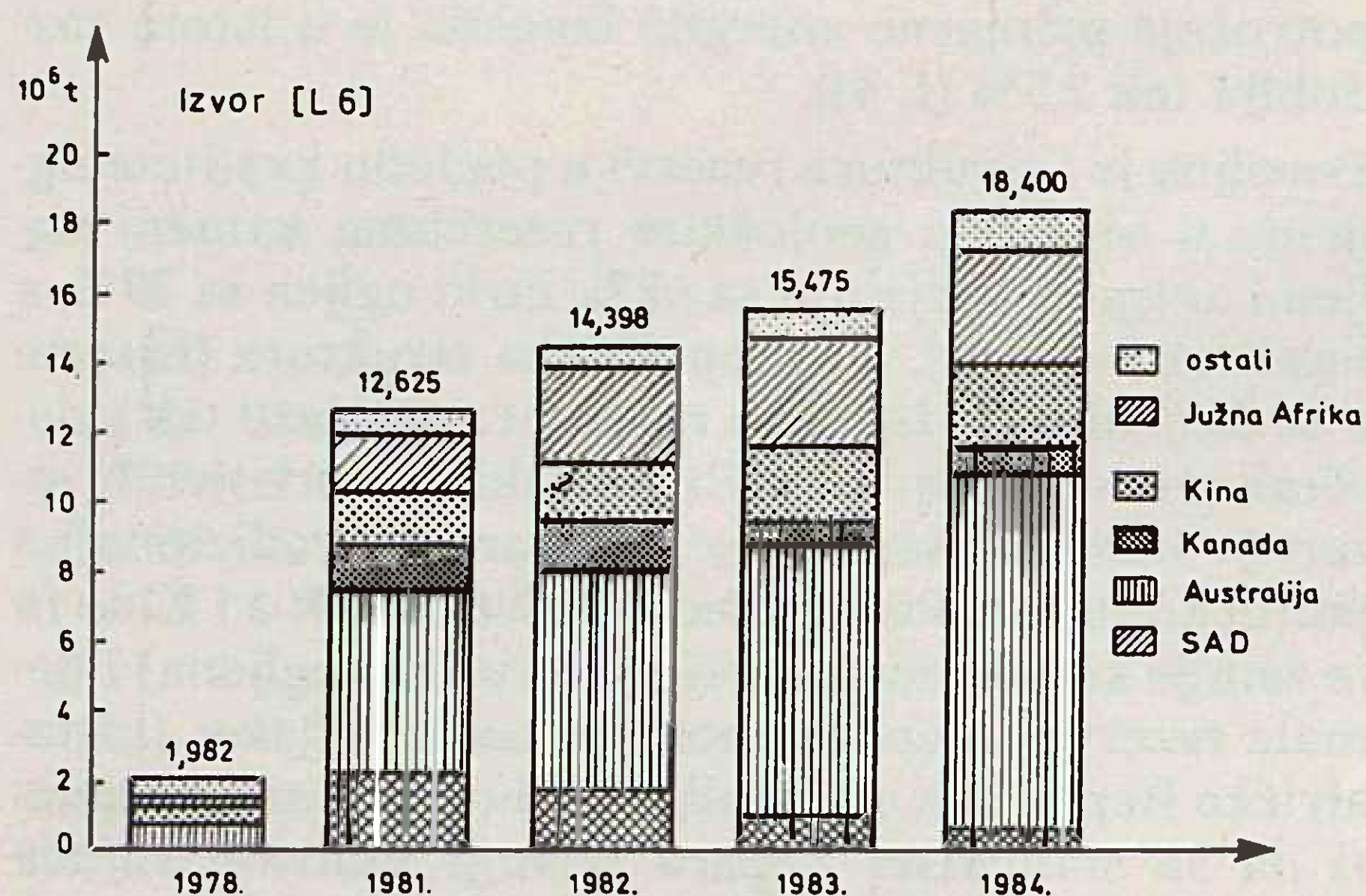
Današnji nivo svjetske trgovine ugljena (energetskog i za koksiranje) jest 300 milijuna tona [L 6] ili trinaestina svjetske proizvodnje (1960. godine u međunarodnoj trgovini — uglavnom unutar svjetskih regija — sudjelovala je tek dvadesetina svjetske proizvodnje: 132 milijuna tona [L 7]).

Najveći izvoznici energetskog ugljena u 1982. godini bili su SAD — 41 milijun tona, JAR — 24 milijuna tona, Poljska — 21 milijun tona, Australija — 12 milijuna tona, SSSR — 8 milijuna tona, SR Njemačka — 3 milijuna tona, Kanada — 2 milijuna tona [L 8]. Očekuje se [L 8] da će se navedenim vodećim izvoznici- ma u redu veličine izvoza uskoro priključiti Kolumbija i Kina.

Razmjena energetskog ugljena zemalja OECD-a pokazuje da prosječna godišnja stopa rasta uvoza u razdoblju 1978 — 1984. premašuje enormnih 10%. Slikom 1. prikazana je orijentacija evropskih zemalja OECD-a i Japana u pogledu uvoza energetskog ugljena (valja uočiti diverzifikaciju izvora opskrbe). U tablici 1. dana je procjena zemalja OECD-a u pogledu budućeg uvoza energetskog ugljena: vidljivo je da se



a) Uvoz energetskog ugljena u evropske članice OECD-a



b) Uvoz energetskog ugljena u Japan

Slika 1. Tendencije uvoza energetskog ugljena u evropski dio OECD-a i Japan: A) uvoz energetskog ugljena u evropske članice OECD-a, b) uvoz energetskog ugljena u Japan

očekuje i nadalje intenzivni rast uvoza i izvoza energetskog ugljena u/iz zemalja OECD-a.

U razdoblju 1973 — 1984. godine povećala se međunarodna trgovina ugljena za 70%, a pomorski se transport udvostručio, pa se danas 75% ukupne svjetske trgovine ugljenom transportira morem (1973. godine tek 60%), [L 6].

U 1984. godini u svjetskom pomorskom transportu rasutih tereta ugljen je s udjelom 25% zauzimao drugo mjesto (odmah iza željezne rude) [L 8].

U vezi s ponudom brodskog prostora treba istaći da u svijetu postoji višak kapaciteta pa znatni dio brodske tonaže ostaje neuposlen (neki izvori procjenjuju da višak iznosi čak 35%) [L 8]. Najveća je ponuda brodskog prostora na Atlantiku (gdje je pomorski promet najživlji — pogotovo u sjevernom dijelu) dok je najslabija na relaciji Australija — Sredozemlje, ali udovoljava potrebama. Dovoljnim brodskim prostorom za prijevoz rasutih tereta raspolaže i domaća flota, no cijena prijevoza je u pravilu iznad one na svjetskom tržištu (prisutan je i zastoj u izgradnji novih brodova pa pada efikasnost i konkurentnost domaće flote).

Tablica 1. OECD — projekcija trgovine energetskog ugljena

(10⁶ t_{ce})

	Uvoz			Izvoz		
	1983.	1990.	2000.	1983.	1990.	2000.
OECD UKUPNO	77,86	126,46	239,49	48,30	104,57	223,00
Sjeverna Amerika	9,74	6,29	8,12	25,80	61,00	142,71
Kanada	8,67	4,86	6,71	2,39	9,57	23,71
SAD	1,07	1,43	1,43	23,41	51,43	120,00
Oceanija	12,61	24,29	68,57	13,57	34,86	75,43
Australija	0,03	—	—	13,54	34,86	75,43
Novi Zeland	—	—	—	0,03	—	—
Japan	12,59	24,29	68,57	—	—	—
OECD Evropa	55,50	95,89	162,77	8,93	8,71	3,86
Belgija	3,46	7,43	10,71	0,46	0,71	—
Danska	7,31	11,43	12,57	—	—	—
Francuska	10,64	13,00	23,00	0,49	—	—
SR Njemačka	8,50	9,86	10,43	2,10	3,29	3,14
Italija	7,99	20,71	54,11	—	—	—
Nizozemska	4,46	8,31	9,04	0,76	0,71	0,71
Španjolska	1,97	4,64	9,91	—	—	—
Turska	—	—	—	—	—	—
Velika Britanija	1,61	1,43	—	5,00	4,00	—
Ostala Evropa	9,56	19,07	32,99	0,13	—	—

Izvor l 6

Važno je naglasiti da udaljenost isporučioaca ugljena od luke kupca nije presudna za cijenu ugljena CIF luka kupca, jer isporučilac prilagođava svoju FOB cijenu tako da bude konkurentan takmacima na paritetu CIF luka kupca.

Može se, dakle, zaključiti da su uvjeti u pomorskom transportu ugljena povoljni.

3.3. Mogućnosti prihvata uvoznog energetskog ugljena u Bakru i transporta do Zagreba*

Izgleda da je luka Bakar najperspektivnije rješenje za prihvata uvoznog energetskog ugljena za zagrebačko područje (nesigurniji i skuplji riječni prijevoz alternativa je jedino pri uvozu ugljena iz SSSR-a, dok je prihvata u Koprui ekonomski inferioniji).

Terminal za rasute terete u Bakru izgrađen je 1967. godine s mogućnošću prihvata brodova do 100 000 DWT. Desetak godina kasnije kapacitet je povećan pa danas terminal ima ove karakteristike:

- dnevna komercijalna norma iskrcaja 30 000 t
- kapacitet skladišta 350 000 t jedne vrste željezne rude
- godišnji kapacitet terminala 7,5 milijuna tona
- tehničko-tehnološko rješenje udovoljava prihvatu i iskrcaju brodova 150 000 DWT za prijevoz rasutih tereta.

Luka Rijeka u svom programu razvitka terminala u Bakru upravo realizira izgradnju prvog dodatnog skladišta kapaciteta 100 000 t rude (ekvivalent 35 000 t ugljena), a nedavno je započelo nasipavanje mora

*Svi podaci i stavovi preuzeti su iz [L 9].

na dijelu obale gdje će se u iduće dvije godine izgraditi još jedno skladište za ekvivalent 35 000 t ugljena.

Realizacija energetske ugljena za kotao K500—U preko terminala u Bakru danas nije moguća (osim na štetu prometa rude). Izgradnjom navedenih skladišta 2 × 35 000 t ekvivalenta ugljena i pravovremenom rezervacijom kapaciteta bit će moguće istovariti i prekrcati milijun tona energetske ugljena (dovoljno za realizaciju ispitivane varijante razvitka elektroenergetskog i toplinskog sistema).

Ukupna dužina pruge Bakar — Zagreb je 229 km i po tehničkim je karakteristikama među težima za eksploataciju. No, sadašnje stanje pruge omogućava prijevoz 1 milijun tona energetske ugljena godišnje (potrebe kotla K500—U su na nivou 250 000 t). Racionalizacije koje su u toku povećat će mogućnost prijevoza i iznad tih količina.

3.4. Efikasnost rješenja prema poremećaju u dobavi i cijeni goriva

U pogledu sigurnosti dugoročnog osiguranja gorivom termoenergetski objekat projektiran za loženje ugljenom nema premca. U slučaju kratkoročnih obustava isporuke ugljena moguća je supstituabilnost teškim loživim uljem. U uvjetima da iz bilo kojeg razloga dođe do prekida ugovora o dugoročnoj isporuci ugljena od jednog isporučioaca, moguća je preorijentacija na isporučioce ugljena slične kvalitete, a u krajnjem slučaju na isporučioaca koji ne udovoljava tom uvjetu (tada, razumljivo, uz posljedice na kapacitet jedinice, i vodeći brigu da se ne naruše ekološke značajke rješenja).

U slučaju potrebe uravnotežavanja totalnog energetske sistema (elektroenergetski, toplinski, plinski) moguće je i spaljivanje prirodnog plina u kotlu.

Navedeni razlozi argumentiraju također efikasnost rješenja prema eventualnim poremećajima u domeni cijena energije (FOB cijene, transport do domaće luke, transport do deponija).

3.5. Kadrovska pripremljenost za uvoz ugljena

Trgovina energetske ugljena najčešće se regulira srednjoročnim i dugoročnim ugovorima, čime se osigurava pouzdanost opskrbe ugljenom određene kvalitete. Cijena se pregovara svake godine [L 8].

Da bi se optimalno pripremio uvoz ugljena i ugovorila njegova isporuka, nužno je imati rutinirane kadrove u toj domeni koji će odlično poznavati:

- prilike na tržištu ugljena (koje je izrazito složeno)
- prilike i tendencije svjetskog tržišta energije
- prilike u pomorskom transportu
- ostale potrebne elemente s tim u vezi.

Ne bi, međutim, trebalo smetnuti s uma da bi se u određenim okolnostima mogla javiti potreba uvoza većih količina energetske ugljena. Uvoz ugljena za kotao K500—U u TE-TO Zagreb mogao bi pri tome poslužiti za stjecanje dragocjenog iskustva.

3.6. Izbor referentnog uvoznog ugljena

Zadatak ovog rada nije izbor fizikalno-kemijskih, financijskih i drugih kvaliteta uvoznog ugljena ili pak isporučioaca ugljena. Na nivou postojećih podataka i spoznaja to i nije moguće. No, radi provedbe potrebnih ekonomskih analiza nužno je odabrati neku radnu varijantu ugljena (tzv. referentni ugljen). Izbor referentnog ugljena valja stoga shvatiti isključivo u tom smislu, a postupak tog izbora može oslikati pristup izboru tipa i isporučioaca uvoznog ugljena prema tehnološkim kriterijima (razumljivo da politički i ekonomski elementi treba da pri tome imaju dominantno značenje).

Da bi se podobnost uvoznog ugljena kao goriva za termoelektrane i toplane u našoj zemlji uopće mogla ocijeniti, prikupljeno je više ponuda za isporuku ugljena iz raznih strana svijeta (20 vrsti ugljena iz 5 zemalja). U ovoj analizi tretirat će se prvenstveno fizikalno-kemijska svojstva ugljena, i to ona koja su relevantna za realizaciju tehnološkog procesa pripreme i izgaranja goriva, kao i projektiranja, dimenzioniranja i eksploatacije kotlovske postrojenja u termoelektranama.

Imajući pred očima činjenicu da se termoelektrane u eksploataciji nalaze 25 i više godine, treba i pri orijentaciji na uvozni ugljen težiti da se osigura gorivo za što duže razdoblje. Kako, međutim, može doći do raznih poremećaja na svjetskom tržištu (ne ulazeći u uzroke), treba birati takvo postrojenje koje će biti u stanju koristiti ugljen s raznih strana svijeta. Prema tome, jedan od osnovnih kriterija za odabir ugljena jest strateški — što bezbolnija (u pogledu eksploatacije) međusobna supstituabilnost ugljena iz raznih zemalja. Raspoloživi izbor od 20 ugljena naveo je da se odaberu 4 ugljena iz 4 razne zemlje, koji se malo razlikuju u svojstvima relevantnim za tehnološki proces u TE-TO. Pri izboru mislilo se na slijedeće:

- donju ogrjevnu moć goriva (treba težiti odabiranju goriva sa što većom ogrjevnom moći jer to znači transportiranje manjih količina goriva do deponije i pri unutrašnjem transportu, zatim mljevenje manjih količina ugljena te manji kapacitet skladišta i bunkera za ugljen),
- sadržaj pepela (od goriva s istom ili sličnom ogrjevnom moći prednost treba dati gorivima s manje pepela jer se smanjuju elektrofilteri, uređaji za transport pepela i šljake, manji su problemi za odlaganje jalovine),
- sadržaj sumpora (treba odabrati ugljen sa što manje sumpora radi smanjenja emisije SO₂, što u određenim uvjetima može imati reperkusija na potrebu i cijenu opreme za odsumporavanje),
- isplinjive sastojke (sadržaj volatila ima znatan utjecaj na tehnologiju pripreme goriva, jer je većim sadržajem volatila olakšano zapaljenje goriva, ali je i veća opasnost od eksplozije u mlinovima; treba težiti da odabrani ugljeni nemaju prevelike međusobne razlike u sadržaju volatila),
- sastav šljake i pepela (utječe na eksploatacijske karakteristike kotlovske postrojenja, posebno u

- vezi s prljanjem ogrjevnih površina i zašljakivanjem kotla, povoljniji se rezultati postižu ugljenima kod kojih u pepelu ima mnogo SiO_2 i Al_2O_3 jer oni dižu točke mekšanja, taljenja i tečenja pepela — povećani sadržaj Fe_2O_3 , MgCO_3 i CaO izaziva suprotne tendencije),
- temperaturne karakteristike pepela i šljake (treba težiti odabiranju ugljena sa što višim temperaturnama mekšanja, taljenja i tečenja pepela jer one orijentacijski ukazuju na moguće probleme za prljanja ogrjevnih površina kotla),
- indeks meljivosti (u principu treba težiti odabiru ugljena sa što većim H indeksom jer se tada troši manje energije za mljevanje).

Polazeći, dakle, od navedenih kriterija odabrane su 4 vrste ugljena iz 4 različite zemlje: SAD, Australije, Južnoafričke Republike i Poljske. Valjda istaći da podaci o ugljenima iz SSSR-a nisu bili raspoloživi (uvoz nije na važećim robnim listama), a da Južnoafrička Republika nije isključena usprkos aktualnoj političkoj nepodobnosti jer se radi o osiguranju dugoročne stabilnosti opskrbe.

Područja nekih osnovnih pokazatelja tih ugljena definiraju svojstva referentnog ugljena:

Ukupna vlaga, %	6 — 9
Pepeo, %	4 — 13,5
Sumpor — ukupni, %	0,5 — 1,15
Volatili, %	28 — 35
Meljivost, H	50 — 70
Temperatura mekšanja, °C	1 350 — 1 400
Donja ogrjevna vrijednost, MJ/kg	
— raspon vrijednosti	26,30 — 30,00
— prosječna vrijednost	27,63

4. METODA VREDNOVANJA OPRAVDANOSTI IZGRADNJE KOTLA K500 — U

Prvi korak u procesu valorizacije svakoga investicijskog projekta, pa tako i izgradnje kotla K500 — U, treba biti definiranje subjekta planiranja, definiranje kriterija za valorizaciju i kvantitativne methodske osnovice za analizu, te definiranje elemenata neizvjesnosti investicijskog projekta i postupka za njihovo prevladavanje.

4.1. Definiranje subjekta planiranja

Potreba definiranja subjekta planiranja (tj. potreba definiranja subjekta s čijeg se stajališta ispituje investicijski projekt) proizlazi iz razlike između individualne efikasnosti projekta, dakle efikasnosti sa stajališta investitora i njegove društvene efikasnosti. Razlike između individualne i društvene efikasnosti projekta proizlaze iz činjenice da u našem samoupravnom socijalističkom tržišno-planskom modelu narodne privrede postoje razlike između individualnog i društvenog interesa. Valja istaći da su individualni i društveni interesi, gledajući dugoročno, kom-

plementarni, a tek kratkoročna sagledavanja mogu iskazivati kolizije.

Elektroprivredni objekti jesu privredna infrastruktura, koju karakteriziraju i ova obilježja: nedjeljivost objekata i uređaja, dugi vijek upotrebe, međuovisnost sastavnih dijelova, heterogenost učinaka, velik opseg i rizik investiranja, eksterni efekti i disperzija njene korisnosti, netransparentnost potreba na individualne korisnike, odsutnost perfektne konkurencije, nemogućnost korištenja tržnog mehanizma, pomnjanje poduzetništva, sistemski karakter djelatnosti, centralističko planiranje, neravnomjernost u raspodjeli dohotka itd. [L 10].

Imajući navedeno pred očima, očito je da objekte infrastrukture treba u pravilu sagledavati s društvenog stajališta. Takav pristup usvojen je i u ovom radu, pa su time izravno definirani novčani tokovi koje je pri analizi potrebno uzeti u obzir.

4.2. Definiranje kriterija za valorizaciju i methodske osnovice za analizu

Kvantitativna methodska osnovica za ekonomske analize, koja će se koristiti u ovom radu, jest metoda sadašnje neto vrijednosti. Za referentnu («sadašnju») godinu usvaja se predviđena godina ulaska kotla K500 — U u pogon — 1990. godina. Period promatranja jest 1990 — 2010. godina.

Kriterij za valorizaciju izgradnje kotla K500 — U (minimalni ukupni aktualizirani izdaci u periodu promatranja) sadržan je u dobro poznatoj metodologiji za analizu prilika u toplinskom i elektroenergetskom sistemu razvijenoj u Insititutu za elektroprivredu [L 11].

Svrha metodologije je valorizacija toplinske opskrbe u uvjetima zajedničke proizvodnje topline i električne energije, uključujući različite proizvodne jedinice spojnog procesa za proizvodnju električne energije i topline te proizvodne jedinice izravnog procesa za proizvodnju topline, a termoelektrana, nuklearnih elektrana i hidroelektrana za proizvodnju električne energije.

4.3. Definiranje elemenata neizvjesnosti investicijskog projekta i postupka za njihovo prevladavanje

Svako predviđanje budućnosti povezano je s neizvjesnotima, a one su jasno to veće što je razdoblje promatranja sistema duže. Neizvjesnosti imanentne budućnosti utkane su i u proces vrednovanja opravdanosti izgradnje kotla K500 — U u TE-TO, jer se to vrednovanje osniva i na ulaznim podacima za koje se ne može sa sigurnošću tvrditi da njihove buduće stvarne vrijednosti neće odstupiti od onih očekivanih. Nameće se stoga pitanje razločnosti primjene egzaktnih matematičkih postupaka valorizacije kad je sam rezultat pod utjecajem neizvjesnosti ulaznih parametara. Skepticizam izražen tim pitanjem implicira zapravo nužnost pronalaženja takvog postupka

za valorizaciju kojim se spomenute neizvjesnosti mogu prevladati.

Prevladavanje neizvjesnosti koje se unose ulaznim podacima u proces maguće je, i uobičajeno, analizom osjetljivosti rješenja na promjenu ulaznih parametara za koje se zna da bi mogli odstupati od očekivanih veličina a čiji je utjecaj na rezultat znatan. U tu svrhu polazi se od određenog scenarija ulaznih parametara i ispituje stabilnost, odnosno promjene u osnovnom rješenju ako se izmjeni taj scenario ulaznih podataka. Posebno je vrijedno ispitivanje opitističkih i pesimističkih varijanti samo jedne komponente u scenariju ulaznih podataka jer se na taj način dobiva neposredni uvid u stabilnost rješenja prema poremećaju tih ulaznih podataka.

Neizvjesnosti čiji bi utjecaj na stabilnost rješenja trebalo ispitati pri valorizaciji opravdanosti izgradnje kotla K500 — U jesu:

- cijene uvoznog energetskog ugljena, teškog loživog ulja i drugih energetskih oblika za transformaciju,
- odnos vrijednosti dinara prema dolaru (valute u kojoj se definiraju svjetske cijene energije),
- cijena novca i visina rizika investicije,
- vjerojatnost da će se stvarna izgradnja sistema realizirati predviđenim redosljedom i tempom kao što se planira (ili očekuje).

Neizvjesnosti u vezi s cijenama energije

Kao što će se kasnije vidjeti, vrednovanje opravdanosti izgradnje kotla K500 — U svodi se, u jednoj krajnje pojednostavljenoj predodžbi, na usporedbu korištenja teškog loživog ulja i uvoznog ugljena u određenim, alternativnim konfiguracijama toplinskog (i elektorenergetskog) sistema. Pristup određivanju cijena tih energetskih oblika ima stoga najveće značenje za objektivnost rezultata analize. Aktualne domaće cijene teškog loživog ulja opterećene su i davanjima koja nisu stvarni trošak za društvenu zajednicu (u procesu proizvodnje i transporta), već određena preraspodjela sredstava unutar te zajednice (npr. naknada za gubitke rafinerija). S obzirom na to da se promatrani investicijski projekt promatra sa stajališta društvene zajednice treba računati s realnim troškovima za tu zajednicu. Takav pristup navodi na račun sa svjetskom cijenom teškog loživog ulja i uvoznog ugljena.

Valja naglasiti da je već duži niz godina, a takva će situacija zasigurno biti i iduća dva desetljeća, cijena nafte referentna veličina prema kojoj se ravnaju cijene ostalih oblika energije u međunarodnoj razmjeni energije. Takav, posredni pristup određivanja cijena uvoznog ugljena i teškog loživog ulja primjenjuje se stoga i u ovom radu (osnovanost pristupa proizlazi i iz određenih drugih razloga za iznošenje kojih ovdje nema dovoljno prostora). U [L 12] detaljnije je opisana neizvjesna situacija u vezi s daljim kretanjem cijena nafte. Mala vjerojatnost ispunjenja bilo koje determinističke (uvjetno rečeno) projekcije rasta cijena proizlazi iz činjenice da nije moguće sagledati sve ge-

netske elemente nekog nivoa cijene: i objektivne elemente (koji proizlaze iz prirodnih uvjeta našeg planeta i očekivanog tehničkog i društvenog razvitka ljudskog društva) i subjektivne (koji proizlaze iz interesa dominantnih ekonomskih i političkih asocijacija svijeta i protivrječnosti razvitka i težnji pojedinih svjetskih regija). Potrebno je stoga usvojiti jednu širu domenu cijena nafte. Čini se da ima osnova računati s domenom 150 — 250 \$/t. Domena je definirana tržišnim ekvivalentom današnjih globalnih marginalnih troškova proizvodnje nafte (150\$/t) i povijesno desegnutim maksimumom cijene (250\$/t — koji se nije pokazao održivim). Razumljivo je da promjene u svjetskim monetarnim odnosima mogu znatno izobličiti tekući nivo cijene.

Analizom proteklog kretanja »službenih« cijena arabijske lake nafte i cijena teškog loživog ulja u Roterdamu (kvartalno od 1973. do 1984. godine) pokazalo se da je aritemtička sredina odnosa 81 % uz relativno standardno odstupanje od 18 %. Ne obuhvate li se u računu tri odnosa pri kojima je cijena loživog ulja premašivala cijenu nafte i adekvatno tri najmanja odnosa, proizlazi da je aritmetička sredina odnosa cijene teškog loživog ulja i nafte 0,8 uz relativno standardno odstupanje 11 %. Usvaja se da taj odnos odražava realni odnos troškova za zajednicu bez obzira na to da li su nafta ili teško loživo ulje uvezani iz inozemstva ili ne.

Odnos cijene teškog loživog ulja franko kotao Zagreb i cijene franko rafinerija Rijeka iznosi prema podacima ZEOH — a oko 1,06 (uključuje transport, zakup cisterni, aditive, grijanje i kalo), a cijena teškog ulja franko kotao Sisak ili Rijeka prema cijeni franko rafinerija oko 1,03.

Pri određivanju cijene uvoznog ugljena treba imati pred očima nekoliko činjenica. Uspoređuje li potencijalni investitor izgradnju postrojenja za transformaciju energije jednom u varijanti s ugljenom, a drugi put s teškim loživim uljem, na njegovu odluku neće utjecati odnos cijena ugljena i teškog loživog ulja, već jedino apsolutna razlika cijena tih energetskih oblika. S tim u vezi nije teško pokazati da bi kod viših cijena teškog loživog ulja (odnosno nafte) odnos cijene ugljena i teškog loživog ulja trebalo da bude veći, a kod nižih cijena teškog loživog ulja manji želi li se zadržati jednaki ekonomski bonitet varijanata u oba slučaja.

No, cijene u međunarodnoj razmjeni pokazuje druge zakonitosti (ili se ispoljeni odnosi tek doimaju kao zakonitost) čiji uzrok treba tražiti u težnji izjednačavanju profita u pojedinim privrednim granama. Važnu ulogu pritom ima činjenica da je ugljen zbog strukture i nivoa troškova inertniji u pogledu promjene cijene nego nafta. Navedeno navodi na zaključak da bi pri padu cijena nafte trebalo očekivati rast odnosa cijena ugljena i nafte. U [L 16] obavljene su prosječne uvozne cijene energetskog ugljena CIF Zapadna Evropa i Japan u periodu 1978 — 1984, zajedno s cijanama nafte. Uočljiva je ovisnost koju je moguće aproksimirati ovim polinomom drugog stupnja:

$$Cu/Cn = 5,172 \cdot 10^{-6} \\ \cdot C_n^2 - 3,509 \cdot 10^{-3} \cdot C_n + 0,888,$$

gdje je:

$$Cu \text{ — cijena ugljena, } \$/t_{oe} \\ Cn \text{ — cijena nafte, } \$/t_{oe}.$$

Tako određenoj cijeni CIF domaća luka (jasno, pre-računatoj na referentni ugljen od 27,63 GJ/t) treba dodati troškove manipulacije ugljenom u luci Bakar (istovar, skladištenje, utovar), koji iznose 1,9 \$/t [L 5], i transporta od Bakra do deponija u Zagrebu 7,5 \$/t [L 5]. Troškovi odvoza i deponiranja šljake i pepela na zasad nepoznatoj lokaciji procjenjuju se na 6 \$/t ili 0,6 \$ po toni ugljena. Proizlazi da ukupni troškovi manipulacije ugljenom u luci Bakar, transport do Zagreba i iskrcaj te transport i deponiranje šljake i pepela iznose 10 \$/t ugljena. Navedeni troškovi određeni su u uvjetima kad je cijena uvozne nafte bila 250 \$/t. Niža cijena nafte trebalo bi da se iskaže i u nižim troškovima manipulacije ugljenom, šljakom i pepelom nego što je to definirano troškovima od 10 \$/t. Budući da ta promjena ipak nije znatna, usvojiti će se da je iznos od 10 \$/t konstantan, ali uz napomenu da pristup umanjuje bonitet varijante s izgradnjom kotla K500-U (pokaže li se, dakle, ta izgradnja opravdanom, pristup doprinosi konzervativnosti rezultata).

Neizvjesnost u vezi s odnosom vrijednosti dinara i dolara (valute u kojoj se definiraju svjetske cijene energije)

Pitanje tečaja dinara prema dolaru (i neizvjesnost s tim u vezi) gotovo da je istog ranga važnosti u procesu valorizacije opravdanosti izgradnje kotla kao i nivo svjetske cijene energije. Ilustrirat će se to podatkom da je dolarska cijena nafte u 1985. godini bila na istom nivou (oko 210 \$/t) kao i sredinom 1980. godine (u stalnim cijenama čak je i pala). U svim ostalim valutama (izraženo u stalnim cijenama) cijena nafte je porasla zbog enormnog jačanja dolara u tom razdoblju. Razumljivo, slična je situacija bila i s dinarskom cijenom nafte (izraženo u stalnim cijenama). Sve analize u ovom radu provode se u stalnim cijenama od 1. lipnja 1986; račun s tekućim cijenama suviše bi »zamaglio« rezultate. U skladu s prije navedenim, analiza opravdanosti izgradnje kotla K500-U će se, osim s aktualnom vrijednošću dolara (1 \$ = 380 dinara), provesti i uz pretpostavku da je taj odnos 1 \$ SAD = 800 dinara (ne očekuje se da bi dugoročno gladajući dinar mogao ojačati prema dolaru, usprkos aktualnom slabljenju američke valute). Razumljivo je da navedeni raspon treba shvatiti gotovo isključivo kao hipotetski, svrha razmatranja kojeg je da se ispita mogući utjecaj promjene tečaja dolara u jednom dugoročnijem periodu na ekonomski bonitet izgradnje kotla K500-U u TE-TO. Usput će se spomenuti da se navedenim ispitivanjem utjecaja vrijednosti dolara implicitno mogu vrednovati i teškoće plasmana domaće robe na svjetsko tržište, odnosno težnja k smanjenju uvoza robe.

Neizvjesnost u vezi s cijenom novca

Pitanje cijene novca, odnosno rizika investicije, moguće je poistovjetiti s pitanjem preferencija vremena pri ekonomskim tokovima, formalno, na pitanje visine diskontne stope (no samo u operativnom smislu). Izbor diskontne stope je subjektivni čin, pa je s tim u vezi i nivo neizvjesnosti visok. Kao primjer će se navesti da veće količine novca na raspolaganju i sužene mogućnosti njegova alternativnog ulaganja (takva situacija danas zasigurno nije) navode na izbor manje diskontne stope (i obrnuto), a rizičnija investicija opet »diže« visinu diskontne stope itd. U ovom radu računat će se s rasponom diskontne stope od 0 do 8 % i analizirati efekt te promjene na isplativost investicije.

Neizvjesnost u vezi s realizacijom zacrtanog scenarija razvitka sistema

Neizvjesnost vezana uz vjerojatnost da će se planirana izgradnja sistema stvarno i realizirati predviđenim tempom nije zanemariva. Korisno je stoga, radi spoznavanja strateških karakteristika istraživanog rješenja, analizirati utjecaj odstupanja izgradnje pojedinih elemenata na ekonomski bonitet projekta. Prioritet u ispitivanju, razumljivo, treba da imaju oni elementi sistema uloga kojih je od najvećeg utjecaja na ekonomske efekte razmatrane investicije i za koje nije moguće u potpunosti odbaciti vjerojatnost da njihova izgradnja bude terminski pomaknuta (pa čak i na neodređeni rok). Detaljnije će se navedeno specificirati nešto kasnije u sklopu definiranja scenarija razvitka toplinskog i elektroenergetskog sistema.

5. KONCEPCIJA RAZVITKA CTS-a ZAGREBA

5.1. Rast toplinskog opterećenja u CTS-u Zagreba

Zadnja verificirana projekcija rasta CTS-a Zagreba izrađena je u studiji [L 2]. Od usvajanja te studije do danas saživile su nove ideje u sagledavanju urbanističkog razvitka grada, a usporen je i cjelokupni društveni i privredni razvitak. Analize promjena do kojih je došlo i koje se očekuju pokazuju da su one tek manjim dijelom kvalitativne prirode. Glavnina promjena jest u tome što se usporila dinamika ostvarenja prije zacrtanih ciljeva pa, grubo rečeno, dolazi do pomaka vremenskog horizonta istog konačnog (jasno, zamišljenog) stanja grada.

Na osnovi brojnih dokumenata o srednjeročnom i dugoročnom urbanističkom razvitku Zagreba, objavljenih nakon izrade studije [L 2], moguće je sagledati kako treba korigirati prije projicirani rast toplinskog opterećenja u centraliziranom vrelovodnom sistemu. Analize navedenih dokumenata pokazuju da bi prosječnu godišnju stopu rasta toplinskog opterećenja u vrelovodnom sistemu od 3,88 % trebalo usvojiti kao najvjerojatniju u periodu 1985 — 2010. godina. Nivo toplinskog opterećenja centraliziranog vrelovodnog

sistema iznosio je krajem 1985. godine 750 MJ/s, pa proizlazi da se 2010. godine očekuje vršno toplinsko opterećenje od 1 940 MJ/s.

Predviđeni razvitak industrije Zagreba, njezina današnja struktura i njen prostorni razmještaj uvjetuju i nadalje različit rast toplinskog opterećenja u zapadnom i istočnom centraliziranom parnom sistemu. U zapadnom sistemu očekuje se stagnacija nivoa vršnog toplinskog opterećenja, a u istočnom relativno visok rast od 3,9 % prosječno godišnje. Proizlazi da bi i krajem stoljeća vršno toplinsko opterećenje zapadnog parnog sistema bilo 195 MJ/s, dok bi vršno toplinsko opterećenje istočnog centraliziranog parnog sistema od 220 MJ/s u 1985. godini naraslo na 570 MJ/s u 2010. godini (treba napomenuti da se do 1990. godine predviđa veoma blag rast nivoa konzuma, a nakon tog razdoblja nešto brži nego što pokazuje prosječna godišnja stopa rasta u promatranom periodu).

5.2. Konceptija povezivanja kotla K500-U i postojećeg postrojenja u TE-TO

Konceptija prostornog i tehnološkog uklapanja kotla K500-U u postojeću konfiguraciju proizvodnih jedinica u TE-TO zamišljena je ovako (razrada je izvršena u [L 1]):

- novi kotao K500-U napaja parom postojeću turbinu T 100
- postojeći kotao 500 t/h ložen teškim loživim uljem/prirodnim plinom (u daljem tekstu K500-M) se priključuje na postojeće turbine 2 × PT 32 (kotlovi 2 × 200 t/h tih blokova su potpuno dotrajali pa se ne predviđaju za dalji pogon).

Usvojeno je [L 1] da novi kotao K500-U bude istih termodinamičkih parametara svježe pare kao i postojeći K500-M što ga supstituira:

- proizvodnja pare 500 t/h (139 kg/s)
- parametri svježe pare 14 MPa/560 °C.

Nije, međutim, odbačena mogućnost da će, pokaže li se izgradnja kotla opravdanom, kasnija razrada strateških elemenata razvitka izvora u CTS (temeljena na spoznajama koje će tada biti aktualne) navesti na oportunističko opredjeljenje da parametri kotla budu takvi da omogućuje eventualnu buduću dogradnju još

jednog kotla K500-U i turbine PT 300 (koja bi se napajala iz 2 × K500-U).

Smještaj kotla K500-U predviđen je istočno od postojećeg bloka T 100 na mjestu predviđenom za izgradnju još jednog bloka. Takav smještaj kotla omogućuje povezivanje s ostalim procesnim jedinicama spojnog procesa. Postojećom željezničkom prugom, koja vodi do strojarnice bloka T 100, omogućen je transport opreme za montažu, a uz prugu je osigurano i vanjsko skladištenje dijelova opreme za vrijeme izgradnje.

Skladište ugljena predviđeno je između dva industrijska kolosijeka na prostoru rezerviranom za rezervoar teškog loživog ulja. Uz postojeća tri kolosijeka potrebno je izgraditi još jedan nad uzdužnim bunkeom za ugljen. Raspoloživa površina skladišta adekvatna je potrebama, a pogodan je i smještaj (blizu su industrijski kolosijeci, a i kotao K500-U što skraćuje transportni put ugljena).

5.3. Definiranje energetske karakteristike proizvodnih jedinica u toplinskom i elektroenergetskom sistemu

Pokrivanje dijagrama opterećenja u toplinskom i elektroenergetskom sistemu moguće je brojnim kombinacijama proizvodnih jedinica.

Proizvodne jedinice razlikuju se ovisno o tomu da li rade u:

- toplinskom sistemu (jedinice izravnog procesa)
- u oba sistema (jedinice spojnog procesa)
- u elektroenergetskom sistemu (hidroelektrane i kondenz. elektrane).

Energetske karakteristike jedinica izravnog procesa koje će se promatrati pri pokrivanju dijagrama opterećenja u toplinskom sistemu dane su u tablici 2, a energetske karakteristike proizvodnih jedinica spojnog procesa u tablici 3.

Blok T 100 RM jest postojeće postrojenje u TE-TO (kotao, turbina), no pretpostavljeno je da je izvedena predviđena rekonstrukcija turbine: izvedba oduzimanja industrijske pare kapaciteta 19,5 kg/s (70 t/h). Blok je u pogonu od 1980. početak rada s navedenom preinakom jest u 1990. godini, a izlazak iz pogona 2010. godine.

Tablica 2. Energetske karakteristike proizvodnih jedinica

Proizvodna jedinica	Maksimalna toplinska snaga		Specifič. potrošak goriva	Raspoloživost	Trajanje remonta
	Tehnologija	Ogrjev			
	MJ/s				
VKM 50	—	58,1	1,086	0,9	1
VKM 100	—	116,3	1,086	0,9	1
VKU 100	—	116,3	1,135	0,9	1
VKM 200	—	232,6	1,086	0,9	1
VKU 200	—	232,6	1,135	0,9	1
PKM 40/32	25,8	—	1,122	0,9	1
PKM 80/64	55,7	—	1,122	0,9	1

Tablica 3. Energetske karakteristike proizvodnih jedinica spojnog procesa

Proizvodna jedinica	Maksimalna toplinska snaga		Tehnički minimum	Koeficijent protutlač. proizvod. el. energije		El. snaga (prag)	Specif. potrošak goriva		Povećana sp. pot. pri radu s red.	Raspoloživost	Trajanje remonta	Vrsta goriva
	Tehnologija	Ogrjev		Tehnologija	Ogrjev		Kond. dio	Prot. dio				
	MJ/s			MW	l		MW	l					l	mjesec	3
T 100 RM	54,0	214,0	38	0,129	0,462	96,72	2,814	1,227	0,05	0,91	1	M
T 100 RU	54,0	214,0	38	0,129	0,462	94,6	3,072	1,300	0,05	0,89	1	U
PT 32	59,3	37,2	7,0	0,181	0,374	21,5	—	1,279	0,05	0,95	1	M
PT 32 R	59,3	37,2	7,2	0,181	0,374	23,0	—	1,279	0,05	0,95	1	M
SGO ⁺¹	55,6	42,7	5,0	0,132	0,304	17,0	—	1,453	0,05	0,95	—	U
PT 30	112,6	19,6	6,0	0,144	0,436	24,36	—	1,235	0,05	0,95	1	M
PT 12,5	29,4	27,4	3,0	0,141	0,214	10,0	—	1,347	0,05	0,95	1	M
PT 300	485,0	385,0	70,0	0,326	0,527	277,5	2,855	—	0,05	0,88	2	U
PT 200	330,0	262,0	50,0	0,326	0,527	185,0	2,855	—	0,05	0,88	1	U
NTP ⁺²	—	850,0	342,0	—	0,229	488,5	3,017	—	0,05	0,80	2	N

Napomena: ⁺¹ SGO — palionica smeća (krutog gradskog otpada)

⁺² NTP — Nuklearna elektrana-toplana Prevlaka

⁺³ M — teško loživo ulje

U — ugljen

N — nuklearno gorivo

L — ekstralako loživo ulje

P — prirodni plin

Blok T 100 RU se u odnosu na T 100 RM razlikuje jedino u tome što je postojeći kotao zamijenjen kotlom loženim ugljenom (kotlom K500-U, koji je predmet analize u ovom radu).

Blok PT 32 i PT 32 R jesu postojeći blokovi u TE-TO (jedna turbina ostaje kondenzacijsko-oduzimna, a druga će se rekonstruirati u protutlačnu). U varijanti izgradnje kotla K500-U zamjenjuju se njihovi postojeći, dotrajali kotlovi 2 × 200 t/h postojećim kotlom bloka T 100 RM pa blokovi ostaju u pogonu do 1995. godine. U varijanti bez te izgradnje zbog potpune dotrajlosti kotlova 2 × 200 t/h izlaze iz pogona već 1990. godine.

Spalionica smeća, obzirom na prioritetnu zadaću tog objekta, planira se da bude u pogonu u toku cijele godine. Očekuje se njezin ulazak u pogon 1990. godine, a prije predložena lokacija jest pri TE-TO.

Blok PT 12,5 jest postojeća jedinica na lokaciji EL-TO. Planira se da bude u pogonu do 1995. godine.

Blok PT 30 jest postojeća jedinica na lokaciji EL-TO. Budući da nakon izlaska iz pogona bloka PT 12,5 ostaje jedina jedinica spojne proizvodnje u zapadnom centraliziranom parnom sistemu Zagreba, predviđeno je da se nakon isteka njezina vijeka trajanja (25 godina) zamijeni postrojenjem jednakih karakteristika.

Blok PT 300 na ugljen jest ključni strateški element u razvitku CTS-a Zagreba. Predviđeno je da ima dva regulirana oduzimanja: jedno za tehnološke potrebe (1,3 MPa), a drugo za ogrjevne (~ 0,2 MPa).

Blok PT 200 jedini nije predmet aktualnih istraživanja jer je potreba njegove gradnje vezana za dugoročnija sagledavanja razvitka CTS-a.

Karakteristike NTP (NE-TO Prevlaka) osnivaju se na pretpostavci da je ona PWR tipa, toplinske snage parogeneratora 3027 MJ/s, tlaka svježe pare 6,45 MPa i s turbinom BBC 50-6/950.

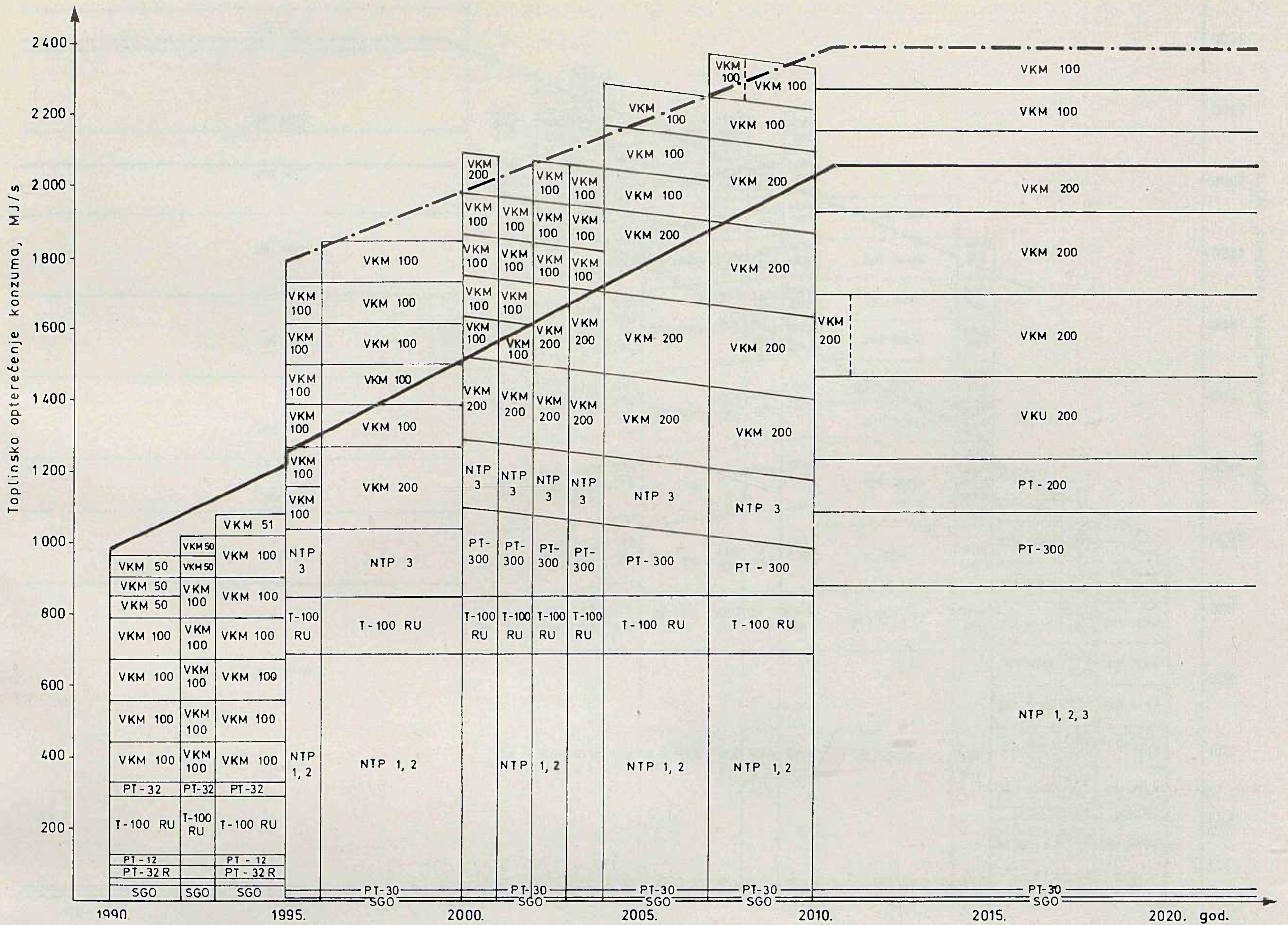
5.4. Pokrivanje dijagrama opterećenja u CTS-u

Pokrivanje dijagrama opterećenja u CTS-u razmatra se u osnovnom scenariju koji proizlazi iz sadašnjeg predviđanja razvitka sistema te u dva hipotetska scenarija koji će poslužiti za ispitivanja osjetljivosti rezultata na promjene u predviđenom terminskom planu izgradnje proizvodnih jedinica. I osnovni scenario i svaki od dvaju hipotetskih scenarija razvitka sistema skup je promatrane i referentne varijante. Promatrana varijanta uključuje izgradnju kotla K500-U, a referentna pretpostavlja da do te izgradnje neće doći.

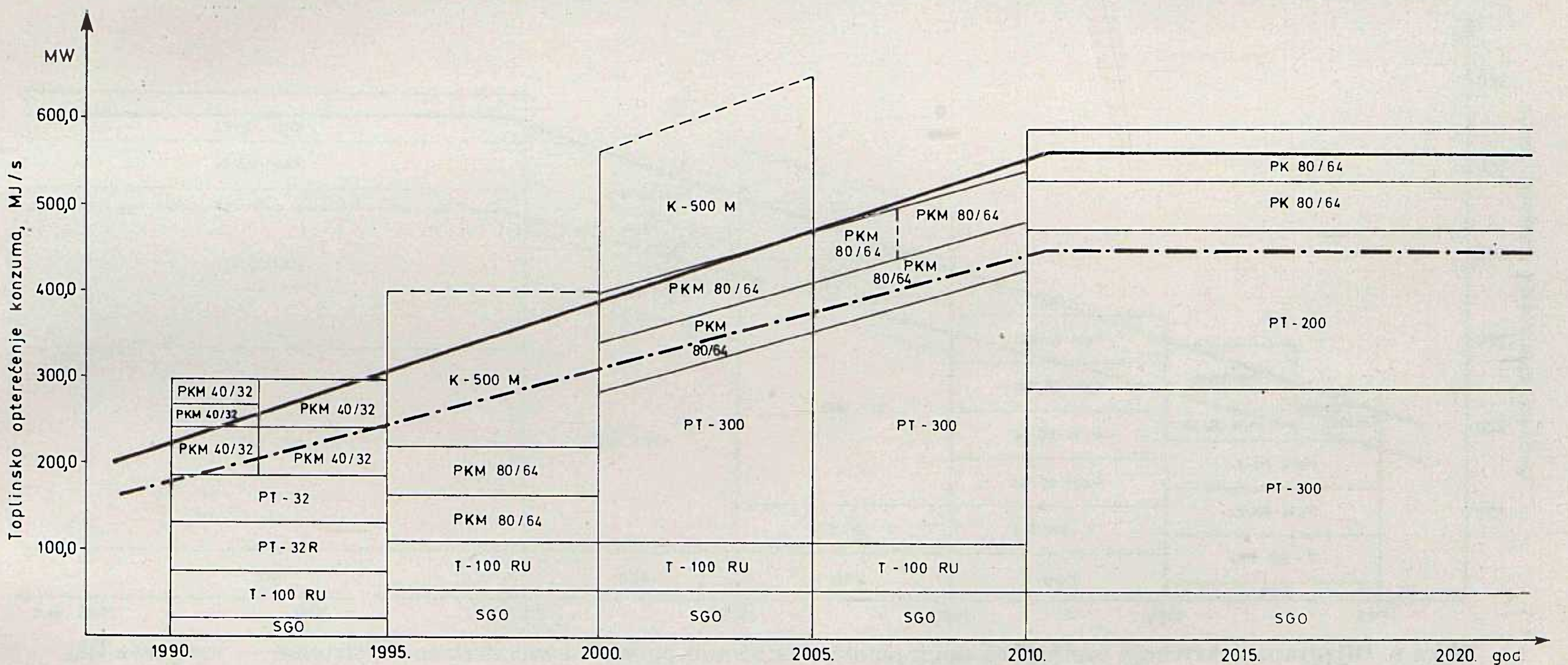
Promatrana varijanta osnovnog scenarija definirana je skupom dijagrama PV_o, PI_o, PZ_o sa slika 2, 3. i 4. (P — promatrana varijanta; V, I, Z — vrelovodni, istočni parni i zapadni parni sistem; indeks O — osnovna varijanta). Referentna varijanta je definirana skupom dijagrama RV_o, RI_o i RZ_o (R — referentna varijanta; V, I, Z — vrelovodni, istočni parni, zapadni parni sistem; indeks O — osnovna, najpouzdanija varijanta) — dijagrami su dani na slikama 5, 6. i 4.

Analiza osjetljivosti sistema na promjene u terminskom planu izgradnje proizvodnih jedinica obuhvatit će ove dvije varijante:

- scenario bez izgradnje palionice smeća u CTS-u (PV₁, PI₁, PZ₁) (RV₁, RI₁, RZ₁),
- scenario u kojem NE-TO Prevlaka ne ulazi u pogon 1995, nego 2000. godine (PV₂, PI₂, PZ₂) (RV₂, RI₂, RZ₂)

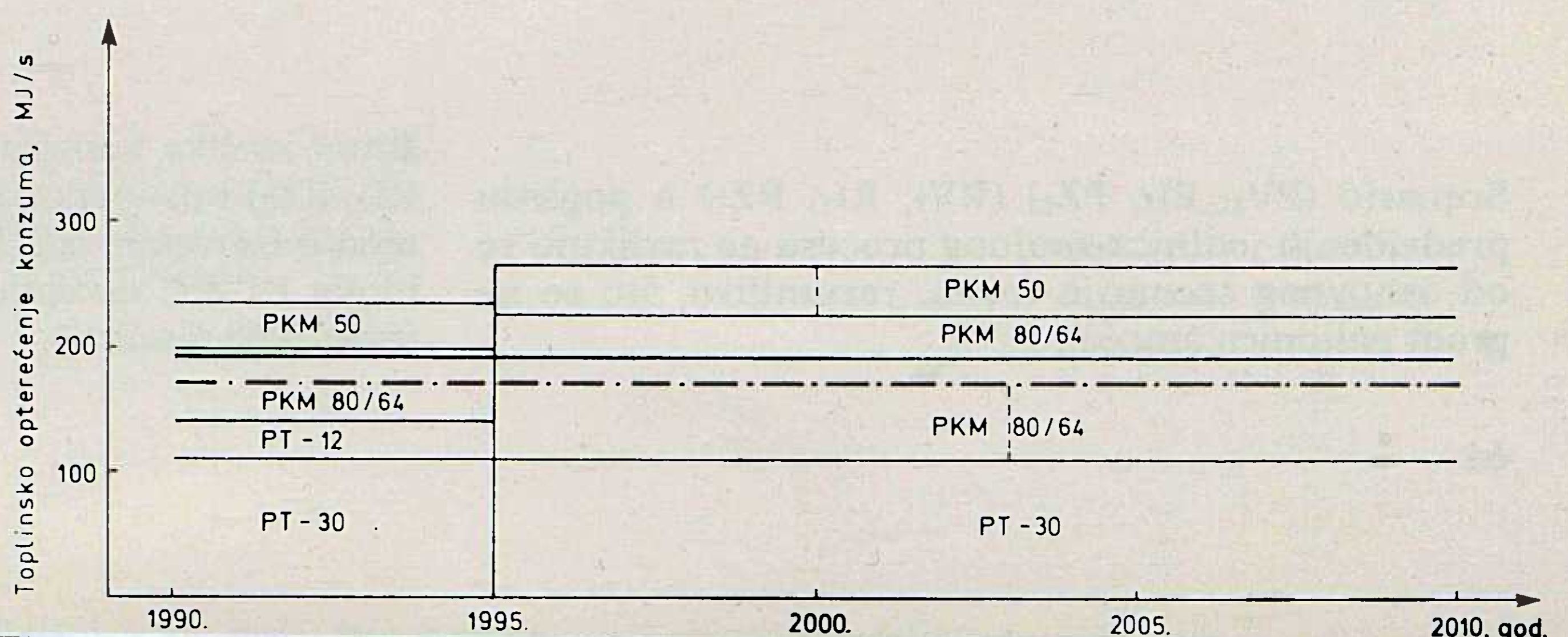


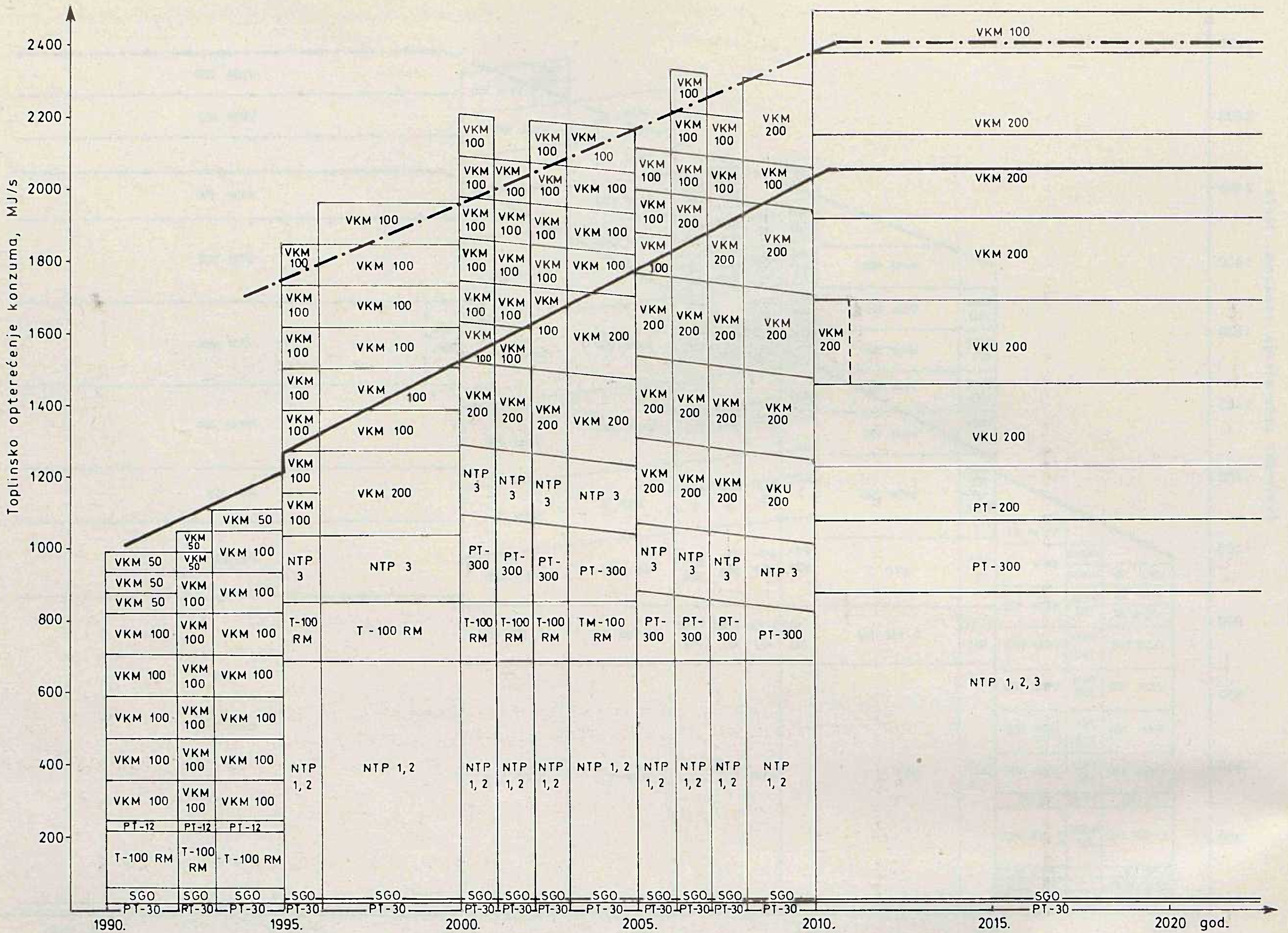
Slika 2. Dijagram pokrivanja toplinskog opterećenja vrelovodnog centraliziranog sistema — varijanta PV₀



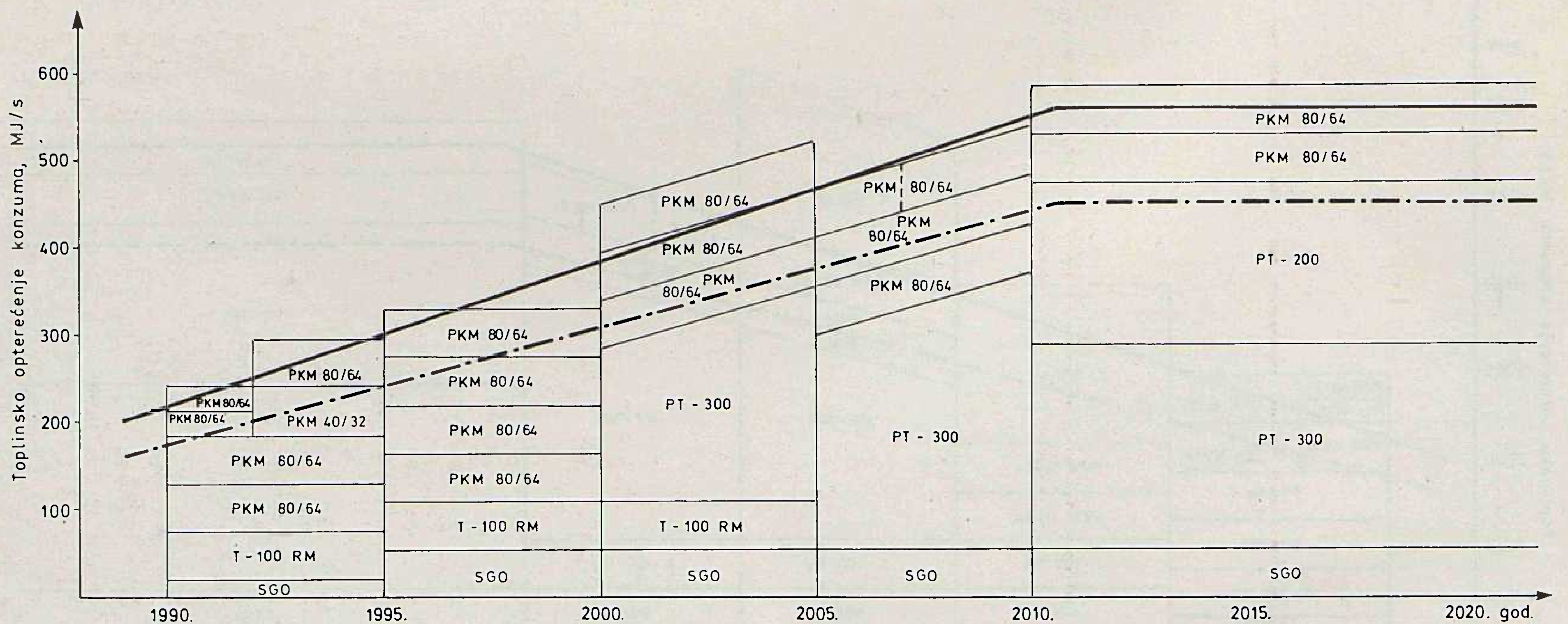
Slika 3. Dijagram pokrivanja toplinskog opterećenja u istočnom parnom sistemu — varijanta PI₀

Slika 4. Dijagram pokrivanja toplinskog opterećenja u zapadnom parnom centraliziranom sistemu u varijantama PZ₀, RZ₀





Slika 5. Dijagram pokrivanja toplinskog opterećenja u centraliziranom vrelovodnom sistemu — varijanta RV₀



Slika 6. Dijagram pokrivanja toplinskog opterećenja u istočnom parnom centraliziranom sistemu — varijanta RI₀

Scenario (PV₁, PI₁, PZ₁) (RV₁, RI₁, RZ₁) u pogledu predviđenih jedinica spojnog procesa ne razlikuju se od osnovnog scenarija (osim, razumljivo, što se ne gradi palionica smeća).

Bitna razlika između scenarija (PV₂, PI₂, PZ₂) (RV₂, RI₂, RZ₂) i osnovnog scenarija ogleda se, osim u kašnjenju izgradnje NE-TO Prevlaka, u ranijoj izgradnji bloka PT 300 na ugljen (puštanje u pogon 1995. umjesto 2000. godine).

6. DEFINIRANJE ULAZNIH PODATAKA ZA VREDNOVANJE OPRAVDANOSTI IZGRADNJE KOTLA K500-U

Dio ulaznih podataka za vrednovanje opravdanosti izgradnje kotla K500-U dan je u prethodnim točkama: cijene goriva i visina diskontne stope u 4.3, rast toplinskog opterećenja u CTS-u u 5.1, energetske karakteristike proizvodnih jedinica u 5.3, i način pokrivanja dijagrama opterećenja u CTS-u u 5.4.

Investicije i struktura investiranja u osnovna sredstva dane su u tablici 4. (investicije su u cijenama od 1.6.1986, a uključuju strojarsku i elektroopremu, građevinski dio, transport i montažu, ostale troškove uključivanja jedinica u sistem, rezervne dijelove, inženjering i projektiranje, nadzor i probni pogon, investicije u inicijalna obrtna sredstva i nepredviđene izdatke u iznosu 5 % investicije).

Tablica 4. Investicije i struktura investiranja u proizvodne jedinice

Objekt	Investicija 10^7 din	Struktura investiranja, %		
		1. godina	2. godina	3. godina
K 500 U	2 337	40	60	
VKM 50	140	40	60	
VKM 100	230	40	60	
VKM 200	360	40	60	
VKU 200	780	40	60	
PKM 40/32	150	40	60	
PKM 80/64	260	40	60	
SGO	2 140	33	43	24

Investicije u društveni standard se apstrahiraju jer su međusobno jednake u usporednim varijantama. Investicijsko održavanje jest 2 % godišnje od vrijed-

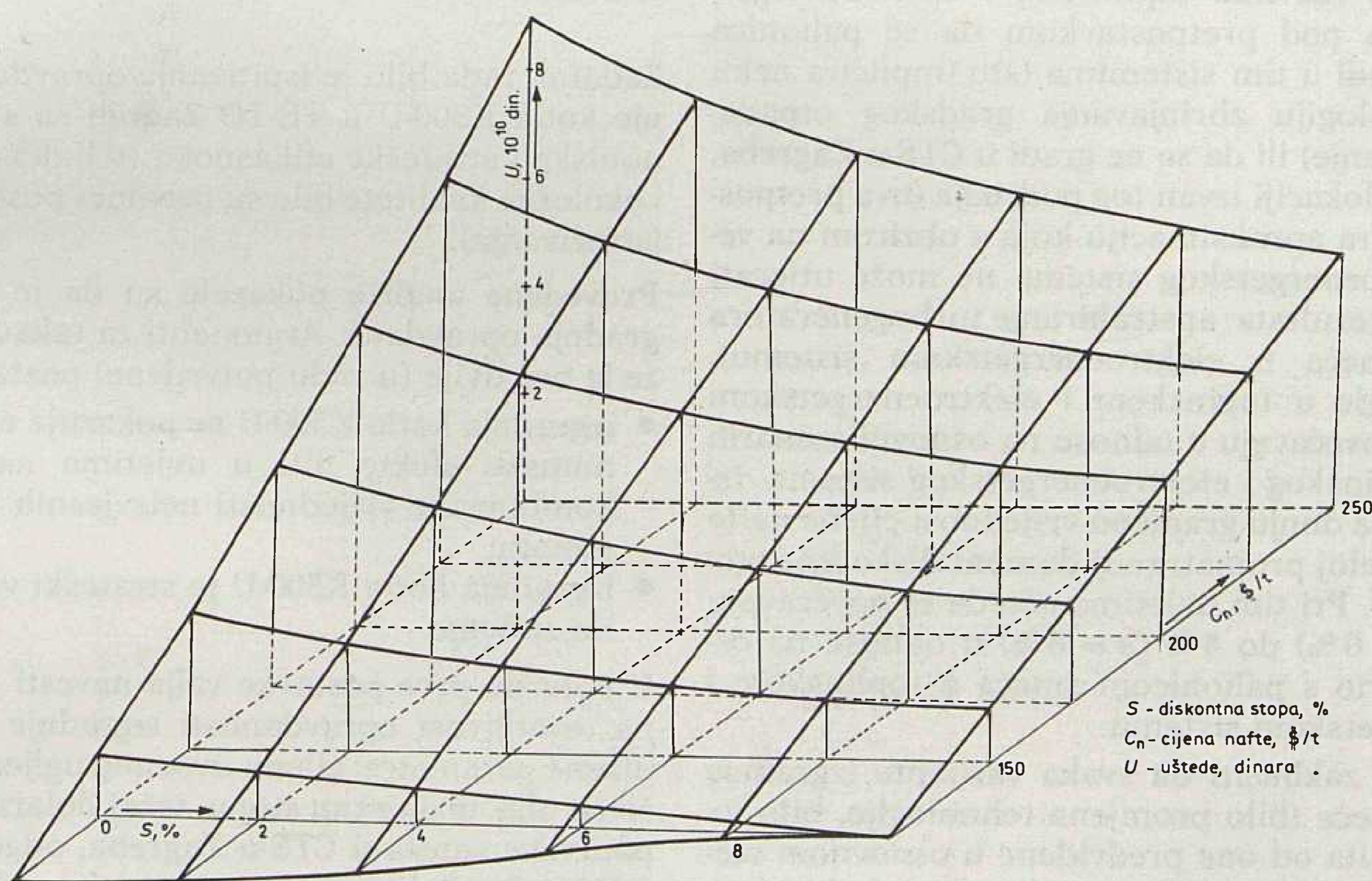
nosti opreme i montaže, a ostali materijalni izdaci 0,5 %. Neto osobni dohodak po radniku sredinom 1986. god. jest prosječno milijun dinara godišnje, a izdvajanje u FZP 4,5 % neto OD godišnje po radniku.

7. REZULTATI VREDNOVANJA IZGRADNJE KOTLA K500-U

7.1. Osnovni scenario pokrivanja dijagrama opterećenja (PV_o , PI_o , PZ_o) (RV_o , RI_o , RZ_o)

Na osnovi provedenih analiza angažiranja jedinica u toplinskom i elektroenergetskom sistemu u razdoblju 1990.—2010. te podataka o cijenama goriva i karakteristikama proizvodnih jedinica izračunati su troškovi goriva za svaku godinu unutar promatranog razdoblja. Na osnovi tih podataka te računa stalnih izdataka određena je razlika ukupnih izdataka u periodu promatranja između promatrane varijante razvitka toplinskog i elektroenergetskog sistema i referentne varijante.

Neto sadašnja vrijednost ukupnih ušteda koje se izgradnjom promatrane varijante sistema iskazuju u odnosu na izdatke u referentnoj varijanti u toku perioda promatranja iznosi 1 622,1 do 9 134,710⁷ dinara, ovisno o cijeni nafte (kojom je definirana visina cijene teškog loživog ulja i uvoznog energetskog ugljena) i visini diskontne stope. Dijagramski prikaz rezultata dan je na slici 7. Dijagram je osnovan na diskretnim vrijednostima iz tablice 5, a ekstrapolacijom su određene granične vrijednosti pri kojima se promatrana i referentna varijanta ekonomski izjednačuju. Proizlazi da je pri statičkom promatranju novčanih tokova (diskontna stopa 0 %) izgradnja kotla K500-U isplativa ako je cijena nafte na svjetskom tržištu viša od 110 \$/t. Pri ekstremnoj promatranoj diskontnoj stopi od 8 % ta granica iznosi oko 130 \$/t.



Slika 7. Ukupne uštede u toplinskom i elektroenergetskom sistemu

Tablica 5. Razlika ukupnih aktualiziranih izdataka između promatrane i referentne varijante razvitka sistema (ukupne uštede)u 10⁷ d

Scenario razvitka	Tečaj dolara, d/\$	Cijena nafte, \$/t	Visina diskontne stope, %		
			0	4	8
(Pv ₀ , PI ₀ , PZ ₀) (RV ₀ , RI ₀ , RZ ₀)	380	150	2 600,4	1 956,0	1 622,1
		200	5 649,7	4 148,8	3 301,8
		250	9 134,7	6 711,2	5 299,5
	800	150	6 434,0	4 880,1	3 974,8
(PV ₁ , PI ₁ , PZ ₁) (RV ₁ , RI ₁ , RZ ₁)	380	150	3 020,6	2 263,2	1 878,8
(PV ₂ , PI ₂ , PZ ₂) (RV ₂ , RI ₂ , RZ ₂)		150	3 418,4	2 265,3	1 655,7

Budući da će se u toku eksploatacije sistema zasigurno mijenjati uvjeti trgovanja s inozemstvom, ali i da je pitanje koja vrijednost dolara odražava stvarne odnose u međunarodnoj razmjeni naše zemlje, korisno je, kao što je već rečeno, imati uvid u osjetljivost rješenja na promjenu odnosa vrijednosti dinara i dolara. Analiza toplinskog i elektroenergetskog sistema pri promjeni tečaja dolara na 800 dinara pokazuje da su uštede u toplinskom i elektroenergetskom sistemu veće nego u prethodnom slučaju. Posebno je važno uočiti da su pri približnom udvostručenju vrijednosti dolara (od 380 na 800 dinara) uštede povećane oko 2,5 puta.

Valja, dakle, zaključiti da slabljenje relativne vrijednosti dinara prema dolaru u vremenu promatranja sistema pridonosi isplativosti izgradnje kotla K500-U u TE-TO.

7.2. Scenario bez izgradnje palionice smeća u CTS-u (PV₁, PI₁, PZ₁) (RV₁, RI₁, RZ₁)

Pri scenariju razvitka toplinskog i elektroenergetskog sistema pod pretpostavkom da se palionica smeća ne gradi u tim sistemima (što implicira neku drugu tehnologiju zbrinjavanja gradskog otpada, npr. deponiranje) ili da se ne gradi u CTS-u Zagreba, već na nekoj lokaciji izvan tog područja (ova pretpostavka implicira aproksimaciju koja s obzirom na veličinu elektroenergetskog sistema ne može utjecati na kvalitetu rezultata: apstrahiranje turbogeneratorske palionice smeća u elektroenergetskom sistemu), ukupne uštede u toplinskom i elektroenergetskom sistemu se povećavaju u odnosu na osnovni scenario razvitka toplinskog i elektroenergetskog sistema. Ispitano je to za donju graničnu vrijednost cijene nafte 150 \$/t, u cijeloj promatranoj domeni diskontne stope (0 do 8 %). Pri tim uvjetima uštede se povećavaju za 25 % ($s = 0$ %) do 4 % ($s = 8$ %) u odnosu na osnovni scenario s palionicom smeća u toplinskom i elektroenergetskom sistemu.

Valja, dakle, zaključiti da svaka varijanta izgradnje palionice smeća (bilo promjena tehnologije, bilo lokacije) različita od one predviđene u osnovnom scenariju razvitka sistema, može jedino povećati isplativost izgradnje kotla K500-U.

7.3. Scenario kašnjenja izgradnje NE-TO Prevlaka (PV₂, PI₂, PZ₂) (RV₂, RI₂, RZ₂)

Scenario pretpostavlja odgodu puštanja u pogon NE Prevlaka. Budući da bi provedba egzaktne energetske ekonomske analize u razdoblju 1995 – 1999. godina za ovu konstelaciju proizvodnih jedinica u elektroenergetskom sistemu zahtijevala znatan istraživački napor, provedena je grublja analiza koje je cilj da se indicira kvaliteta promjena pri ovom scenariju u odnosu na onaj osnovni. Drugim riječima, željelo se utvrditi da li eventualna odgoda NE Prevlaka za 5 godina (a to može biti indikacija za posljedice odgode na duži period) utječe pozitivno ili negativno na opravdanost izgradnje kotla K500-U. Provedene analize (tablica 5) pokazuju da varijanta s izgradnjom kotla K500-U u TE-TO dobiva na ekonomskom bonitetu zakasni li se u tempu izgradnje NE-TO Prevlaka u odnosu na planirani terminski plan bez obzira na period kašnjenja.

8. ZAKLJUČAK

Zadatak rada bilo je ispitivanje opravdanosti izgradnje kotla K500-U u TE-TO Zagreb sa stajališta ekonomske i strateške efikasnosti (tehnička izvodljivost i ekološke kvalitete bile su predmet posebnih, drugih istraživanja).

Provedene analize pokazale su da je navedena izgradnja opravdana. Argumenti za takav stav proizlaze iz ove dvije (u radu potvrđene) postavke:

- izgradnja kotla K500-U ne pokazuje negativne ekonomske efekte niti u uvjetima najnepovoljnije kombinacije vrijednosti neizvjesnih ulaznih parametara,
- izgradnja kotla K500-U je strateški visokokvalitetno rješenje.

U potvrdu prve postavke valja navesti da je ispitivana osjetljivost opravdanosti izgradnje kotla na ove ulazne parametre: cijenu uvoznog ugljena i teškog loživog ulja, diskontnu stopu, tečaj dolara, neizgradnju palionice smeća u CTS-u Zagreba, odgodu izgradnje NE-TO Prevlaka i prijevremenu izgradnju bloka PT 300. Izgradnja kotla K500-U u citavoj se promatranoj

domeni tih ulaznih parametara (bez obzira na kombinaciju njihovih vrijednosti unutar te domene) pokazuje superiorna alternativnim rješenjima.

Osnovna strateška kvaliteta kotla K500-U jest upravo navedena stabilnost ekonomskog boniteta tog rješenja u neizvjesnim prilikama koje donosi budućnost. Tome treba dodati i diverzifikaciju energetske oblika u CTS-u i energetskom sistemu Zagreba koja se izgradnjom kotla K500-U postiže, zatim sigurnost u opskrbi zbog mogućnosti korištenja triju vrsta goriva (ugljen, teško loživo ulje, prirodni plin), te posebno važnu kvalitetu da izgradnja navedenog kotla ne sužava mogućnosti daljeg razvitka sistema (jasno, potrebno je izgradnju ispravno tehnički i prostorno koncipirati).

LITERATURA

- [1] M. GRŽETA, Ž. JELIN, M. Koštek, M. ARNOLD: »Termoelektrana-toplana Zagreb, Idejno rješenje povezivanja generatora, pare loženog ugljenom, s postojećim proizvodnim jedinicama«, Elektroprivreda Zagreb, Zagreb, 1985.
- [2] D. ČORAK, Z. MUŽEK, H. ŠTINGL, V. JELAVIĆ, R. SCHNEIDER, Z. KOMERIČKI, V. BRAJČIĆ, M. NADINIĆ: »Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.
- [3] Generalni urbanistički plan grada Zagreba, Urbanistički zvod grada Zagreba, Zagreb, 1971.
- [4] Survey of Energy Resources, 11. World Energy Conference, München, 1980.
- [5] BP Statistical Review of World Energy, British Petroleum, London, 1985.
- [6] Coal Information Report, International Energy Agency, OECD/IEA, Paris, 1985.
- [7] Coal Information Report, International Energy Agency, OECD, Paris, 1983.
- [8] D. PRERADOVIĆ, P. GARIĆ: »Studija o upotrebi kamenih ugljena u termoelektranama i toplanama na području Zagreba i Siska, Elektroprivreda Zagreb — RZ Zajednički poslovi, Zagreb, 1985.
- [9] D. PRERADOVIĆ, P. GARIĆ: »Studija o transportu uvoznog energetskeg ugljena do termoelektrana i toplana u Zagrebu i Sisku«, Rijeka, 1986.
- [10] J. ŠIMOVIĆ: »Uloga i značaj udruženih sredstava društvene reprodukcije u financiranju razvoja privredne infrastrukture«, Zagreb, 1986, Energija 3,
- [11] D. ČORAK: »Metoda vrednovanja toplanskih jedinica u elektroenergetskom i toplinskom sistemu«, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1977.
- [12] Z. MUŽEK: »Cijene nafte u svijetu — dosadašnji razvitak i neke premise za budućnost«, Energija 5/86, Zagreb, 1986.

CONSTRUCTION OF K-500U BOILER FIRED ON IMPORTED STONE COAL IN TPP — HPP ZAGREB

In the article is examined a benefit of the K-500U boiler (capacity 500 t/h, fired on imported coal) in TPP-HPP Zagreb. In the benefit evaluation are taken in account uncertainties of future development as well as strategic elements of coal import and diversity of thermal power consumption in the heating system of Zagreb.

AUSBAU DES KESSELS K 500-U DER MIT IMPORTIERTER STEINKOHLE GEHEIZT WIRD IN TE — TO ZAGREB

Man hat die Notwendigkeit des Ausbaus des Kessels K 500-U (500 t/h importierte Steinkohle) in TE — TO Zagreb untersucht. Die Rechtfertigung des Kesselhausbaus nimmt auch die Ungewißheit der immanenten Zukunft in Betracht. Außer der meßbaren Parameter in Verbindung mit dem Untersuchungsgegenstand, betrachtet man auch die strategischen Elemente der Einfuhr der energetischen Steinkohle sowie der Diversifikation der energetischen Formen die im Wärmesystem der Stadt Zagreb gebraucht werden.

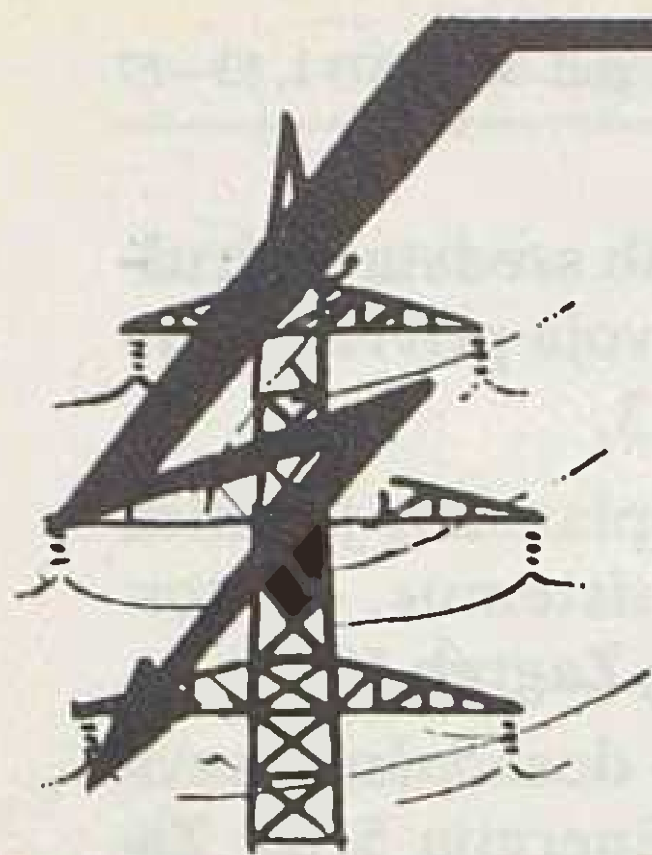
СООРУЖЕНИЕ КОТЛА К500-У, НАГРЕВАЕМОГО ВВОЗНЫМ КАМЕННЫМ УГЛЕМ, НА ТЕПЛОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ-ТЕПЛОЦЕНТРАЛЕ «ЗАГРЕБ»

Исследована целесообразность сооружения котла К500-У (500 т/ч, ввозной каменный уголь) на тепловой электростанции-теплоцентrale «Загреб». Процесс оценки сооружения котла считается с неизвестностью на ограниченное будущее. Кроме измеряемых параметров, связанных с предметом исследования, рассматриваются также и стратегические элементы ввоза энергетического каменного угля и диверсифицирования энергетических видов использования в теплофикационной системе г. Загреб.

Naslov pisaca:

**Zdravko Mužek, dipl. inž.
mr Zlatko Komerički, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:
1986 — 10 — 23



STRUJA

**ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P.O.
ZAGREB
GUNDULIĆEVA16**

Poslovno-proizvodni program:

- *pribor za kućne priključke*
- *pribor za telefonske priključke*
- *oprema za javne električne mreže*
- *zatezne sponne niskonaponskih mreža*
- *obujmice nogara, sidra i sidreni vijci za stupove javnih električnih mreža*
- *pribor za gromobransku opremu*
- *elektroinstalacioni pomoćni materijal (poklop-
ci, obujmice, kutije)*
- *tavanski kućni osigurač*
- *elektronički sklopovi i oprema za vatrodojavu*
- *elektronički dijelovi opreme za signale uređaje*
- *izvođenje svih vrsta instalacija*
- *montaža trafostanica i polaganje kablova*
- *izrada alata i pomoćne opreme za termičko va-
renje*
- *pomoćni dijelovi opreme za električne lokomo-
tive*
- *termoregulatori i klima uređaji za elektronske
računske centre*
- *izrada elektromagnetskih filtera*
- *refleksni optički prekidači*
- *granični regulatorik temperature i tlaka*



UNIVERZALNI OSIGURAČ ZA ELKALEX I OSTALE KABELE

Pojedine proizvode i dijelove opreme izrađujemo prema specijalnim zahtjevima naručioca.

Sve informacije, detaljnije upute i pobliza objašnjenja, katalozi, cjenici skice, nacrti i ostalo u vezi gore navedenog mogu se dobiti na telefon: 420-791, 420-786 i 273-909, odnosno na telex YU 22-383 »STRUJA«.

POLOŽAJ NADZEMNIH VODOVA U SUSTAVU UZEMLJENJA

mr Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.315:621.316.99

PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku je opisana uloga nadzemnih vodova u sustavu uzemljenja. Izložen je način proračuna karakterističnih veličina. Priloženi su rezultati proračuna redukcijskih faktora, te impedancija uzemljenja 110, 35 i 20 kV nadzemnih vodova.

Ključne riječi: zaštitno uže, redukcijski faktor, struja kratkog spoja, specifični otpor.

1. UVOD

Nadzemni vodovi u mrežama napona 400, 220, 110 i 35 kV u pravilu se izvode s postavljenim zaštitnim vodičem. Moderni čeličnoretastki stupovi u 10 (20) kV mrežama također se često izvode sa zaštitnim vodičem. Osnovna uloga zaštitnog vodiča jest sprečavanje direktnih udara groma u faze vodiče. Međutim, zahvaljujući tome što zaštitni vodič povezuje uzemljivač razmatrane transformatorske stanice s uzemljivačima stupova, dolazi do značajnog efekta nadzemnog voda u sustavu uzemljenja. Položaj nadzemnog voda u sustavu uzemljenja može se objasniti pomoću sl. 1.

Pretpostavimo da je u trafostanici nastao jednopolni kratki spoj. Nadzemnim vodom koji je priključen na tu stanicu teče struja $3I_0$. Zbog elektromagnetskog utjecaja u zaštitnom vodiču inducira se struja koja teče prema zvjezdištu pojne trafostanice, a matematički se obuhvaća preko redukcijskog faktora voda (r). Ova struja bi se inducirala u zaštitnom vodiču i onda kada stupovi ne bi bili uzemljeni (ali uz uvjet da je zaštitni vodič uzemljen u trafostanicama). Kao što se vidi na slici 1, inducirana struja u zaštitnom vodiču nije mjerodavna za proračun potencijala odnosno napona dodira jer ne prelazi s uzemljivača u zemlju. Osim navedenog efekta zaštitnog vodiča, do-

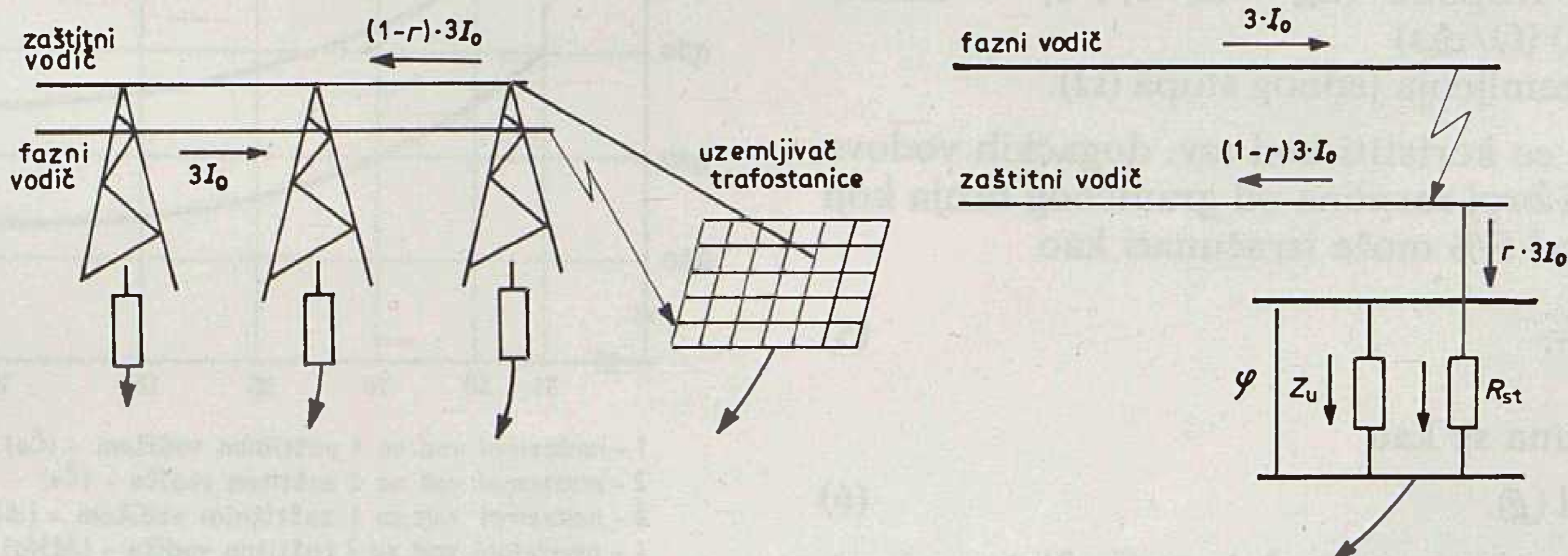
lazi i do odvođenja dijela struje jednopolnog kratkog spoja u zemlju preko uzemljivača prvih nekoliko stupova nadzemnog voda. To je djelovanje nadzemnog voda kao dodatnog uzemljivača, a matematički se obuhvaća preko impedancije uzemljenja (Z_u). Prema tome, kroz zaštitni vodič na nekoliko prvih raspona teče veća struja od inducirane komponente ($(1-r)3I_0$), odnosno induciranoj komponenti se superponira struja odvođenja u zemlju. Nakon dovoljnog broja raspona struja u zaštitnom vodiču se ustaljuje na vrijednosti inducirane komponente.

U daljnjem tekstu izložit će se matematički izrazi za proračun veličina koje karakteriziraju nadzemni vod u sustavu uzemljenja, te će se dati izračunate vrijednosti za neke vodove koji su tipični za naše mreže. Potrebno je upozoriti da se izloženi pristup može koristiti kod tzv. dugačkih vodova, koji imaju više od desetak raspona, a takvi su i najčešći.

2. PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH VELIČINA

2.1. Određivanje redukcijskog faktora (r)

Proračun redukcijskog faktora izložen je u raznim radovima, kao npr. [L. 1], [L. 2], [L. 3]. U [L. 1] dan je sljedeći izraz:



Slika 1. Raspodjela struje jednopolnog kvara

$$r = 1 - \frac{Z_{fs}}{Z_s} \quad (1)$$

Vlastita impedancija petlje zaštitni vodič-zemlja (Z_s), te veličina Z_{fs} koja definira međuinduktivni utjecaj petlje zaštitni vodič-zemlja i petlje fazni vodič-zemlja može se odrediti pomoću pojednostavljenih Carsonovih formula:

$$Z_s = R_s + \frac{\mu_o \cdot \omega}{4 \cdot \pi} \left(\frac{\pi}{2} + j \cdot \ln \frac{4 \cdot \rho}{\mu_o \cdot \omega \cdot r_s} - j \cdot 0,1544 + j \cdot \frac{\mu}{2} \right) \quad (2)$$

$$Z_{fs} = \frac{\mu_o \cdot \omega}{4 \cdot \pi} \left(\frac{\pi}{2} + j \cdot \ln \frac{4 \cdot \rho}{\mu_o \cdot \omega \cdot a^2} - j \cdot 0,1544 \right), \quad (3)$$

gdje je:

- R_s — radni otpor zaštitnog vodiča (Ω/km)
- ρ — specifičan otpor tla (Ω)
- r_s — polumjer zaštitnog vodiča (m)
- a — srednja geometrijska udaljenost zaštitnog vodiča od faznih vodiča (m)
- ω — kružna frekvencija (314 s^{-1})
- μ_o — apsolutni permeabilitet ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$)
- μ — relativni permeabilitet.

Ima li nadzemni vod dva zaštitna vodiča, tada se veličina a određuje kao srednja geometrijska udaljenost tih dvaju vodiča od faznih vodiča; veličina r_s određuje se kao srednja geometrijska udaljenost između dva zaštitna vodiča. U ovom slučaju za R_s u jednažbi (2) treba uvrstiti polovicu otpora.

2.2. Određivanje impedancije uzemljenja (Z_u)

Zaštitni vodič povezuje uzemljiivač trafo-stanice s uzemljiivačem susjednih stupova. Uz pretpostavku da je raspon između prvih nekoliko stupova približno jednak i da je otpor uzemljenja nekoliko prvih stupova približno jednak, nadomjesna impedancija uzemljenja nadzemnog voda može se odrediti pomoću teorije četveropola (npr. L. 2):

$$Z_u \approx \sqrt{Z_{rs} \cdot R_u} - \frac{Z_{rs}}{2}, \quad (4)$$

gdje je:

- Z_{rs} — impedancija petlje zaštitni vodič-zemlja po jednom rasponu ($Z_{rs} = Z_s \cdot l_1$; l_1 — dužina raspona) (Ω/ras)
- R_u — otpor uzemljenja jednog stupa (Ω).

Izraz (4) može se koristiti kod tzv. dugačkih vodova koji imaju veći broj raspona od graničnog broja koji se uz točnost od 5 % može izračunati kao

$$n_g \leq \frac{1,5}{a}. \quad (5)$$

Veličina a računa se kao

$$a = \text{Real}(\bar{g}). \quad (6)$$

Prijenosna konstanta g određuje se (L. 2) pomoću izraza 7:

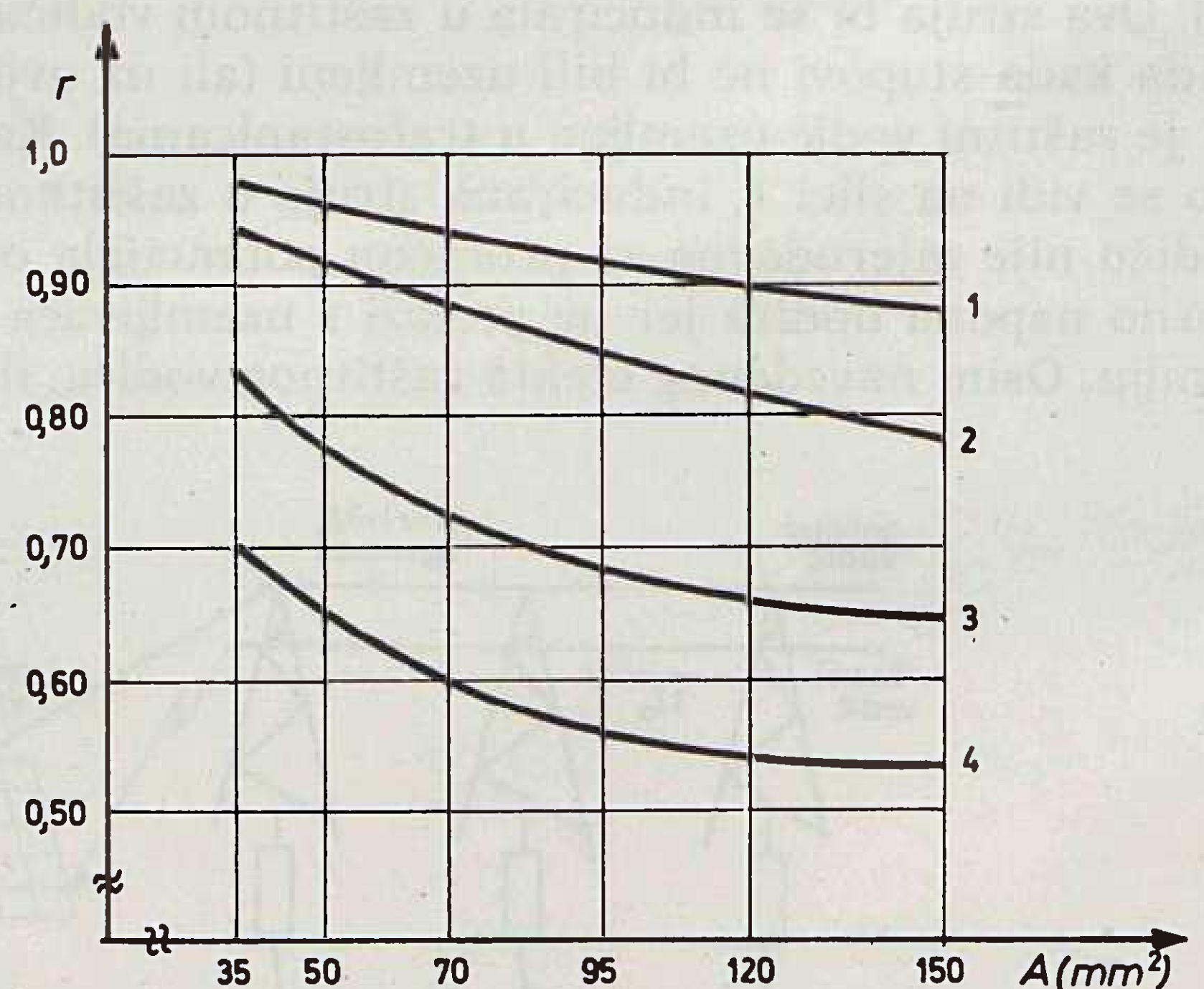
$$\bar{g} \approx \frac{Z_{rs}}{2 \cdot R_u} + \sqrt{\frac{Z_{rs}}{R_u}}. \quad (7)$$

3. ANALIZA PRORAČUNA

Na temelju navedenih formula obavljen je niz proračuna karakterističnih veličina nadzemnih vodova u sustavu uzemljenja. Proračuni su napravljeni za razne tipične nadzemne vodove u mrežama 400, 200, 110, 35, 20 kV. Razmotren je utjecaj različitih zaštitnih vodiča: od alumangana (Al Mg), alučela (Al Če) i čelika (Če).

Proračuni redukcionih faktora doveli su do ovih zaključaka:

- Redukcioni faktor vodova sa dva zaštitna vodiča znatno je niži od redukcionog faktora vodova s jednim zaštitnim vodičem (uz isti tip i presjek zaštitnog vodiča).
- Redukcioni faktor nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem od vodljivijeg materijala (Al Mg, Al Če) znatno je bolji od redukcionog faktora voda sa zaštitnim vodičem od čelika.
- Razlike između veličina redukcionih faktora pojedinih nadzemnih vodova različitog naponskog nivoa a istog tipa, broja i presjeka zaštitnih vodiča nije značajna; kod vodova viših napona reducioni faktori su malo veći zbog većeg parametra a u jednažbi (3).
- S porastom specifičnog otpora tla blago se smanjuju vrijednosti redukcionih faktora; ako se specifični otpor tla poveća sa 100 Ω na 1000 Ω , reducioni faktor se smanjuje oko 10 % kod upotrebe vodljivijih zaštitnih vodiča (Al Mg, Al Če), odnosno smanji se otprilike 2 % kod zaštitnih vodiča do čelika.
- Na slici 2. prikazani su dijagrami ovisnosti redukcionih faktora o presjeku zaštitnog vodiča. Dijagrami se odnose na vodove 110 kV tipa »mačka«



- 1 - nadzemni vod sa 1 zaštitnim vodičem - (Če)
- 2 - nadzemni vod sa 2 zaštitna vodiča - (Če)
- 3 - nadzemni vod sa 1 zaštitnim vodičem - (AlMg)
- 4 - nadzemni vod sa 2 zaštitna vodiča - (AlMg)

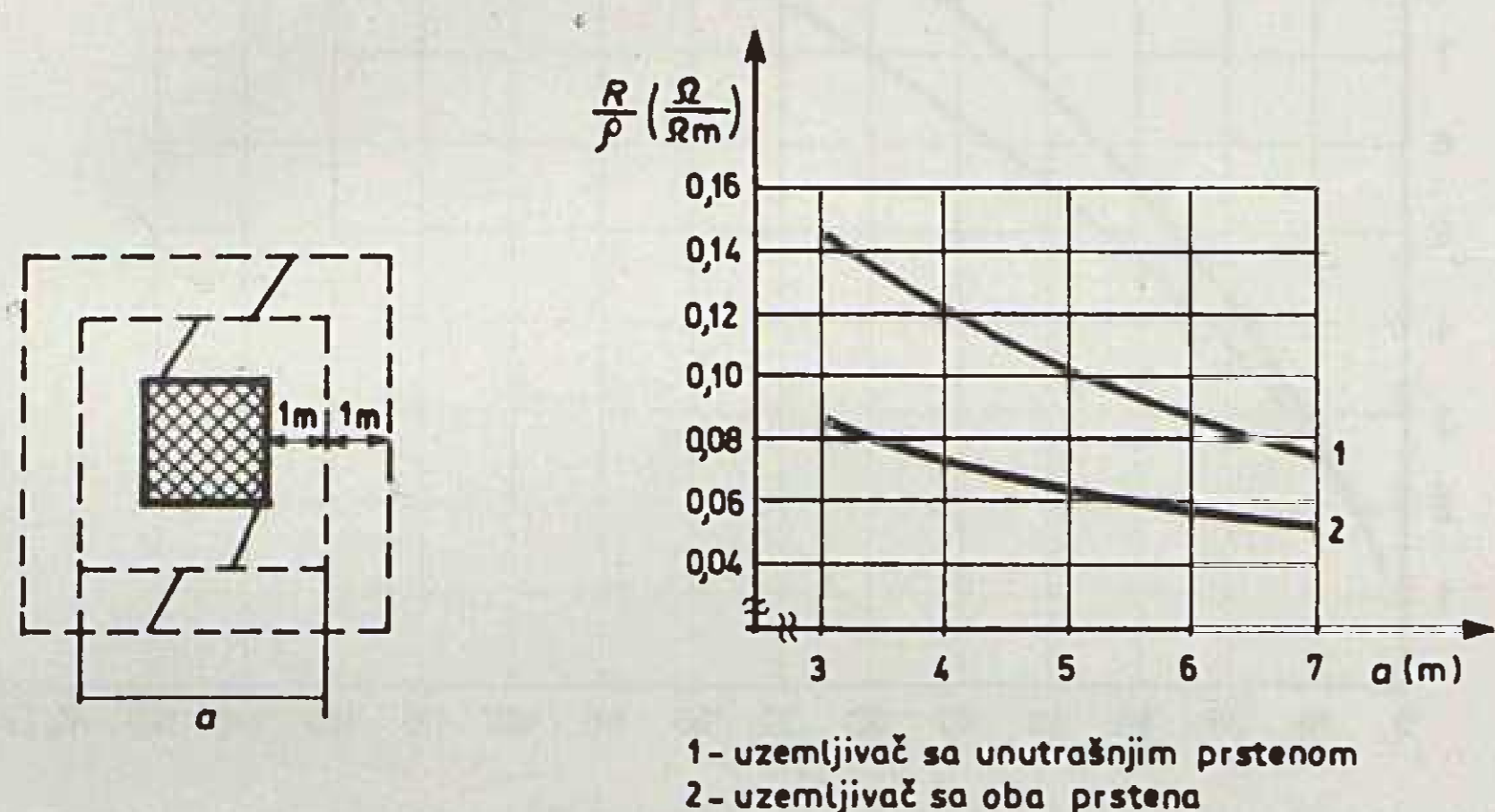
Slika 2. Redukcioni faktori

(dva zaštitna vodiča) odnosno vodove 110 kV tipa »čelična jela« (jedan zaštitni vodič). Pretpostavljen je specifični otpor tla od $100 \Omega \text{ m}$. Uvažavajući već donesene zaključke, može se reći da su navedeni dijagrami reprezentativni i za ostale nadzemne vodove (s jednim ili dva zaštitna vodiča) drugih naponskih nivoa. Dakako, kod konkretnih uvjeta preporučljivo je izvršiti točan proračun redukcionog faktora za dane ulazne podatke (izrazi 1–3).

Impedancije uzemljenja nadzemnih vodova izračunate su pomoću izraza 4. Analizom tog izraza lako je utvrditi da impedancija uzemljenja znatno raste s porastom otpora uzemljenja stupova (R_u), a nešto sporije raste s povećanjem raspona između stupova, odnosno s upotrebom zaštitnog vodiča od lošije vodljivog materijala (čelika). Otpor uzemljivača stupa ovisi linearno o specifičnom otporu tla, a nešto manje o konfiguraciji uzemljivača.

Na slici 3. dani su dijagrami ovisnosti jediničnog otpora uzemljivača stupa o konfiguraciji tipičnog uzemljivača. Proračuni otpora uzemljivača izvršeni su primjenom programa UZ1 koji je opisan u L. 4. Pretpostavljeno je da je prvi prsten ukopan na dubini od 0,5 m, a drugi na dubini od 0,7 m. Ako uzemljivač nije kvadratnog oblika, tada se umjesto veličine a koristi parametar \sqrt{A} (A — površina koju obuhvaća unutrašnji prsten uzemljivača). Kao mjerodavni specifični otpor tla uzima se onaj u okolišu razmatrane trafo-stanice.

Kod uzemljivača stupova s dodatnim trakama (sl. 4) dominantan je utjecaj traka na otpor uzemljenja. Za-



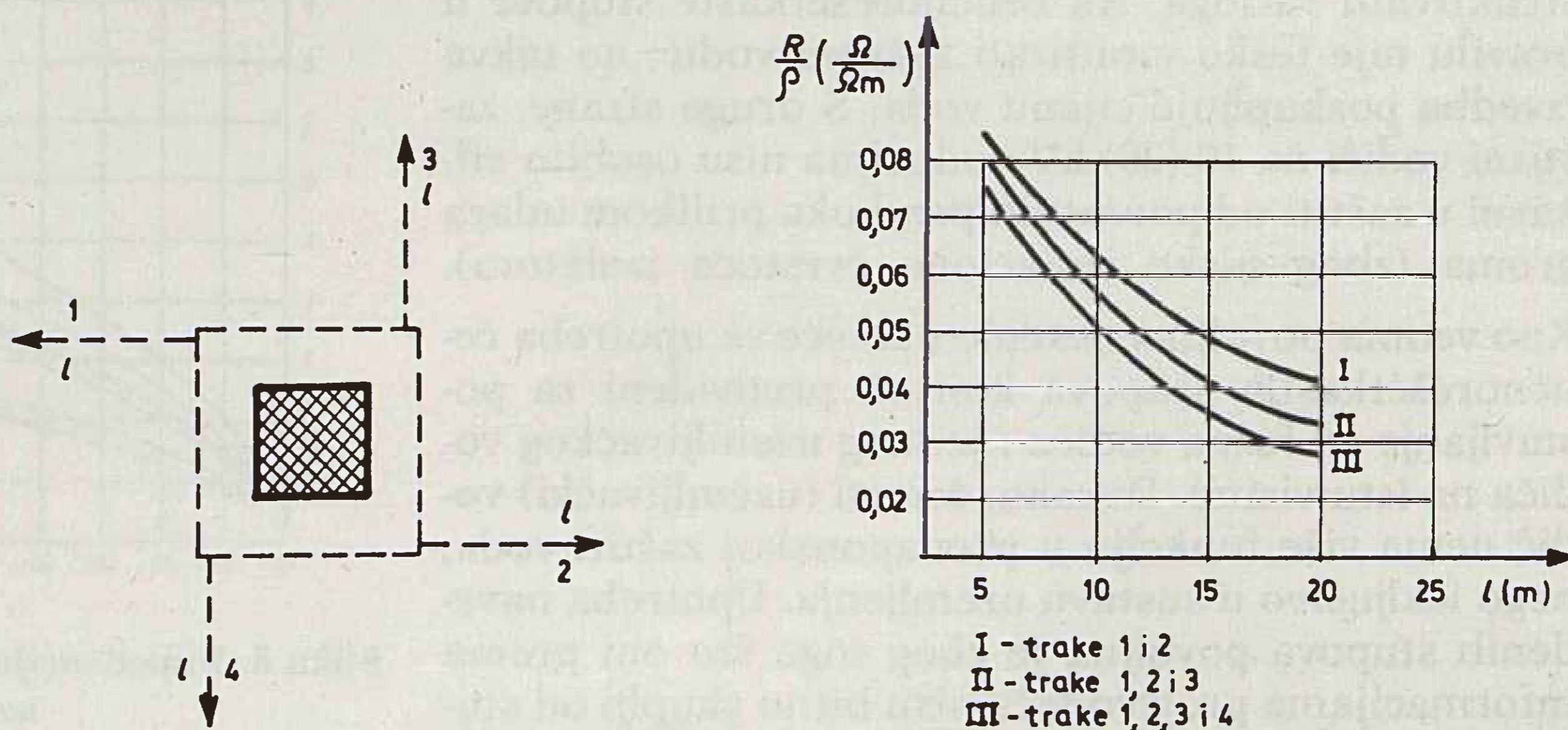
Slika 3. Uzemljivač stupa (bez dodatnih traka)

to se dijagrami sa slike 4. mogu koristiti sa zadovoljavajućom točnošću i za konfiguracije sa dva prstena i dodatnim trakama.

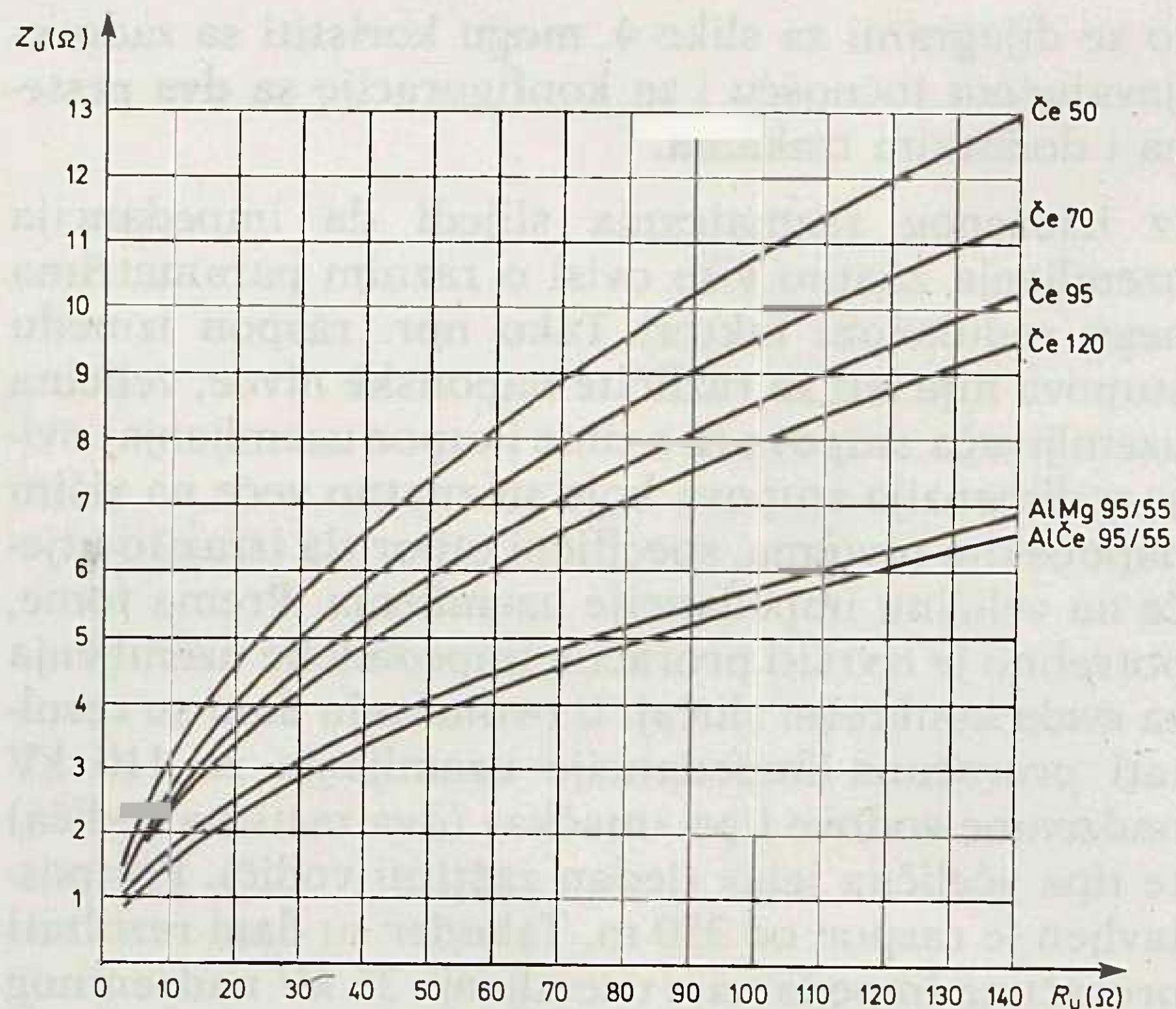
Iz izloženog razmatranja slijedi da impedancija uzemljenja znatno više ovisi o raznim parametrima nego redukcionom faktor. Tako npr. raspon između stupova nije isti za različite naponske nivoe, veličina uzemljivača stupova (a s time i otpor uzemljenja) ovisi o dimenziji stupova koje su znatno veće na višim naponskim nivoima, specifični otpor tla izrazito utječe na veličinu impedancije uzemljenja. Prema tome, potrebno je izvršiti proračun impedancije uzemljenja za svaki konkretni slučaj. U ovom radu dani su rezultati proračuna impedancije uzemljenja za 110 kV nadzemne vodove tipa »mačka« (dva zaštitna vodiča) te tipa »čelična jela« (jedan zaštitni vodič). Pretpostavljen je raspon od 350 m. Također su dani rezultati proračuna impedancije uzemljenja 35 kV nadzemnog voda tipa »čelična jela« uz pretpostavljeni raspon od 250 m. Dobiveni rezultati su prikazani na slikama 5, 6. i 7. Budući da za vodove sa zaštitnim vodičem (vodičima) od vodljivijih materijala (Al Mg, Al Če) impedancija uzemljenja ne ovisi bitno o presjeku (dominantna je utjecaj reaktancije zaštitnog vodiča), prikazani su samo dijagrami za jedan tipični presjek.

Rezultati proračuna impedancije uzemljenja 10 (20) kV vodova na čelično rešetkastim stupovima prikazani su na slici 8. U ovom primjeru pretpostavljen je prosječni raspon od 100 m. Zbog toga su impedancije uzemljenja na slici 8. znatno manje od odgovarajućih veličina sa slike 5. i sl. 7. (uz isti otpor uzemljivača stupova i isti tip zaštitnog vodiča). Dobiveni rezultati sa slike 8. potvrđuju izvanredno povoljan utjecaj 10 (20) kV vodova sa zaštitnim vodičem na smanjivanje otpora (impedancije) uzemljenja priključenih TS 10 (20)/0,4 kV. To je izuzetno značajno jer TS 10 (20)/0,4 kV priključene na nadzemnu mrežu predstavljaju ograničavajući faktor za provedbu uzemljenja zvjezdista preko malooskog otpornika. Navedene stanice koje su priključene na 10 (20) kV vodove bez zaštitnih vodiča u pravilu imaju visoke otpore uzemljenja, koji su često viši od propisanih vrijednosti za rezistentno uzemljene mreže [L. 5].

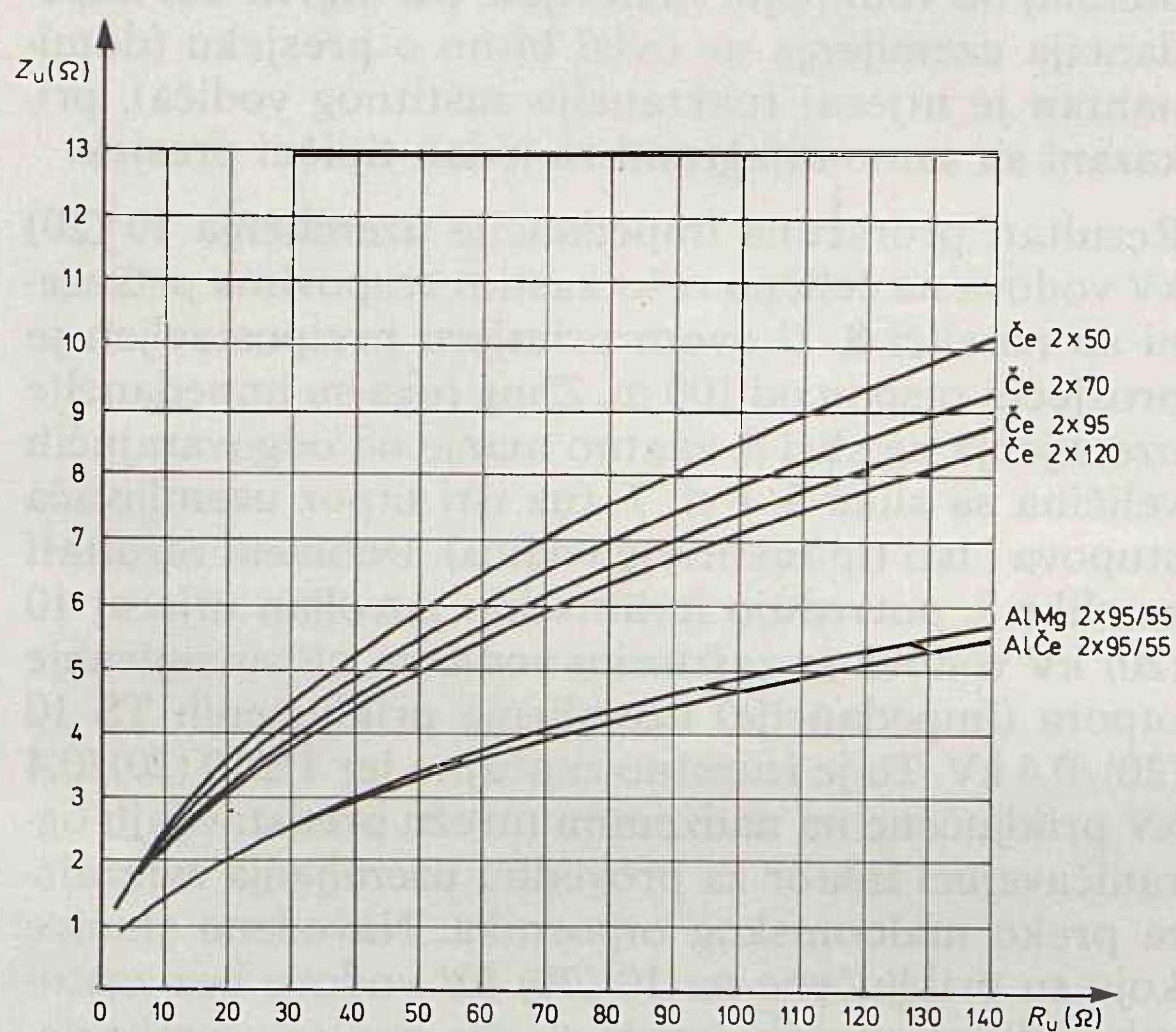
Na ovom mjestu treba još upozoriti da se na izbor zaštitnog vodiča 10 (20) kV voda gleda nešto drugači-



Slika 4. Uzemljivač stupa (s dodatnim trakama)



Slika 5. Impedancija uzemljenja 110 KV nadzemnog voda s jednim zaštitnim vodičem



Slika 6. Impedancija uzemljenja 110 KV nadzemnog voda s dva zaštitna vodiča

je nego kod vodova viših nazivnih napona. Na 10 (20) kV vodove izvedene na drvenim ili betonskim stupovima teško je postaviti zaštitne vodiče zbog konstruktivnih razloga. Na čeličnorešetkaste stupove u pravilu nije teško montirati zaštitni vodič; no takva izvedba poskupljuje cijenu voda. S druge strane, zaštitni vodiči na 10 (20) kV vodovima nisu osobito efikasni u zaštiti od povratnih preskoka prilikom udara groma (zbog niske izolacione čvrstoće izolatora).

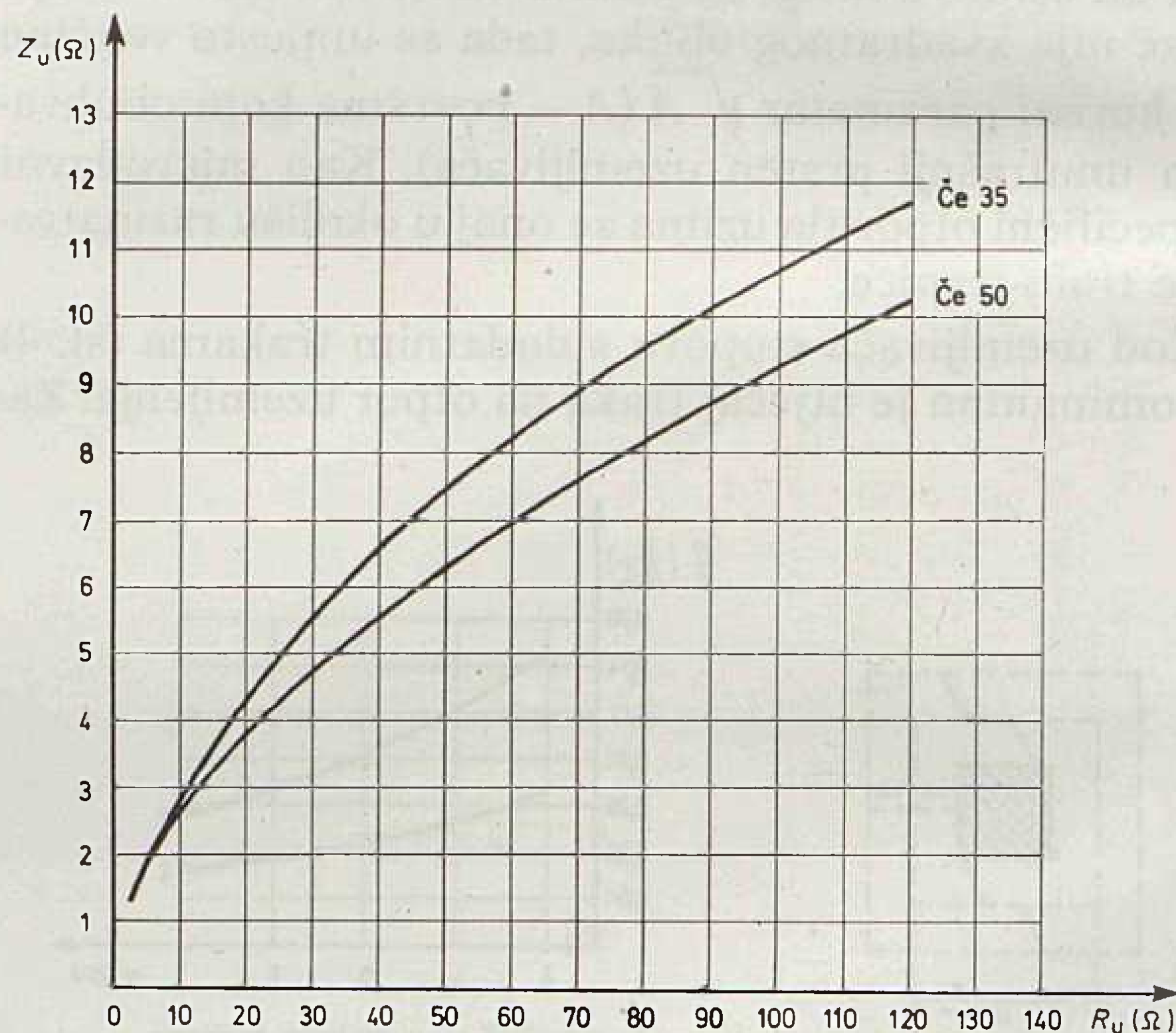
Kao veoma povoljno rješenje nameće se upotreba čeličnorešetkastih stupova koji su predviđeni za postavljanje tri fazna vodiča i jednog uzemljivačkog vodiča na istu visinu. Dakako, četvrti (uzemljivački) vodič nema više funkciju u prenaponskoj zaštiti voda, nego isključivo u sustavu uzemljenja. Upotreba navedenih stupova povoljna je zbog toga što oni prema informacijama proizvođača nisu bitno skuplji od stu-

pova koji nisu predviđeni za postavljanje zaštitnog (odnosno uzemljivačkog) vodiča.

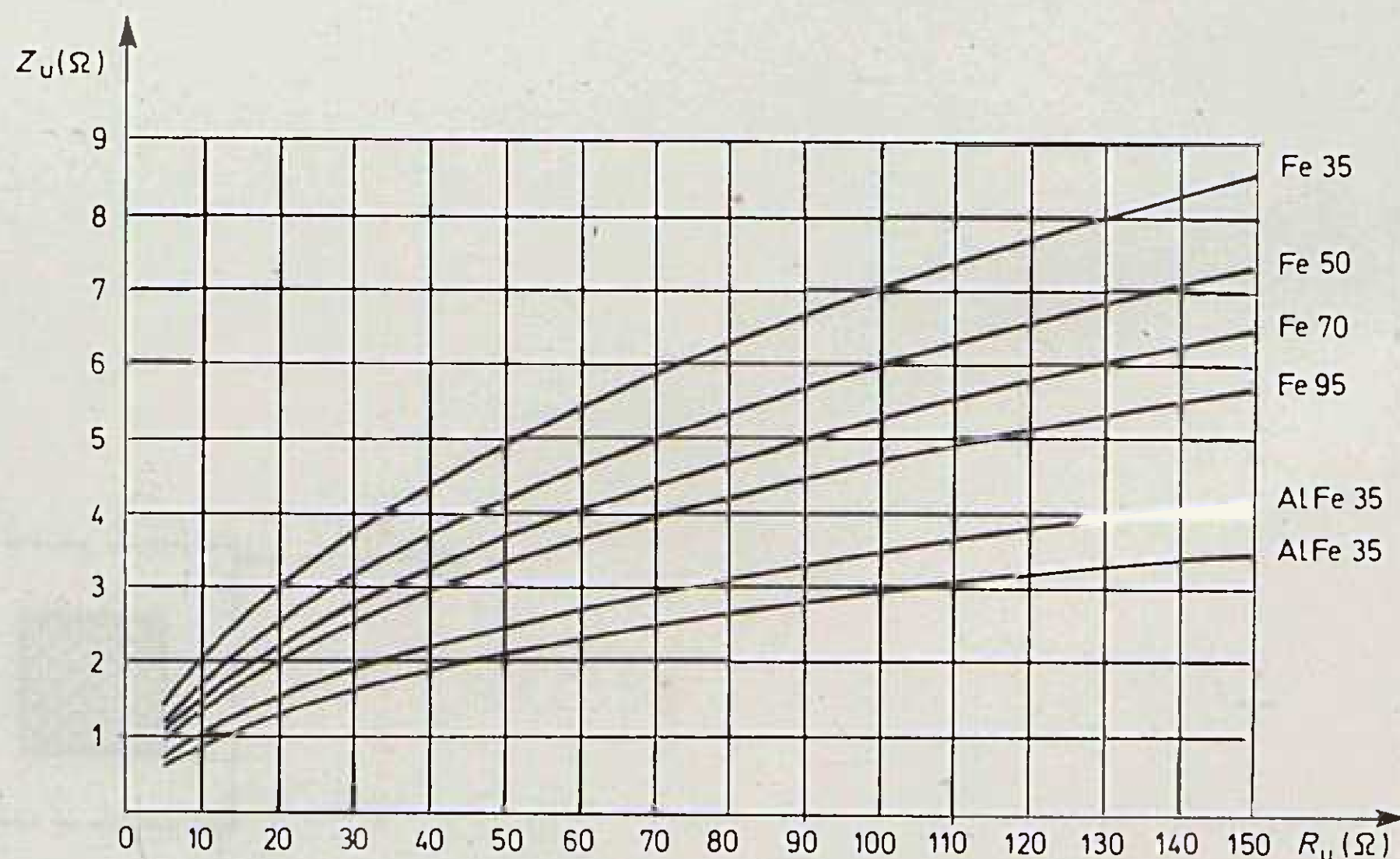
4. ZAKLJUČAK

U članku su navedene matematičke podloge za proračun veličina koje karakteriziraju nadzemne vodove u sustavu uzemljenja. To su redukcionni faktori i impedancije uzemljenja nadzemnih vodova. Rezultati proračuna navedenih veličina dani su u obliku dijagrama. Analizom dobivenih rezultata može se vidjeti da su nadzemni vodovi veoma značajan dio sustava uzemljenja, te da se njihov efekt ne smije zanemarivati. Dakako, uvažavanje njihovog djelovanja može znatno olakšati projektiranje i izvedbu uzemljivača trafo-stanica na najekonomičniji način, a uz zadovoljavanje propisa o naponima dodira i koraka.

Izloženi rezultati upućuju na velike prednosti koje nosi upotreba zaštitnih vodiča od vodljivijih materijala (Al Mag, Al Če). Dobivaju se znatno niži redukcionni faktori, te niže impedancije uzemljenja u odnosu na nadzemne vodove sa zaštitnim vodičima od čelika. S druge strane, kod izbora presjeka zaštitnog vo-



Slika 7. Impedancija uzemljenja 35 kV nadzemnog voda



Slika 8. Impedancije uzemljenja nadzemnih vodova 20 kV s uzemljivačkim vodičem

diča od vodljivijeg materijala (Al Mg, Al Če) nije nužno odabrati velike presjeke jer oni ne smanjuju bitno niti redukcione faktore, niti impedancije uzemljenja u odnosu na male presjeke istog materijala. Ovu činjenicu treba uzeti u obzir pri projektiranju nadzemnog voda kako ne bi došlo do nepotrebnog povećanja troškova izgradnje. Povoljna je okolnost to da troškovi zaštitnog vodiča veoma malo sudjeluju u ukupnoj cijeni izgradnje nadzemnog voda, a to govori u prilog uvođenju zaštitnih vodiča od vodljivijih materijala.

LITERATURA

- [1] FILIPOVIĆ B.: »Proračun parcijalnih struja jednog polnog kratkog spoja«, I dio »Elektroprenos«, Zagreb, 1976.
- [2] NAHMAN J.: »Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža«, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [3] FILIPOVIĆ B.: »Proračun parcijalnih struja jednog polnog kratkog spoja mjerodavnih za dimenzioniranje uzemljivača«, studija Instituta za elektroprivredu, Zagreb, 1981.
- [4] ŽUTOBRADIĆ S.: »Metode proračuna složenih uzemljivača«, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1982.
- [5] ŽUTOBRADIĆ S.: »Ekonomska opravdanost uzemljenja zvjezdišta SN mreže u uvjetima lošeg specifičnog otpora tla s obzirom na nulovanje kao zaštitnu mjeru na niskom naponu«, studija IE, Zagreb, 1986.

CONDITION OF OVERHEAD LINES IN A GROUNDING SYSTEM

In the article is described condition of overhead lines in a grounding system. Presented is a method for calculation of characteristic values. Some results of reduction factors are presented as well as grounding impedance of 110,35 and 20 kV overhead lines.

LAGE DER AUßERHALB DER ERDE GELEGTEN LEITUNGEN IM SYSTEM DER ERDUNG

Im Artikel wird die Rolle der außerhalb der Erde gelegten Leitungen im System der Erdung beschrieben. Man erklärt die Berechnungsart der charakteristischen Größen. Beigelegt wurden die Resultate der Berechnung der Reduktionsfaktoren sowie die Impedanz der Erdung der außerhalb der Erde gelegten Leitungen.

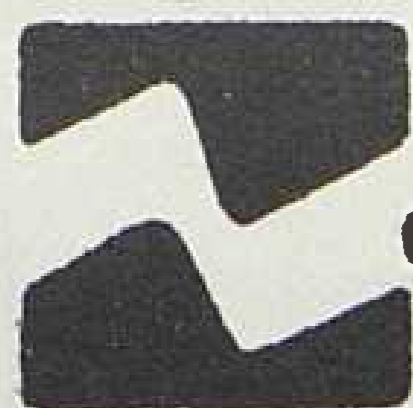
ПОЛОЖЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОВОДОВ В СИСТЕМЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

В статье описана роль воздушных проводов в составе заземления. Изложен способ расчета характерных величин. Предлагаются результаты расчета редукционных факторов, а также полное сопротивление воздушных проводов 110, 35 и 20 кВ.

Naslov pisca:

mr Srđan Žutobradić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1986 – 09 – 10



elektrolux - rijeka

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

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

U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

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

RO ELEKTROLUX

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR Elektroprenos

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:

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

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

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

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

JUBILEJ »ELEKTROSLAVONIJE«

Razvoj elektrifikacije Slavonije

Svečanom sjednicom radničkog savjeta 20. prosinca 1986. je obilježena 60-godišnjica elektrifikacije Osijeka i Slavonije. Svečanosti su pristustvovali članovi kolektiva, predstavnici društveno-političkih organizacija, elektroprivrednih i drugih organizacija. U opširnom referatu je prikazan razvojni put »Elektroslavonije« koja danas zapošljava 2500 radnika i djeluje na području Slavonije i Baranje.

Prvi počeci elektrifikacije javljaju se u Đurđenovcu 1891. godine, zatim u Vukovaru 1909, Slavonskoj Požegi 1912., Našicama 1917, Slav. Brodu i Vinkovcima 1926. godine, i tako redom.

Godine 1920. je donesena odluka o gradnji električne centrale u Osijeku s dva turboagregata »Škoda« koja je puštena u rad 1926. godine.

Od oslobođenja do danas kolektiv je prošao brojne faze organiziranosti. Osječka termoelektrana počela je djelovati pod nazivom »Munjara i tramvaj«, da bi se zatim udružila s poduzećem »Vodovod i plinara«. Međutim već 1. siječnja 1948. godine izdvaja se iz sastava komunalnih organizacija i postaje podružnica ELPOH-a. Već naredne godine poduzeće se osamostaljuje i dobija naziv »Elektroslavonija« — poduzeće za elektrifikaciju Slavonije. Od 1952. godine »Elektroslavonija« se udružuje u Zajednicu elektroprivrednih organizacija Hrvatske.

Za početak suvremene elektrifikacije uzima se kraj 1956. godine, jer tada je Slavonija priključena na 110 kV sisteme tj. izgrađene su TS 110/35 kV Slav. Brod i Osijek, te DV 110 kV Dobojslav. Brod-Osijek i Lukavac-Vinkovci-Osijek.

Od 1976. do 1986. godine bilo je također organizacijskih promjena i transformacija od formiranja SOUR-a sa tri radne organizacije do današnje organizacije kada Radna organizacija »Elektroslavonija« ima 11 OOUR-a i 1 radnu zajednicu.

Proizvodnja električne i toplinske energije

Proizvodnja električne energije u Osijeku je započela u staroj Elektrani 1926. godine. Postrojenja su stavljena izvan funkcije 1963. godine i stara »Elektrana« je pretvorena u gradsku Toplanu. Proizvodnja električne energije je obnovljena 1976. godine puštanjem u rad Plinsko-turbinske elektrane na Zelenom polju sa dva plinsko turbinska agregata snage po 25 MW. Agregati su visoko automatizirani, kao gorivo koristi se lako loživo ulje i zemni plin. Kako je izlazna temperatura iz plinskih turbina dosta visoka, ugrađen je jedan kotao na otpadnu toplinu za proizvodnju tehnološke pare. Tim kotlom i ostalom izgrađenom infrastrukturom i pomoćnim postrojenjima, stvorena je osnova za novu Toplanu za opskrbu grada toplinskom energijom.

U daljnjem razvoju proizvodnje električne energije i toplinske energije pušten je u rad 1985. godine na lokaciji uz Plinsko turbinsku elektranu Osijek toplinski blok električne snage 45 MW i toplinske snage 140 MW, kao gorivo koristi se zemni plin i teško ulje. Ovaj blok radi u spojnom procesu, što znači da se u istom procesu proizvodi i električna i toplinska energija. Ovo postrojenje počeo će se u potpunosti eksploatirati od 1987. godine kada će biti završen vrelovod

kojim će se toplina dovesti do Toplane, Oreškovića ul. 13, a odatle slati potrošačima toplinske energije.

U cilju omogućavanja uvjeta za priključenje novih potrošača, te redovne i kvalitetne opskrbe postojećih potrošača toplinske energije, u proteklom razdoblju došlo je do znatnije izgradnje toplinske mreže i odgovarajućih toplinskih stanica, a izvršene su i rekonstrukcije postojeće mreže.

Krajem 1985. godine ukupno je bilo 7740 stambenih, poslovnih i tehnoloških potrošača, što predstavlja udvostručenje u proteklih deset godina.

Elektroprijenosni objekti

Uz razvoj »Elektroslavonije« razvijala se i jačala elektroprenosna mreža, što je posebno došlo do izražaja prije deset godina. Osnovni pokazatelji rada i razvoja prijenosne mreže, »Elektroslavonije« u razdoblju od 1975. do 1985. godine su:

- gotovo je udvostručena prenesena električna energija za potrebe distributnih i direktnih potrošača na područje Slavonije,
- od 1977. godine ostvaruje se i tranzit električne energije tom mrežom za potrebe drugih područja Jugoslavije,
- vršno opterećenje mreže je gotovo udvostručeno, a duljina dalekovoda 110, 220 i 400 kV u tom razdoblju također je udvostručena i instalirana snaga transformatora 110/35 kV je znatno ojačana,
- broj transformatorskih stanica 110/35 kV u mreži povećan je za 50 posto,
- polovina transformatorskih stanica u mreži pripremljena je za daljinsko vođenje iz Centra daljinskog upravljanja, te se takav pogon djelomice proizvodi.

I. R.

BOROVO DOBIVA NOVU TOPLANU

Kombinat Borovo kao jak potrošač toplinske i električne energije usvojio je program gradnje vlastite toplane-termoelektrane. Potkraj studenog prošle godine počela je gradnja toplane-termoelektrane koja bi trebala biti završena do 1990. godine, i to prva etapa s jednim kotlom od 100 tona pare na sat i turboagregatom 25 MW. To bi podmirilo potrebe proizvodnih pogona, pošto su sadašnja energetska postrojenja u »Borovu« uvelike prešla radni vijek. Novi energetski objekt će trošiti godišnje 130.000 tona ugljena iz srednjobosanskih ugljenokopa. Ta količina ugljena zamjenjuje potrošnju 15 tisuća tona mazuta.

U prvoj etapi obaviti će se radovi u vrijednosti 60 posto od ukupne investicije. U drugoj i trećoj etapi predviđena su još dva kotla, proizvodnih mogućnosti po 100 tona pare na sat i s jednim protutlačnim turboagregatom 10 MW. Nova energana će omogućiti da se podmire potrebe proizvodnih pogona kombinata, naselja i nekih drugih društvenih objekata i to tehnološkom parom, toplinom za grijanje, sanitarnom toplom vodom i električnom energijom. Potpuno sagrađena TO-TE Borovo trošiti će godišnje oko 270 tisuća tona ugljena.

U investicijama nove TO-TE Borovo sudjeluje i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske s oko 38 posto, što

obvezuje TO-TE na godišnju isporuku 87,5 GWh električne energije elektroenergetskom sistemu Hrvatske. U osiguranju investicija sudjeluju RO »VUPIK« i vukovarske društveno-političke zajednice.

I. R.

PROIZVODNJA UGLJENA

Strategija razvoja energetike u SR Hrvatskoj utvrđena Društvenim planom temelji se na što većem korištenju domaćih resursa. Prema današnjoj situaciji u eksploataciji je u Hrvatskoj ugljenokop »Raša« čija je godišnja proizvodnja kamenog ugljena oko 250.000 tona i koristi se gotovo isključivo za proizvodnju električne energije u TE Plomin. Vrlo male količine ugljena daje rudnik u Koprivnici za potrebe svog područja.

Godišnje potrebe u SR Hrvatskoj za potrebe industrije, široke potrošnje i prometa iznose oko 1.500.000 tona ugljena.

Poslovna zajednica za proizvodnju i promet ugljenom Hrvatske sklopila je samoupravne sporazume s rudnicima odnosno udruženjima rudnika iz SR Bosne i Hercegovine i SR Slovenije, za osiguranje potrebnih količina ugljena za potrošače, a dio ugljena osigurava se i uvozom (antracit i briketi).

Prema tim sporazumima SR Hrvatska je financirala otvaranje rudnika u SR Bosni i Hercegovini u razdoblju od 1981. do 1985. godine. Iako su sredstva prema samoupravnim sporazumima u potpunosti podmirena dobava ugljena iz SR Bosne i Hercegovine ne odvija se po planu. Iznosi oko 80 posto od planiranog što ne zadovoljava tekuće potrebe. Nove isporuke iz te republike uvjetuju se trajnim ponovnim angažiranjem sredstava za razvoj rudnika prema isporučenoj količini ugljena.

Da bi se poboljšala opskrba ugljenom i drugim energentima za potrošače u SR Hrvatskoj izrađen je program istraživanja ugljena, nafte i plina na području republike.

Usvojen je i program preorijentacije potrošača s tekućih na kruta goriva. Za realizaciju tih programa planirana su ulaganja u iznosu od dvije milijarde i 590 milijuna dinara. U razdoblju 1981. do 1985. godine obavljeno je više geoloških istražnih radova za utvrđivanje rezervnih količina lignita i mrkog ugljena. Ti radovi obuhvatili su dijelove sjeverne Dalmacije, Hrvatskog Zagorja, te područje Koprivnice, Bjelovara, Požeške gore i dr. Istražni radovi nastaviti će se i u novom srednjoročnom planu 1986. do 1990. godine. U financiranju radova sudjeluje i elektroprivreda Hrvatske.

I. R.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA URANA

Nastavak plana istraživanja urana na području SR Hrvatske u 1986. godini obuhvaća utvrđivanje urana na Papuku i dobivanje koncentrata iz pepela raškog ugljena. Provedena istraživanja u Raši dala su sljedeće rezultate:

- u potpunosti je izvršena analiza rezultata mjerenje na poluindustrijskom postrojenju. Izvedena analiza je omogućila izradu osnovne tehnološke sheme. Rezultati su dostavljeni projektantima i stručnim recenzentima.
- Završena je izrada tehnološke sheme. Postupak dobivanja urana iz pepela ugljena uz korištenje SO₂ je u potpunosti razvijen i patentno zaštićen.
- Izvršena je novelacija predinvesticijske studije od 1983. godine na sadašnje stanje uz korištenje dobivenih rezultata na poluindustrijskom postrojenju. Stručna komisija je predloženu novu studiju ocijenila vrlo povoljno, naročito s ekonomskog aspekta.

Na području Papuka provode se posljednjih godina sistematska istraživanja urana. U razdoblju 1982. do 1985. godine izvršen je program terenskih radova na 36 bušotina. U toku 1986. godine izvršen je program terenskih radova na 36 bušotina. U toku 1986. godine organiziran je rad na sređivanju i obradi svih do tada raspoloživih podataka (oko 12.000) uz nova sedimentološka i geokemijska istraživanja. Na temelju ove obrade, odredit će se daljnji tok istraživanja na Papuku.

Istraživanja urana na području Hrvatske vodi elektroprivreda Hrvatske koja je i osigurala financijska sredstva.

I. R.

NOVA RJEŠENJA ISKORIŠTENJA DRAVE

Privredna komora Hrvatske je predložila nekoliko proširenih kapitalnih projekata za njihovo što brže ostvarenje. U program su uključeni projekti »Lonjsko polje«, »Drava« i »Jadranski program« u koje treba uložiti oko 210 milijardi dinara.

Za elektroprivredu Hrvatske je privlačan i vrijedan projekt energetske iskorištenje sliva rijeka Drave, Mure i Dunava na području republike. Rješenje projekta »Drava« ima višenamjenski karakter uz dobivanje električne energije još i navodnjavanje, uklanjanje voda s naplavljenih površina, i dr.

Drava teče kroz Italiju gdje izvire, zatim Austriju, Sloveniju i Hrvatsku. U Austriji je energetska potencijal Drave gotovo u cjelosti iskorišten, u Sloveniji je sagrađeno deset elektrana, ukupne instalirane snage 518 MW, dok su u Hrvatskoj sagrađene tek dvije HE Varaždin, snage 86 MW i HE »Čakovec« snage 78 MW. Na »Srednjoj Dravi« u gradnji je HE »Dubrava«, čiji je završetak predviđen 1990. godine.

Hidroenergetski potencijal Drave u SR Hrvatskoj procijenjen je na oko 2965 milijuna kWh električne energije. Srednja godišnja proizvodnja na HE Varaždin i HE »Čakovec« danas iznosi oko 895 milijuna kWh što znači da je vodotok Drave iskorišten svega 30 posto. Puštanjem HE »Dubrava« u rad, iskorištenje Drave povećalo bi se na 44 posto.

Zajednička gradnja

Na pograničnom dijelu »Donje Drave« zajednički s elektroprivredom NR Mađarske planira se gradnja četiri vodne stepenice: VS Đurđevac, snage 145 MW, VS »Barcs« snage 72 MW, VS »Donji Miholjac« 72 MW i VS »Osijek« 52 MW. Na ova četiri energetska objekta mogla bi se ostvariti godišnja prosječna proizvodnja oko 1.660 milijuna kWh električne energije, od čega bi pripalo oko 74 posto Jugoslaviji i 26 posto NR Mađarskoj.

Projektirane vodne stepenice »Đurđevac«, »Barcs«, Donji Miholjac i Osijek po svome karakteru trebaju biti višenamjenske, što znači da se osim proizvodnje električne energije rješavaju i problem obrane od poplava, regulacija plovidbe, odvodnjavanje i natapanje poljoprivrednih površina, opskrba vodom, a stvaraju mogućnosti razvoja ribogojstva, lovstva, turizma i dr.

U realiziranju usvojenog programa o osiguranju investicionih ulaganja sudjelovat će Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske i elektroprivreda NR Mađarske, te vodoprivredna zajednica Hrvatske i zajednica općina Osijek, Bjelovar i Varaždin.

Projektne organizacije »Elektroprojekt« i Institut za elektroprivredu iz Zagreba, te projektna organizacija »Viziterv« iz Budimpešte preuzeli su izradu konačne investicione dokumentacije.

I. R.

Organizacija radova na pojedinim gradilištima buduće dravske HE »Dubrava« obilježena je dobrim rezultatima. Na objektu su razvijeni intenzivni građevinski zahvati na strojarnici, čvoru zahvata, brani i derivacijskom kanalu.

Na strojarnici nakon završenog iskopa jame u kolovozu prošle godine, započelo se sa betoniranjem donje ploče strojarnice. Na brani poslije završenog zagata i armirano-betonskih zastora na brani, te prve etape iskopa građevne jame otpočela je druga etapa iskopa jame brane. Uz radove na strojarnici i brani otpočeli su poslovi na dovodnom i odvodnom derivacijskom kanalu, dužine 2 km, rade se nasipi. U četvrtom tromjesečju 1986. godine započelo se s pripremom podloge za asfaltiranje vodne strane na dovodnom kanalu. Na odvodnom kanalu, dužine 4,8 km, rade se nasipi i uređuje korito kanala.

Za akumulacijski bazen rade se lijevi i desni obodni nasipi. Na odvodnom kanalu sagrađena su dva mosta, svaki dugačak 100 metara. Izvođači građevinskih radova su zagrebačke građevinske radne organizacije »Hidroelektra« i »Vladimir Gortan«, zatim GIK »Međimurje« Čakovec i dr.

Isporučiocima opreme su domaći proizvođači strojogradnje i elektroindustrije »Duro Đaković«, »Litostroj«, Metalna Maribor, Rade Končar i dr. Izrada opreme se odvija prema planu isporučioaca.

U gradnji HE »Dubrava« angažirani su i brojni stručnjaci koji su gradili HE »Varaždin« i HE »Čakovec«. Te stručne ekipe već vrše pripreme za gradnju četvrte dravske hidroelektrane »Đurđevac« čija će gradnja vjerojatno početi već 1987. godine.

U prosincu 1986. godine »Elektroprivreda« Zagreb i tvornica »Rade Končar« zaključili su novi ugovor za isporuku elektroopreme za HE »Dubrava« na Dravi.

Novi ugovor odnosi se na blok-transformator 43 MVA, ras-klopno postrojenje 110,35 i 6,3 kV, diesel agregat, uređaj za automatsko upravljanje promaster sistema, te uređaj za mjerenje i zaštitu i telekomunikacije. Vrijednost navedene opreme je 2,7 milijardni dinara, a rok isporuke po principu »ključ u ruke« je 25 mjeseci. Promaster sistem je najsuvremenije tehnologije i prvi se put upravo koristi u HE »Dubrava«. U travnju prošle godine »Rade Končar« je ugovorio s »Elektroprivredom« Zagreb isporuku dvaju generatora snage 42 MVA.

I. R.

Početkom prosinca 1986. godine u Nuklearnoj elektrani »Krško« je završen rad posebne stručne komisije — ASSET — Međunarodne atomske agencije, koja se u toku dva tjedna bavila analizom svih zabilježenih kvarova i procjenom sigurnosti rada naše nuklearke. Članovi Komisije i predstavnici NE »Krško« napravili su preliminarni izvještaj. Iz izvještaja se može zaključiti da u NE »Krško« dosad nije zabilježen ni jedan opasniji kvar. Članovi komisije će upotpunjen izvještaj poslati jugoslavenskoj vladi, na čiji su poziv i stigli u Krško. Izvještaj Komisije demantira svaku sumnju u siguran rad naše nuklearke.

Uz strane stručnjake u tome su sudjelovali i domaći stručnjaci.

Strani eksperti su odali priznanje na dobrom radu zaposlenih stručnjaka u nuklearnom postrojenju »Krško«.

I. R.

TE PLOMIN 2 — ODOBRENA GRADNJA

Nakon višemjesečnog zastoja u pripremi gradnje termoelektrane Plomin 2, izazvanog prošle godine intervencijom delegata Sabora SR Hrvatske u vezi s primjenom tehnologije odsumporavanja, nedavno je izdana građevinska dozvola za početak gradnje glavnih objekata.

Investitor gradnje odmah je raspisao međunarodni natječaj za izbor tehnologije odsumporavanja dimnih plinova. Za gradnju toga postrojenja prema današnjim procjenama utrošit će se oko 100 milijuna dolara. Osim ugovaranja isporuke takvih uređaja radi se na preostalim pripremnim radovima za početak glavnih građevinskih poslova, sređivanja tehničke dokumentacije, kontaktiranju s domaćim proizvođačima ugovorene opreme, osiguranju investicionih sredstava, i dr.

Desetomjesečni zastoj u pripremanju gradnje uzrokovao je produženje rokova za gotovo dvije godine. Povećala su se i ulaganja u gradnju termoelektrane i pratećih objekata od 60 milijardi dinara na oko 140 milijardi.

Uz usporeni nastavak pripremnih radova na termoelektrani Plomin 2 nastavljaju se i istražni radovi na budućem ugljenokopu u Koromačnom.

I. R.

TRAŽE SE NOVA TRŽIŠTA ZA GIPS

Na prošlogodišnjem kolokviju njemačkog TUV-a »Tehnika loženja i zaštita čovjekove sredine« mogla su se vidjeti zabrinuta lica prisutnih. Problematika i nije bila nova; odavno se već zna da čisto nebo iznad termoelektrana košta ogromne sume novca.

Uz sve ostale brige neizbježna je činjenica da će se uz postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova pojaviti i ogromne količine gipsa.

Osim postrojenja za odsumporavanje s gipsom kao krajnjim proizvodom energetičari nemaju baš mnogo drugih alternativa. Postoji čišćenje dimnih plinova sa amonijakom, kod čega se kao krajnji proizvod dobiva umjetno gnojivo amonijačni sulfat. Kao treća mogućnost razvijen je postupak pranja kod kojeg nastaje sumpor ili sumporna kiselina.

Zajednički odbor po imenom »Otpadne tvari u termoelektranama na ugljen«, u kojem je zastupljeno Udruženje njemačkih elektrana (VDEW) i Tehnički savez korisnika velikih elektrana (VGB) utvrdili su jedinstveno: Većina tvrtki odlučila je da se kod odsumporavanja primijeni pranje dimnih plinova uz dodavanje vapnenca. Oko 94 posto »odsumporene« instalirane snage koristit će postrojenje koje se je, do sada jedino, pokazalo doraslim za veliku tehničku primjenu.

Korisnici elektrana ne znaju što će s gipsom. Umjesto da se ovaj problem i njegovo rješavanje prebacuje od jedne zainteresirane grupacije na drugu, svi zajedno učinili su nešto razumnije: Sjeli su zajedno za stol i pokazali dobru volju. Rezultat tih napora danas stoji na raspolaganju svima koji to žele. Naslov elaborata glasi: »Koncept iskorišćavanja otpadnih materijala iz termoelektrana na ugljen, Dio I: Gips dobiven odsumporavanjem dimnih plinova.«. Svoj doprinos u izradi ovog elaborata dalo je Udruženje industrije gipsa i gipsanih proizvoda, Udruženje njemačke industrije cementa i Udruženje tvornice cementa.

Gips iz dimnih plinova brzo se gomila

Koncept iskorišćavanja upućuje na očekivane količine gipsa, koje se dobivaju u postrojenjima za odsumporavanje dimnih plinova (tzv. REA-gips). Udio REA-gipsa iz termoelektrana na kameni ugljen naglo će porasti od oko 0,4 milijuna tona u 1985. na oko 2,5 milijuna tona u 1990. godini. Iz termoelektrana na mrki ugljen dobivat će se 1990. godine dodatnih 1,4 milijuna tona REA-gipsa, počevši od 1987/1988 godine.

To je oko jedan milijun tona godišnje više nego je iznosila ukupna potrošnja ovog proizvoda u SR Njemačkoj 1983. godine. Udruženje industrije gipsa i gipsanih ploča upozorava da je industrija gipsa morala 1985. godine smanjiti proizvodnju za 20 posto. Kod toga su u svojoj proizvodnji prošle godine upotrijebili oko 2,2 milijuna tona prirodne gipsane sirovine i osim toga oko 100.000 Tona REA-gipsa.

Sadašnja teška situacija u građevinarstvu ne obećava da će se uskoro povećati potrebe u sirovini za tradicionalne proizvode od gipsa.

Poteškoće s ponudom i potražnjom

Poteškoća je u tome da se ponuda i potražnja prostorno i vremenski ne podudaraju. Većina njemačkih tvornica proiz-

voda od gipsa, koje bi mogle preuzeti REA-gips smješteno je u blizini prirodnih izvora te sirovine (Baden-Württemberg, Saarland, Franken, Süd-Niedersachsen i Nord-Hessen). Proizvođači REA-gipsa uglavnom se nalaze u Nordrhein-Westfalen, pa bi se velike količine ove nove sirovine (iz TE na kameni ugljen) morale transportirati iz jednog na drugi kraj zemlje.

Potražnja proizvoda od gipsa i vršna proizvodnja električne energije (s najvećim količinama REA-gipsa) vremenski se ne poklapaju. Ta vremenska razlika zahtijeva međuskladištenja, a za to je potreban prostor i novac.

Proizvođači gipsa i cementa suglasni su u tome da se REA-gips može koristiti samo ako je po cijeni i kvalitetu jednak prirodnom gipsu. Osim toga, proizvođači tvrde da svaki gips nije pogodan za postojeće proizvodne postupke. U prirodi se gips pojavljuje kao dihidrat sa dvije molekule kristalne vode ili potpuno bez kristalne vode kao anhidrit. Takvim sirovinama prilagodili su se današnji proizvođači.

Proizvođači cementa dodaju cementnom klinkeru oko pet posto gipsa, kao regulator skrućivanja, prije mljevenja. U posljednje vrijeme tvornice cementa sve više koriste anhidrit tako da se najviše može zamijeniti samo polovica dodatka s REA-gipsom. U tvornicama cementa tvrde da se teškoće javljaju prije svega zbog konzistencije vlažnog sitnozrnastog REA-gipsa, s 10 posto vlažnosti.

REA-gips se mora prerađivati da bi po kvaliteti i obliku odgovarao prirodnom gipsu, kojeg ima u SR Njemačkoj dovoljno na raspolaganju. Razvijena su postrojenja za sušenje i briketiranje REA-gipsa. Takvi su uređaji već u pogonu pokraj brojnih termoelektrana. Tako prerađen REA-gips postaje sirovina jednaka prirodnom gipsu, i već se koristi u nekim tvornicama cementa i proizvoda od gipsa.

Postojeća industrija gipsa je ta koja može iskoristiti REA-gips. To se, jasno, odnosi samo na količine koje se dobivaju u termoelektranama na kameni ugljen. Za daljnjih 1,4 milijuna tona REA-gipsa iz termoelektrana na mrki ugljen ne postoje potrebe u industriji građevnog materijala. Za te nove količine moraju se pronaći nova tržišta i područja primjene, koja se nalaze izvan industrije građevinskog materijala.

Nade se polažu i u dnevne kopove mrkog ugljena. Mnogi, naime, misle da se REA-gips (kao stabilizator) pomiješan s pepelom može dobro iskoristiti za rekultivaciju tla. Još nešto određeno u tom pogledu nije učinjeno. Bolji su izgledi za primjenu u podzemnim rudnicima. Rudari namjeravaju upotrijebiti REA-gips za ispuhivanje i kao primjesu (kontaminant) za ispunu galerija i hodnika. Još se očekuju rezultati studija, koje trebaju potvrditi da li je to tehnički moguće. Istovremeno se vrše i radno-higijenska ispitivanja pa postoje dobri izgledi da će se REA-gips uskoro upotrijebiti u jamskim rudokopima.

Maschinenmarkt, Würzburg 92 (1986)26

Željko Medvešek

KANADA — POTVRĐENE ZNATNE REZERVE NAFTE

Prema mišljenju »Gulf Canada Ltd.«, potvrdnom bušotinom »Amauligak I-65« nabušena je naftonosna formacija koja će imati veliko značenje za proizvodnju nafte u Beauportovom moru. Potencijal otkrivenih rezervi nafte procje-

njuje se između 700 i 800 milijuna barela, a rezerve se nalaze u razmjerno lako dostupnoj strukturi. Bušotina I-65 nalazi se 2,5 milje sjeverozapadno od bušotine J-44, gdje je konzorcij kome pripada »Gulf Canada Ltd.« prvi put u području koncesije naišao na naftu. Bušotina J-44 bila je testirana na protočnu količinu 5 173 barela/dan sirove nafte, a proizvodni potencijal bio je procijenjen na 13 600 barela/dan. Dopunska bušotina, izvedena iz bušotine I-65, treba ispitati daljnje naslage.

(Kanada. Bedeutende Ölreserven bestätigt. *Erdöl und Kohle — Erdgas*, 39, 1986, 6, 259.)

Dr Z. Krulc

POMANJKANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŠVICARSKOJ

Početak devedesetih godina Švicarska će morati svaki šest kWh uvoziti iz inozemstva, prvenstveno iz Francuske. Ovaj gubitak švicarske autonomije u opskrbi električnom energijom rezultat je velikog zakašnjenja u postupku odobrenja za gradnju nuklearne elektrane Kaiserangst. Već su 1985. godine različita elektroprivredna poduzeća ugovorila dobavu električne energije iz Francuske. Švicarska elektroprivredna poduzeća (VSE) očekuju ovu ovisnost od inozemstva sa zabrinutošću, jer se takvo rješenje ne može smatrati optimalnim niti s gospodarskog niti s energetske stanovišta.

Elektrizitätswirtschaft 85/1986/, br. 15

Mrk.

MODELIRANJE ZAPADNOEVROPSKOG ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA (UCPTE)

U zapadnoevropskom elektroenergetskom sistemu, osim stalnih promjena opterećenja, često nastaju i veći kvarovi. Dok pri kontinuiranim promjenama opterećenja nastaju promjene frekvencije od nekih 10 m Hz, u slučaju naglog ispada 1000 MW do 2000 MW frekvencija padne od 75 mHz do 150 mHz, ovisno o trenutnom stanju sistema. Osim toga, u izvjesnim pogonskim prilikama može doći i do značajnih njihanja snage.

Ispoljavanje ovakvih naglih ili povremenih pojava može se danas modelirati i računati pomoću računala. Međutim, ako se obuhvate samo određena područja unutar zapadnoevropskog sistema ne mogu se dobiti potrebni podaci za analizu kvarova. Da bi se mogla provesti istraživanja pomoću simulacije potreban je mrežnodinamički model s pripadnim sistemom programa koji će dovoljno točno obuhvatiti zajedničko djelovanje elektrana, mreže i konfiguraciju potrošača. Naravno da su za to potrebni brojni statički i dinamički parametri modela.

Detaljni dinamički model zapadnoevropskog sistema daljnja je nadgradnja dvaju jednostavnih modela koji su razvijeni na sveučilištu u Stuttgartu. Podaci su prvenstveno dobiveni iz evropskog dispečerskog centra u Laufenburgu. Modelom je obuhvaćeno cijelo UCPTE područje, tj. cijela srednja Evropa sa Pirinejskim, Apeninskim i Balkanskim poluotokom. Uključeno je:

413 proizvodnih blokova
689 dinamičkih opterećenja
984 čvorova
1755 što vodova, što transformatora.

Ukupna vršna snaga proizvodnih jedinica iznosila je oko 200 000 MW. U tome je Jugoslavija prikazana sa 60 čvorova, 25 proizvodnih blokova i vršnom snagom od 9722 MW.

Opisano je nekoliko ispitivanja provedenih tim modelom.

1. U veljači 1984. iskopčana je nuklearna elektrana Krümmel (1300 MW) jugoistočno od Hamburga, pa su uspoređena mjerenja u mreži i rezultati simulacije u pogledu promjene frekvencije i toka snaga. Mjerna frekvencija i ona dobivena simulacijom vanredno su se slagale. Snage razmjene prilično su se podudarale kad su se korigirale razlike nastale zbog vremenskih zatezanja u dobivanju podataka.
2. U veljači 1985. istovremeno je u Francuskoj iskopčano nekoliko proizvodnih blokova, ukupne snage 5000 MW, pri snazi sistema 175.000 MW. Mjerenja su ipak pokazala da iskopčanja nisu bila strogo jednovremena već u razmacima po nekoliko sekundi. Uzimajući to u obzir moguće je bilo simulacijom ustanoviti posljedice ispada u svim dijelovima sistema i to frekvencije, generatorske snage i tokova.
3. Slijedeće se ispitivanje odnosilo na ispad voda 400 kV između Španjolske i južne Francuske. Tada se ukupno prenosilo u Francusku oko 700 MW. Kako se tim ispadom znatno povećala međuiimpedancija veze Španjolska—Francuska nastalo je veliko kolebanje frekvencije i snage u različitim dijelovima sistema. Prikazano njihanje snage pomoću modela nešto je više bilo prigušeno nego u prikazu rekonstrukcije kvara.

Dosadašnja ispitivanja mreža bila su većinom statička i nisu mogla obuhvatiti dinamičke pojave. S mrežnim dinamičkim modelom prilike se mogu simulirati od 0,1 do 1 sekunde. Tim se modelom mogu tumačiti i rješavati mnogobrojne dinamičke pojave i kvarovi kao:

- objašnjenje mrežnih stabilizatora,
- objašnjenje ponašanja bloka turbina—generator u udarnim momentima,
- utvrđivanje unutrašnjeg koncepta regulacije elektrane.

Prilikom planiranja mreže model se može koristiti:

- za utvrđivanje topologije mreže i učvorenja koja su nužna iz dinamičkih razloga,
- za pitanje ugradnje stabilizatora i visokonaponskih istosmjernih veza,
- za utvrđivanje koncepta regulacije,
- za utvrđivanje koncepta zaštite i mjernog udešenja.

Model može osobito dobro poslužiti pri pogonu mreže gdje su potrebne brze odluke. Može se modelom izračunati:

- za svaki moment potrebna rezerva u aktivnoj i reaktivnoj snazi, s gledišta dinamičkih, statičkih i ekonomskih potreba,
- s gledišta dinamičkih, statičkih i ekonomskih potreba,
- potrebno poduzimanje mjera pri nenadanim njihanjima u mreži,
- potrebno poduzimanje mjera u slučaju početka velikih smetnji i popratnih havarija.

Opisanim se modelom već godinama na sveučilištu u Stuttgartu rješavaju dinamički problemi mnogih evropskih i izvanevropskih mreža.

Prema:

Regelverhalten des werteuropäischen Verbundnetzes
Elektrizitätswirtschaft 85/1986/ br. 20

Mrk.

ZRCALNI KONCENTRATORI ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

U okviru njemačko-saudijsko naučne suradnje izrađena su u Stuttgartu velika zrcala koja će koncentrirati sunčevu energiju za dobivanje električne struje. Uređaj je projektiran i građen tri godine. Sada je postavljen kraj Rijada u Saudijskoj Arabiji. Do kraja 1987. godine bit će u pokusnom pogonu.

Zrcalo je izrađeno od posebne metalne membrane, a ima promjer 17 m.

Vršna snaga uređaja iznosi 50 kW. Stirlingov pretvarač energije s generatorom smješten je u žarište konkavnog zrcala. Radna mu je temperatura 700 °C, uz tlak od 160 bara. Uređaj radi s koeficijentom iskorištenja od 23% i smatra se najvišim što je u svijetu podignut za solarne elektrane.

Zrcalo se tokom cijelog dana automatski okreće prema suncu.

Uređaj je predviđen za opskrbu oaza električnom energijom, a zbog svoje konstrukcije i cijenom dostupan zemljama u razvoju.

Elektrizitätswirtschaft 85/1986/, br. 20

Mrk.

PORAST POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NJEMAČKIM KUĆANSTVIMA

U Njemačkoj se 26 milijuna kućanstava opskrbljuje iz javne električne mreže. Godine 1985. u kućanstvu je potrošeno 96 TWh, što iznosi 30% električne energije iz javne mreže. 5 godina prije potrošak je iznosio 85 TWh, također 30% neto potrošnje. U njemačkim se kućanstvima iz godine u godinu sve više šteti, pa su porasti potrošnje sva manji, kako proizlazi iz slijedećeg pregleda.

Razdoblje	Prosječni porast
1960–65.	13,0 %
1965–70.	12,7 %
1970–75.	9,3 %
1975–80.	4,9 %
1980–85.	2,6 %

Elektrizitätswirtschaft 85/1986, br. 20

Mrk.

PLIN ZA SREDNJU EVROPU IZ NORVEŠKOG PODMORJA

Završeni su pregovori o do sada najvećem projektu za opskrbu zapadne Evrope zapadnoevropskim plinom. U ime proizvođača nastupilo je norveško državno poduzeće za ulje i plin Statoil, a u ime potrošača Ruhrgas A. G. Potrošači će biti poduzeća za opskrbu plinom u SR Njemačkoj, Belgiji, Francuskoj i Nizozemskoj. Dobava plina trebala bi početi 1993. U godini 2000. godišnje bi dobava iznosila 20 milijardi m³.

Danas je udio norveške dobave plina SR Njemačkoj oko 13%, a očekuje se 20%. Plin se dobavlja podzemnim plinovodom iz bušotina Heimdal, blizu norveške obale, do Emdena u Njemačkoj. Da se provede novi projekt Norveška će razviti plinsko polje Troll, udaljeno oko 100 km sjeverozapadno od Bergena i oko 900 km od Emdena. rezerve plina cijene se na 1300 milijardi m³. Ovo je uz polje Gromingen u Nizozemskoj najveće plinsko polje zapadne Evrope. Dubine su između 300 i 340 m što traži daljnji razvoj tehnologije bu-

šenja, jer su dosadašnje bušotine u Sjevernom moru ležale na dubini do 200 m. Razvijat će se također polje Sleipner, 300 km južno od Trola. Za ove nove potrebe predviđen je podzemni plinovod Troll – Sleipner – Zeebrugge (Belgija) i Troll – Heimdall sa spojem na postojeći plinovod do Emdena (SR Njemačka). Duljina podzemnog plinovoda Sleipner – Zeebrugge iznosio bi 800 km.

Ugovore o dobavi plina mora još odobriti norveška vlada i parlament. Nastoji se da to bude provedeno do kraja ove godine.

Elektrizitätswirtschaft 85/1986/, br. 21

Mrk.

NAJVEĆA EVROPSKA SOLARNA ELEKTRANA SA SOLRANIM ČELIJAMA

Na otoku Pellworm u Sjevernom moru izgrađena je solar- na elektrana za direktnu pretvorbu solarne energije u električnu. Površina koju zauzimaju ćelije iznosi 16.000 m², što po prilici iznosi površinu dvaju nogometnih igrališta. Snaga je elektrane 300 kW, što je tek 2300. dio snage moderne termoelektrane.

Elektrizitätswirtschaft 85/1986/, br. 21

Mrk.

ŠVEDSKI MODEL NE MOŽE SE PRIMIJENITI NA ŠVICARSKU

Švedska proizvodnja električne energije iznosi 120 TWh. Od toga 56% daju hidroelektrane, 41% nuklearne a 3% elektrane na fosilna goriva. Treba spomenuti da bi Švedska mogla proizvesti 200 TWh u hidroelektranama umjesto današnjih 67 TWh, ako iskoriste sve tri hidrosnage.

U Švicarskoj su proizvodni odnosi slični. Od 50 TWh godišnje proizvodnje 60% daju hidroelektrane, a 40% nuklearne elektrane. No bitna je razlika između obiju zemalja. Švicarska je iskoristila 90% svojeg hidropotencijala, a Švedska tek 1/3. Za Švicarsku to znači, ako želi napustiti nuklearne elektrane, da manjak električne energije nadomjesti samo izgradnjom elektrana na naftu, plin ili ugljen.

Elektrizitätswirtschaft 85/1986/, br. 22

Mrk.

ELEKTROPRIVREDA U SSSR-u 1984.

Proizvodnja električne energije u SSSR-u 1984. iznosila je 1492 TWh. Te je godine stavljena u pogon nova instalirana snaga od 10.400 MW, od čega 3900 MW u klasičnim termoelektranama, 4200 MW u nuklearnim i 2300 MW u hidroelektranama.

Tablica 1. Neki podaci elektroprivrede SSSR-a

	Mjera	1980.	1983.	1984.
Instalirana snaga elektrana	MW	266.700	293.600	304.000
Proizvodnja električne energije	TWh	1.293,9	1.418,1	1.492,6
Proizvodnja po stanovniku i god.	kWh	4.873	5.203	5.429
Duljina nadzemnih vodova 35 kW i više	1000 km	768,4	852,5	880,9
Potrošnja električne energije	TWh	1.274,7	1.394,2	1.467

Izgradnja nuklearnih elektrana u SSSR-u vrlo je intenzivna. U Zaporozju, Kalinsku i južnoj Ukraini u pogon su stavljene reaktori od po 1000 MW. Nadalje se izgrađuju nuklearke u Kursku, Smolensku, Balakovu, Rostovu, Rovenki, Odesi itd. Ukupna instalirana snaga sovjetskih nuklearnih elektrana iznosila je početkom 1985. 24.100 mW, a njihova je proizvodnja 1984. bila 9,5% ukupne proizvodnje električne energije u zemlji.

Instalirana snaga hidroelektrana bila je početkom 1985. 59.300 MW, a proizvodnja 1984. 202,8 TWh, a to je 13,6% ukupne proizvodnje. Treba spomenuti da Sovjetski savez ima 16 hidroelektrana snage 1000 do 2000 MW, a 7 iznad 2000 MW.

Posljednjih je godina stavljena u pogon instalirana snaga navedena u tablici 2.

Tablica 2. Nova instalirana snaga stavljena u pogon po godinama

	mjera	1980.	1983.	1984.
Ukupno novih elektrana	MW	12.838	9.646	10.364
Od toga:				
termo elektrana	MW	7.979	5.806	3.887
nuklearnih elektrana	MW	2.540	2.750	4.190
hidroelektrana	MW	2.319	1090	2.287

U 1984. ušlo je u pogon oko 3000 km nadzemnih vodova 330 kV i višeg napona.

ÖZE 39/1986/, br. 9

Mrk.

IZGRADNJA VISOKONAPONSKE ISTOSMJERNE VEZE KONTI-SKAN

Švedsko državno elektroprivredno poduzeće Vattenfall i dansko elektroprivredno poduzeće Elsam naručili su kod tvrtke ASEA opremu za istosmjernu visokonaponsku vezu Konti-Skan 2, koja će podmorskim kabelom povezivati Švedsku i Dansku. Istosmjerna veza Konti-Skan 1 ušla je u pogon 1965. za prijenos snage od 250 MW uz 250 kV istosmjernog napona prema zemlji. Novi je uređaj predviđen za prijenos 300 MW s istosmjernim naponom 285 kV.

Elektrizitätswirtschaft 85/1986/, br. 21

Mrk.

KABELI VISOKOG NAPONA NA XXXI ZASJEDANJU CIGRE U PARIZU 1986.

Na ovom XXXI zasjedanju CIGRE u Parizu, održanom između 27. 08. i 04. 09. 1986, kao i na prethodnim, diskusiji o visokonaponskim kabelima posvećen je cijeli dan 03. 09. 1986.

Tendencije u razvoju kableske tehnike, koje su se pojavile nakon naftne krize početkom 70-tih godina, nastavljaju se i danas.

Primjena nove prijenosne tehnike kao npr. tehnike ultravisokih prijenosnih napona i suprovodljivih kabela predviđa se danas mnogo kasnije nego prije petnaest godina. Takve tendencije u promjeni trenda razvoja došle su naravno do punog izražaja i na ovom zasjedanju. Gledajući unatrag, u desetljeću prije naftne krize, diskutirani problemi su se kretali u okviru napora za povišenje prijenosnih napona i povećanje prijenosne moći kabela. Danas, međutim, kad je

trend potrošnje električne energije znatno smanjen napori su usmjereni prema sniženju cijene kabela i pribora i povećanja njihove pouzdanosti.

Značajan pokazatelj interesa za pojedine vrste i tehnike kabela svakako je sadržaj referata na dvogodišnjim zasjedanjima CIGRE u Parizu. Da se dobije takav pregled referata posljednjih 5 zasjedanja prezentirani u grupi visokonaponskih kabela razvrstani su prema tematici. Prvo su uzeti klasični uljni kabeli podijeljeni na prirodno i umjetno hladene. U sljedeću su grupu svrstani kabeli sa sintetskom izolacijom, pa SF₆ kabeli i na kraju istosmjerni visokonaponski kabeli. Broj referata u navedenim grupama unijet je u tablicu po godinama.

Broj referata prema tematici

Zasjedanje godina	Uljni prir.	umjetno	Sintetski	SF ₆	Istosmjerni	Ukupno
1978.	2	3	3	2	1	11
1980.	4	1	5	1	1	12
1982.	5	1	4	1	0	11
1984.	3	11	3	1	1	13
1986.	6	0	5	0	2	19
Ukupno	20	16	20	5	5	66
%	30	24	30	8	8	100

Prema izloženim podacima i sadržajima referata može se zaključiti sljedeće:

- Danas u kableskom prijenosu velikih električnih snaga glavnu ulogu igraju prirodno hladeni klasični uljni kabeli s papirnom izolacijom.
- Počeli su se već primjenjivati i umjetno hladeni kabeli, prvenstveno s lateralnim hlađenjem ali su manje interesantni zbog povećanih gubitaka i pomanjkanja iskustva u pouzdanosti sistema hlađenja. Hlađenje je prihvatljivo u svladavanju vrhova opterećenja i u abnormalnim pogonskim režimima.
- Ne izgleda vjerojatno da bi u skoroj budućnosti bile prihvaćene nove tehnike, već se nastoje poboljšati karakteristike postojećih.
- Velika se pažnja posvećuje kabelima sa sintetskom izolacijom. Prvenstveno ponašanju takvih kabela u pogonu kroz dulje vrijeme.
- Interes za krio kabele i suprovodljive kabele potpuno je zaustavljen.

Za ovo posljednje zasjedanje (1986) istaknute su u grupi visokonaponskih kabela sljedeće preferencijalne teme koje su obrađivali podneseni referati.

1. Problemi pouzdanosti podmorskih kabela
2. Problemi koncepcije, proizvodnje, ugradnje i održavanja kabela sa sintetskom izolacijom.
3. Kabeli vrlo visokog napona nove koncepcije.

U okviru navedenih preferencijalnih tema podneseno je ukupno 13 referata čiji je kratki prikaz dan u daljnjem tekstu.

Prva preferencijalna tema

Ref. 21-01 PONAŠANJE ISTOSMJERNOG PODMORSKOG KABELA ± 250 kV U POGONU, U RAZDOBLJU 1964-1985. POLOŽENOG IZMEĐU NOVOZELANDSKIH OTOKA

Iznesena se informacija odnosi na 3 jednopolna istosmjerna uljna kabela za prijenos ukupne snage od 600 MW. Duljina kableskog dijela prijenosne linije u moru iznosi 39 km i ukupno 570 km nadzemnog istosmjernog voda. Opisano je funkcioniranje, popravka u moru, jedno oštećenje olovnog plašta uslijed trljanja o stijenu, raspoloživosti kabela i slično.

Ref. 21-02 KONCEPCIJA I UGRADNJA BRITANSKOG DIJELA VEZE FRANCUSKA-ENGLESKA ISTOSMJERNIM KABELOM

Ova će veza imati dva bipolarna sistema za prijenos ukupne snage od 2×1000 MW, duljine 68 km. Detaljno je iznesen opis kabela, spojnice, ispitivanja kabela, polaganje odnosno uklapanje u morsko dno automatskim kopačem i ispitivanja nakon polaganja.

Ref. 21-05 POPRAVAK KABELA I FA NA DNU MORA

Radi se o popravku starog istosmjernog kabela između Francuske i Engleske ± 100 kV, 160 MW, položenog 1961. godine. Opisan je rad na popravku kabela na dnu mora i cijela aparatura koja je dopremljena na dio kabela u kvaru, u kojoj su radili monter.

Ref. 21-12 METODE ZAŠTITE PODMORSKIH KABELA OD MEHANIČKIH OŠTEĆENJA

Ovaj je referat podnesen od strane studijskog komiteta br. 21, razrađen od radne grupe 21-06 (Podmorski kabeli). Cilj je referata da se dade generalna linija kako smanjiti rizik od mehaničkih kvarova na podmorskim kabelima od sidara i ribarske opreme. Podaci za taj referat sakupljeni su anketom kabela u pogonu. Referat preporuča mjere zaštite i na kraju iznosi kompromis između troškova zaštite i rizika kvara.

Diskusija

U diskusiji koja se razvila o pitanjima vezanim za prvu preferencijalnu temu raspravljano je o načinu polaganja podmorskih kabela tj. kada i kako ih ukopavati u morsko dno.

Nadalje je opširno govoreno, uz iznošenje brojnih primjera, o popravku kabela na dnu mora bez podizanja. Prodiskutirani su također načini i vrste zaštite podmorskih kabela, materijal armiranja i sastav olovnog plašta.

Druga preferencijalna tema

Ref. 21-03 STUDIJA PRIMJENE PRC KABELA 275 kV NA DULJINI PRIJENOSNIM LINIJAMA U JAPANU

Danas su u Japanu za veće prijenose ugrađeni plastični kabeli (izolacija s umreženim polietilenom) do 154 kV, a do 275 kV na kraćim relacijama. U referatu je nakon povijesnog razvoja uvođenja plastičnih visokonaponskih kabela u Japanu, opisan razvoj na realizaciji plastičnog kabela 275 kV i gledanje na razvoj u budućnosti. Veliki je dio referata posvećen razvoju odgovarajućeg spojnog materijala. Na kraju su izložena ispitivanja na licu mjesta. Dulje linije kabela 275 kV trebale bi biti u pogonu do 1988. godine.

Ref. 21-04 RAZVOJ I UGRADNJA VISOKONAPONSKIH KABELA OD UMREŽENOG POLIETILENA U KOREJI

Prve uljne kabele 154 kV ugradili su u Koreji pred 8 godina, a pred 5 godina su ih počeli proizvoditi u zemlji. 1983. montiran je prvi domaći kabel 154 kV izoliran umreženim polietilenom. U referatu je opisana koncepcija, proizvodnja i ispitivanje takvih kabela. Posebno je izložena ugradnja u pumpnoakumulacionu elektranu Samrandin.

Ref. 21-07 TERMOMEHANIČKA OPTEREĆENJA U ELEKTRODISTRIBUTIVNOM VISOKONAPONSKOM KABELU

Referat je teoretskog karaktera, obrađen od stručnjaka koji rade u nizozemskim laboratorijima tvornice kabela.

Referat razmatra kompleksni problem naprezanja u ekstrudiranim kabelima. Uz iznijeti problem dana su iskustva, metode ispitivanja i problem kabelaške opreme.

Ref. 24-08 KONCEPCIJA, PROIZVODNJA I POLAGANJE KABELA OD MREŽNOG POLIETILENA U DANSKOJ

Do godine 1970. svi kabeli napona 36 kV do 170 kV u Danskoj bili su uljni. Od 1970. sve se više uvode kabeli izolirani umreženim polietilenom. Prvi takav kabel 145 kV položen je 1974. Referat daje prikaz koncepcije i iskustva s plastičnim kabelima, a također i fabrikaciju kabela i pribora do napona od 145 kV.

Ref. 21-09 RAZVOJ VEZA 400 kV KABELIMA IZOLIRANIM POLIETILENOM NISKE GUSTOĆE

Referat su dali francuski stručnjaci. U Francuskoj su naime još od 1962. godine uspješno u pogonu kabeli izolirani polietilenom niske gustoće. Počelo se s naponom 63 kV i nastavilo do 225 kV.

Opisana su nastojanja da se proizvedu sigurni plastični kabeli 400 kV s odgovarajućom opremom, prvenstveno zaglavcima izoliranih plinom SF₆. Takva kabelaška instalacija 400 kV izvedena je 1985. u nuklearnoj elektrani Nogent sur Sein i Cattenon, kao i u HE Superbissorte. Do sada je ugrađeno ukupno 7 km plastičnih kabela 400 kV prema narudžbi E do F.

Ref. 21-10. PONAŠANJE I PREVENTIVNO ODRŽAVANJE KABELA VISOKOG NAPONA

Referat su podnijeli stručnjaci iz Švicarske. Opisana je dvostruka kabelaška veza plastičnim kabelom 132 kV, duljine oko 4 km. Navedene su karakteristike kabela, proračuni, mjerenja i opisano održavanje.

Diskusija

U diskusiji se govorilo o mehaničkim naprezanjima u ekstrudiranom kabelu prvenstveno onima zaostalim još od proizvodnje u tvornici. Posebno je raspravljano utjecaj tih naprezanja na električna svojstva izolacije. Izraženo je mišljenje da se ona ne mijenja. Govoreno je također i o vanjskim naprezanjima i mjerama da se izbjegnu oštećenja plašta prilikom montaže. Posebno su diskutirani načini spajanja kabela sa sintetskom izolacijom, kao i spajanje takvih kabela s uljnim i plinskim kabelima.

Treća preferencijalna tema

Ref. 21-06. RAZVOJ I ISPITIVANJA DUGOG TRAJANJA OLEOSTATSKOG KABELA 765 kV S MALIM GUBICIMA

Referat su dali stručnjaci iz SAD, a opisuje koncepciju, proizvodnju i ispitivanje visokotlačnog uljnog kabela 765 kV i pripadnog pribora, tj. spojnice i zaglavaka. Posebno je istaknuta kombinirana slojevit izolacija malih gubitaka od celuloznog papira i propilena velike dielektrične čvrstoće. Takva izolacija podnosi pogonski električni gradijent 21,3 kV/mm, a stručnjaci smatraju da bi se moglo ići do 27,5 kV/mm. Tlak ulja u kabelu iznosi 14 bara. Laboratorijska su ispitivanja provedena u ispitnoj stanici Waltz-Mill na komadu kabela od 33,5 m. Referat daje opis cijelog ispitnog postrojenja.

U zaključnom dijelu je naglašeno da su pokusi pokazali da je konstrukcija zrela za praktičnu primjenu. Kabeli takve izolacije imaju velike prednosti pred klasičnim koji su izolirani samo papirom i to u pogledu nižih gubitaka i manjih dimenzija.

Ref. 21-11. KABELI S NEZAPALJIVIM ULJEM

Referat je napisan od talijanskih stručnjaka tvornice Pirelli. Prikazana su fizikalna i električna svojstva novog ulja za kabele. Ono uz činjenicu da nije upaljivo ima i ostala dobra svojstva iznad obično upotrebljavanog ulja. Nešto viša cijena

na kompenzira se time što nisu potrebna zaštitna protupožarna sredstva. Na takvim neupaljivim kabelima 420 kV provedeni su opširni pokusi kratkog spoja.

Ref. 21 – 12. KARAKTERISTIKE FUNKCIONIRANJA IZOLIRANIH KABELA VISOKOG NAPONA VELIKE DULJINE

Referat je izradila radna grupa 21.13 (grupa za tehniku prijenosa u budućnosti). To je teoretski rad o graničnim mogućnostima prijenosa električne energije na neku udaljenost uspoređujući pri tome kabel s krutom izolacijom i kabel izoliran plinom. U radu se zaključuje da plinske kabele treba razvijati tako da se mogu proizvoditi po povoljnoj cijeni, jer se jedino tim tipom kabela mogu u budućnosti prenositi veće snage na veće udaljenosti. Npr. danas se klasičnim kabelom može po 400 kV prenijeti do 1000 MVA, a granične su daljine 20 do 25 km.

Diskusija

Ovdje je bilo mnogo riječi o slojevitoj papirno-polipropilenskoj izolaciji čija je glavna karakteristika niski dielektrični gubici, ali i razmjerno visoka cijena.

Nadalje u diskusiji o živornom trajanju izolacije iznijeti su naponski i termički koeficijenti kojima treba ući u proračune.

Govorilo se o vatrosigurnosti kabela, a kao primjer su kabele impregnirani negorivim uljem i plastični kabele s teško zapaljivim plaštem. Na kraju je skup obaviješten o novougrađenih 1600 m kabela SF₆. O ovoj vrsti kabela na ovom zasjedanju nije bilo posebnog referata.

B. Markovčić

PROMJENA ZEMALJSKOG MAGNETIZMA INDUCIRA STRUJE U CJEVODIMA

Magnetsko polje Zemlje jako je utjecano tzv. sunčevim vjetrom. To je struja protona i elektrona koje isijava Sunce prilikom svojih gigantskih erupcija. Već prema intenzitetu erupcija magnetsko se polje deformira više ili manje. Promjenom magnetskog polja induciraju se u tlu naponi ovisni o geologiji i otporu tla. U vodljivom tlu iznad stjenovite podloge iznose oko 0,1 V/km. Dobro izolirani cjevovodi predstavljaju u tom električnom polju ekvipotencijalnu liniju. Na oštećenim mjestima izolacije cijevi javljaju se zbog toga struje koje se superponiraju zaštitnim katodnim strujama. Što je izolacija cijevi nižeg optpora to su veće struje koje nastaju prilikom magnetskih promjena, a manje su promjene potencijala na krajevima.

U Njemačkoj su se navedene pojave opazile na plinovodima, pa su provedena opsežna ispitivanja. Na nekoliko plinovoda instalirani su mjerni uređaji za mjerenje efekta indukcije, a istovremeno su u Geofizikalnom institutu u Göttingenu praćene promjene zemaljskog magnetizma. Izmjereni su potencijali tlo-cijev do + 2V, a u cijevi su tekle struje 100 do 600 mA.

Pri tome su naravno bili isključeni svi uređaji katodne zaštite. Kao konačni zaključak ovih istraživanja može se navesti da promjene zemljinog magnetizma mogu utjecati na potencijal dobro izoliranih cjevovoda, ali ne mogu ugroziti antikorozivne katodne zaštite.

ÖZE 39/1986/, br. 9

Mrk.

NOVE KNJIGE

ODREĐIVANJE GUBITAKA U TRANSFORMATORIMA KAO OSNOVA ZA EKONOMSKA RAZMATRANJA

(Bewertung von Transformatorverluste als Grundlage wirtschaftlicher Überlegungen, Schriftreihe der Verbandes der Elektrizitätswerke Österreichs, Heft 5, Verband der Elektrizitätswerke Österreichs, Wien 1985; 112 str., 44 sl. i 23 tabl.)

U posljednje se vrijeme sve više pažnje posvećuje određivanju vrijednosti gubitaka u transformatorima, iako oni rade s relativno dobrim stupnjem djelovanja. Zbog sve skuplje energije, međutim, potrebno je te gubitke što točnije odrediti i vrednovati. Budući da dio gubitaka u transformatorima ovisi o kvadratu opterećenja, njihovo točno određivanje čini stanovite poteškoće. Iako su iz literature poznati približni postupci za određivanje tih gubitaka, Elektroprivreda Austrije je smatrala da je potrebno izraditi studiju s kompletnim prikazom metoda s praktičnim primjerima za upotrebu u praksi, pa je u tu svrhu formirala posebnu grupu eksperata koja je izradila spomenutu studiju.

Računski se postupak za određivanje gubitaka u transformatorima temelji na poznavanju faktora gubitaka i progno-

zi razvoja konzuma, a vrijednost gubitaka određuje se metodom aktualizacije. Pri tome se uzimaju u obzir različite prognoze razvoja konzuma i različite pretpostavke o promjeni cijena energije. Analizom osjetljivosti dobiva se slika o utjecaju ulaznih pretpostavka i o postignutoj točnosti dobivenih rezultata.

Iako je prikaz znanstveno korektan, nije zanemarena praktična upotrebljivost, što omogućuju brojni numerički primjeri, dijagrami i tablice pomoću kojih je moguće za konkretne prilike odrediti potrebne vrijednosti kako za transformatore u pogonu, tako i za nove transformatore. Metode razrađene u studiji nisu prikladne samo za transformatore u elektroprivrednim već i za transformatore u industrijskim postrojenjima.

Treba na kraju naglasiti da Elektroprivreda Austrije nastoji unaprijediti svoju djelatnost, što se ostvaruje izdavanjem serije publikacija. Tako su osim publikacije o gubicima u transformatorima izdane publikacije o zaštiti od požara u elektroenergetskim postrojenjima, o primjeni postupka nanošenja metala pod pritiskom u hidroelektranama, o zaštiti radnika u elektroprivrednim poduzećima i o malim hidroelektranama.

»JUGOTURBINA«

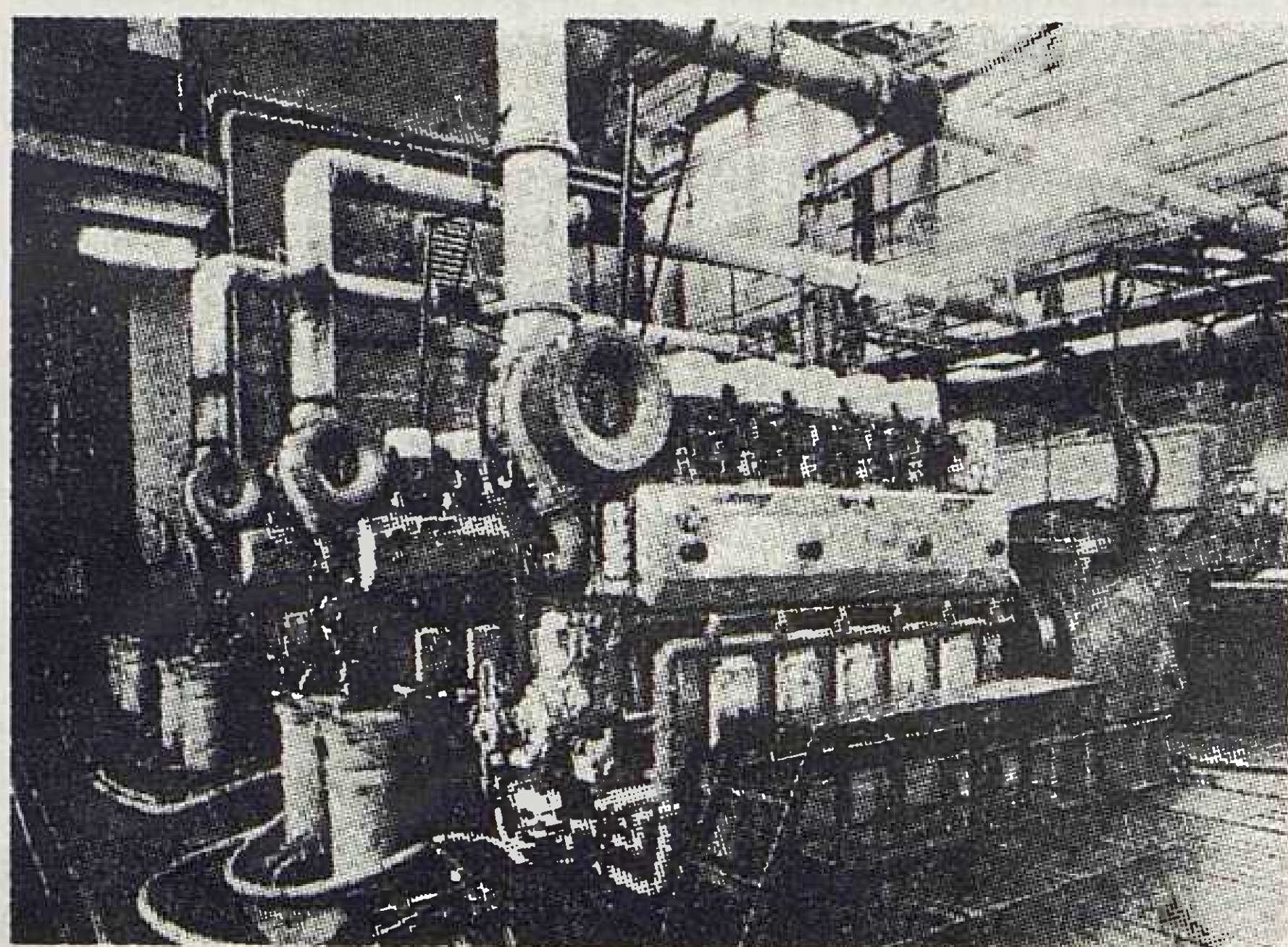
— INDUSTRIJA METALNIH PROIZVODA, OPREME I POSTROJENJA SOUR o.sub.o.

47000 KARLOVAC — JUGOSLAVIJA ● Telex: 23736, 23745

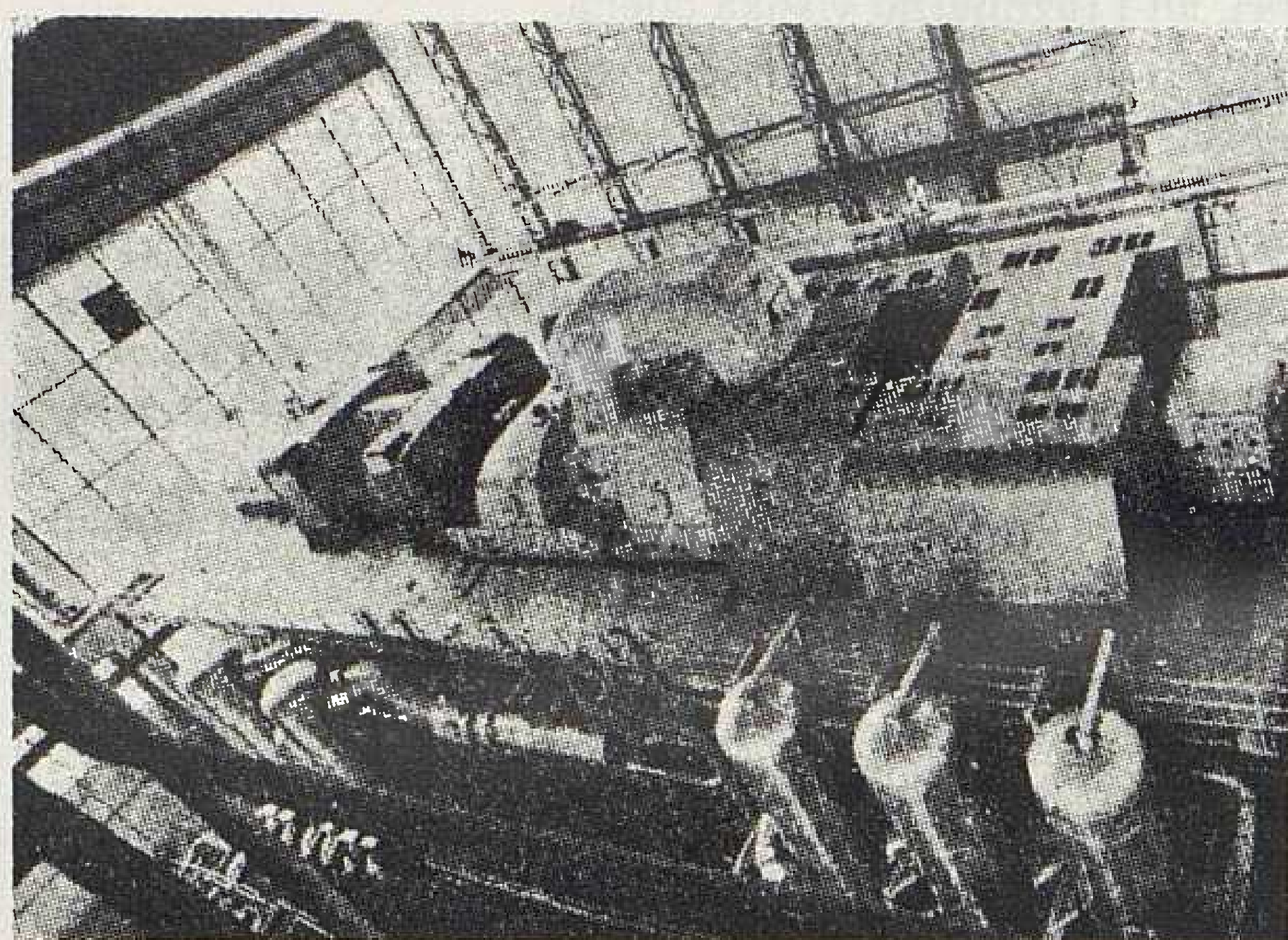
PROIZVODNI PROGRAM:

ENERGETSKA OPREMA I POSTROJENJA: turbine za toplane i elektrane, turbine za industrijski i mehanički pogon, turbokompresori, dizel agregati i kompletna energetska postrojenja

BRODSKA OPREMA: dizel motori-brodski propulzori i brodski dizel agregati, parne turbine, pumpe i brodska automatika



DIZELMOTORI JUGOTURBINA—SULZER 5A25



JUGOTURBINA 125 MW PLOMIN

PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA

POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH I INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

KLIZNI LEŽAJEVI

ČELIČNE KONSTRUKCIJE, SILOSI I MLINSKA POSTROJENJA

GRAĐEVINSKI OKOVI, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI

PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA DJELATNOSTI:

EXPORT-IMPORT, ZASTUPSTVO, UNUTRAŠNJA TRGOVINA

CONSULTING, PROJEKTIRANJE I INŽINJERING ZA ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA

REFERENCE: NA SVIM KONTINENTIMA

500 turboagregata

1.200 dizel motora

65.000 pumpnih agregata

IZDAVAČI

Godište 36 (1987)

Zagreb 1987

Br. 2

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

SADRŽAJ

<i>Tonković Z.</i> : Raspad zapadnog dijela elektroenergetskog sistema Jugoslavije 1. VIII. 1986. (Pregledni rad)	107
<i>Cvetković Z.</i> : Neke dileme vezane za raspad sistema 1. kolovoza 1986. (Pregledni rad)	121
<i>Ivanović M.</i> : Komparativna analiza potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u Evropi s posebnim osvrtom na potrošnju u Jugoslaviji (Pregledni rad)	127
<i>Čurković J.</i> — <i>Varaždinec Z.</i> : Pregled i usporedba postojećih standarda emisije i imisije SO ₂ u svijetu i kod nas s posebnim osvrtom na TE Plomin (Pregledni rad)	133
<i>Jelavić V.</i> : Uključivanje ekoloških ciljeva u matematički model za optimiranje energetske strukture urbanih sredina (Originalni znanstveni rad)	147
<i>Rajić Ž.</i> : Određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža (Originalni znanstveni rad)	157
<i>Mileusnić E.</i> : Zona šticečenja oko privremenih uzemljivača (Stručni rad)	167
Vijesti iz elektroprivrede	171
Iz strane stručne literature	175
Nove knjige	176
Oglasi	177

IZDAVAČKI SAVJET

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

UREDNIČKI ODBOR

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

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

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

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

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

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 2000 dinara, a za poduzeća i ustanove 6000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 1000 (za studente 200) dinara.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišaji: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec



„MONTER“

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

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

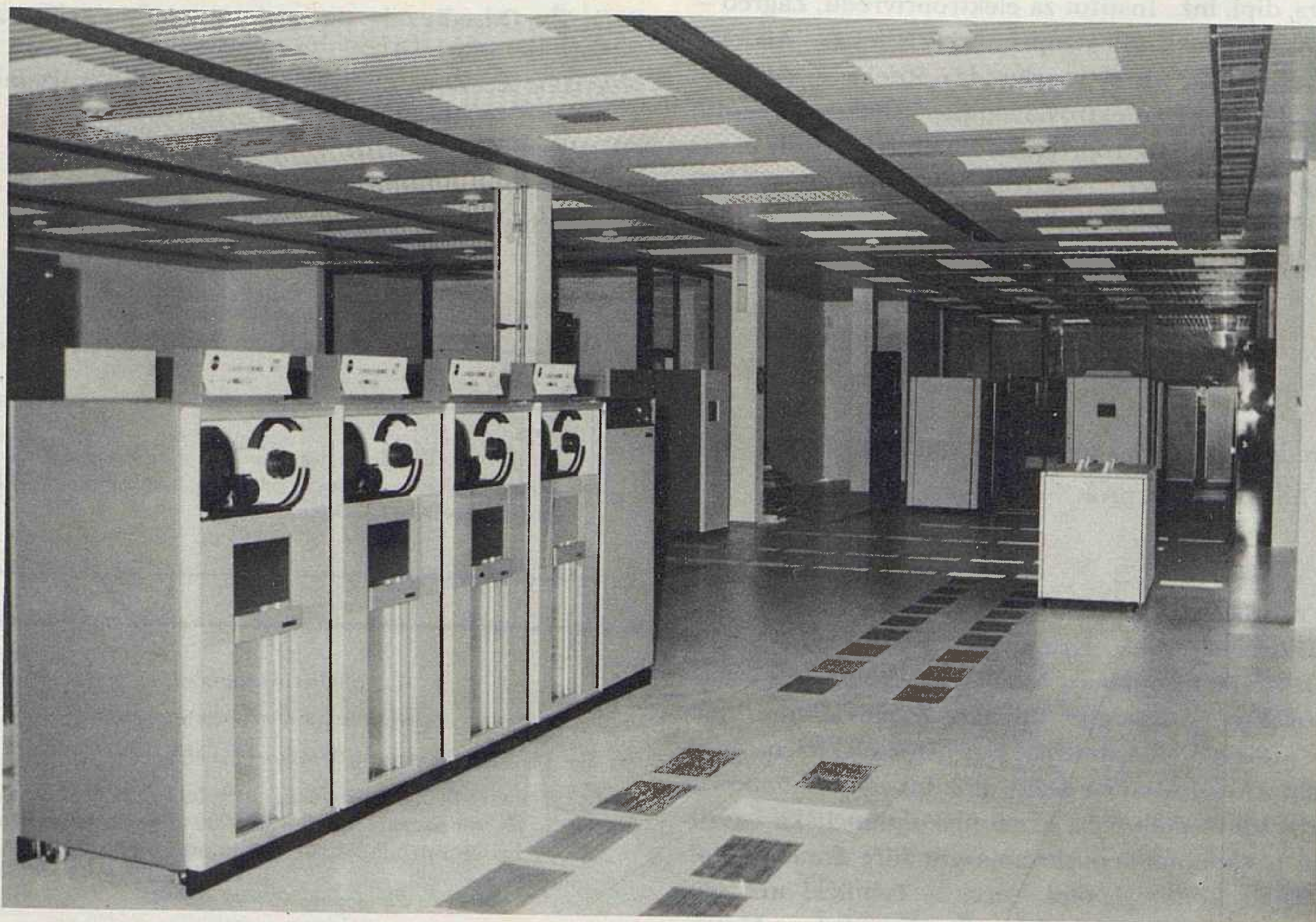
SPONZOR-SUORGANIZATOR UNIVERZIJADE'87

ZAGREB
JUGOSLAVIJA



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

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



CAOP Zagreb — instalaterske radove izvodili radnici Montera

RASPAD ZAPADNOG DIJELA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA JUGOSLAVIJE 1. VIII 1986.

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.311.1.005

PREGLEDNI RAD

Članak obrađuje stanje elektroenergetskog sistema SRH uoči raspada, za vrijeme raspada i poslije normalizacije stanja, s posebnim naglaskom na uzroke i posljedice raspada.

Ključne riječi: raspad sistema, sigurnost pogona, vođenje EES, prijenos.

Najznačajniji događaj u radu elektroenergetskog sistema Jugoslavije u 1986. sigurno je raspad njegova zapadnog dijela 1. VIII.

S obzirom na razmjere ovog poremećaja formirana je u ZEOH-u posebna stručna komisija sa zadatkom »da utvrdi uzroke raspada elektroenergetskog sistema i predloži mjere za uklanjanje uzroka raspada«.

Rad se odvijao na tri kolosijeka: elektroenergetsko-pogonskom aspektu, djelovanju zaštite i funkcioniranju veza. Posebno je bilo složeno stvoriti logičnu *energetsko tehničku sliku*, no uz pomoć i sudjelovanja mnogih suradnika dobiveno je uvjerljivo objašnjenje. Ovo područje rada Komisije rezultiralo je posebnom studijom koju u ovoj prilici rezimiramo [L. 1]. Treba naglasiti da je dano još *mnogo drugih relevantnih konstatacija* sa jasnim pravcima djelovanja u domeni planiranja, eksploatacije, održavanja i vođenja sistema.

Ostaje da se problematika koju je zorno predstavio ovaj slom sistema *dalje kompleksno razradi*. Ta su pitanja to interesantnija što i u svijetu dobivaju novu aktualnost (ali na drugačijem »tehnološkom« i konceptijskom nivou).

1. UVOD

Veličinom potrošnje i raspoloživošću izvora zapadni dio jugoslavenskog elektroenergetskog sistema obično je deficitaran energijom. Manjak se u načelu podmiruje iz središnjih i istočnih dijelova, pa je zbog tranzitiranja naglašena uloga prijenosne mreže. Po logici ovakvog globalnog aspekta planiranja i eksploatacije sistema, područja SR Slovenije te Zagreba i Rijeke već se odavno u makroanalizama izdvajaju u prijenosnom smislu kao cjelovito područje »Zapada« (uz Dalmaciju, Slavoniju i SR Bosnu i Hercegovinu grupirane kao »Centar«, te SR Srbiju, SR Crnu Goru i SR Makedoniju kao »Istok«). Razmjena energije između tih cjelina, kao i unutar njih, vrši se uglavnom

superponiranom 220 kV i 400 kV mrežom: konkretno »Zapad« je povezan sa jugoslavenskim sistemom vodovima:

DV 400 kV Tumbri-Ernestinovo, 233 km

DV 400 kV Melina-Obrovac, 181 km

DV 220 kV Mraclin-Jajce, 195 km

DV 220 kV Sisak-Prijedor, 108 km*

DV 220 kV Brinje-Konjsko, 210 km

a preko

DV 400 kV Divača-Redipuglia, 49 km

DV 220 kV Divača-Padriciano, 12 km

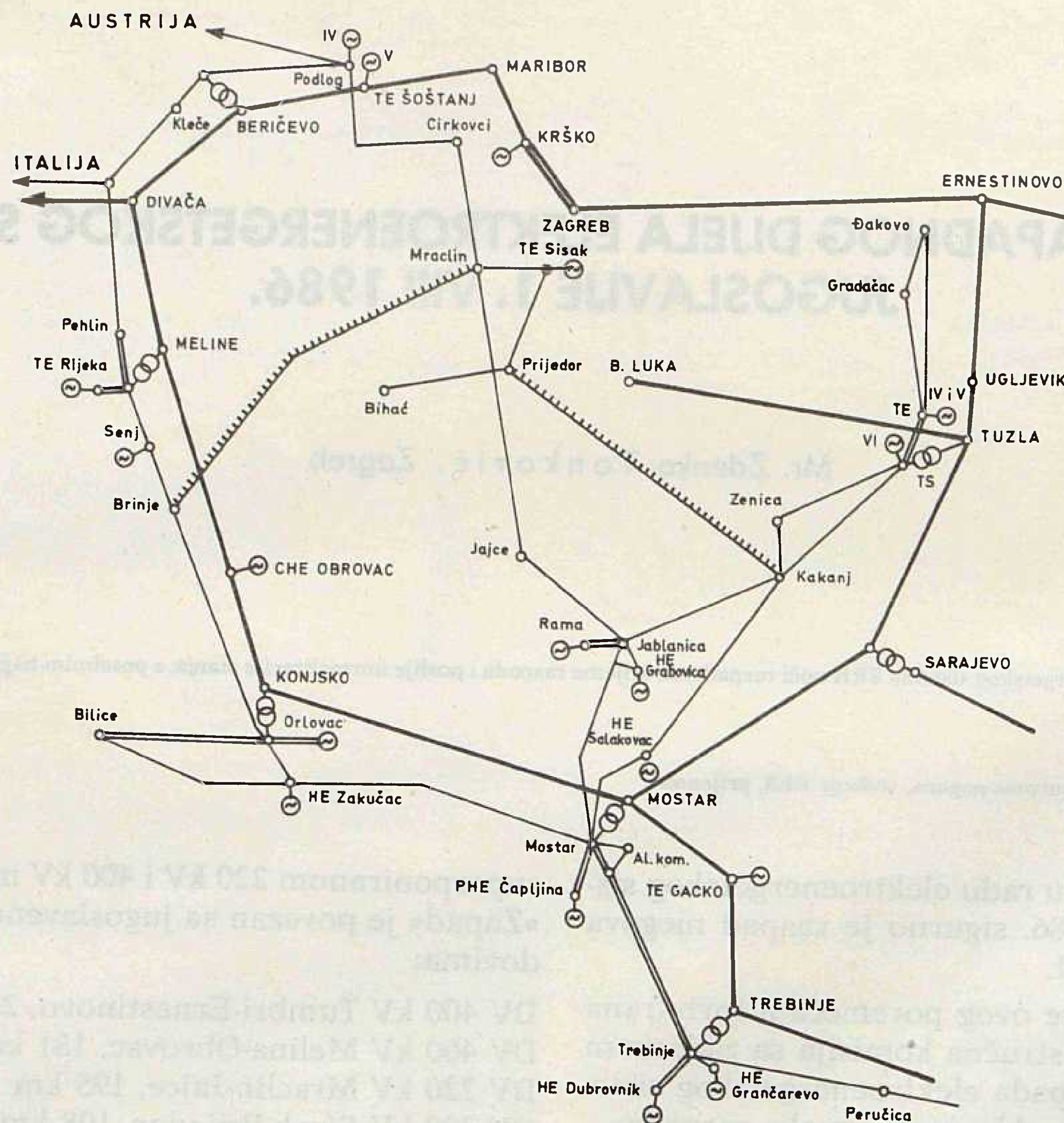
DV 220 kV Podlog-Obersielach, 65 km

povezani su »Zapad« i Jugoslavija sa sistemima Austrije i Italije (koji su dio velike evropske interkonekcije UCPTÉ (Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité) (sl. 1).

Budući da se bilanca »Zapada« nastoji što više zatvoriti unutar Jugoslavije, to se manjak snage potrebne za podmirenje potrošnje prenosi vodovima iz »Centra« i energetska slika sistema postaje jednostavna: jedno konzumno područje napajano preko dugačkih vodova.

Kapacitet prijenosa ovim vodovima praktički je uvjetovan samo mogućnošću podrške u jalovoj snazi. I tu nastaje problem: zbog malog broja, rasporeda i strukture izvora priključenih na 220 kV i 400 kV, kao i zbog nedovoljne spregnutosti ovih naponskih nivoa (iako je ta defektnost sekundarna za jalove snage), »Zapad« je vrlo osjetljiv na svako slabljenje superponirane mreže (plansko ili zbog kvara) i neraspoloživost izvora. Angažirane elektrane, uklopno stanje i režim pogona sistema, uz zadanu potrošnju, diktiraju veličinu raspoložive jalove snage za prijenos i naponsku stabilnost. Često ulogu *garanta u jalovoj snazi preuzimaju mreže Austrije i Italije*, čime se narušavaju pravila u međunarodnoj razmjeni: Jugoslavija zna povlačiti više od 300 Mvar.

Zbog međuzavisnosti obiju komponenata snage (djelatne i jalove) sistem se može raspasti i kod male po-



Slika 1.

trošnje — ali velikih prijenosa. Tako je bilo 17. VII 1984, vrlo slično i 1. VIII 1986. iako zbog drugog uzroka, a može se očekivati i ubuduće.

2. ELEKTROENERGETSKO STANJE

U ranim popodnevnim satima 1. VIII 1986. prema operativno planiranom voznom redu Hrvatske i Slovenije trebalo je na »Zapad« prenositi 900–950 MW. Angažirani izvori na zagrebačkom području bili su svi na 110 kV, kao i u Sloveniji osim TE Šoštanj V (400 kV), dok na riječkom području nije bio angažiran nijedan izvor. To znači da su superponiranu mrežu 400 kV i 220 kV *pridržavali na »Zapadu« samo jedan izvor na 400 kV i sistem Austrije i Italije u dva interkonektivna čvorišta na 220 kV*. Dodajmo još — zbog diferenciranja uloge jalove snage u potrošnji i prijenosu — da su na zagrebačkom području bile u pogonu gotovo sve kondenzatorske baterije (ukupno 124 Mvar) pa budući da je tako konzum najkritičnijeg dijela podmiren, moglo bi se zaključiti da je izvorima i baterijama »Zapad« bio kompenziran. Međutim, veličina i kvaliteta jalove snage za prijenos bili su vrlo »tanki«.

3. PRIJENOSNA MREŽA

Zbog radova bili su 1. VIII 1986. izvan pogona na »Zapadu«

DV 400 kV Divača — Redipuglia
DV 220 kV Mraclin — Jajce
DV 220 kV Senj — Brinje

a zbog kasnijih događaja navodimo da je u »Centru« bio neraspoloživ

DV 220 kV Kakanj — Jablanica, te
DV 220 kV HE Čapljina — Mostar, 2.

Sve su transformatorske stanice superponiranih napona bile u pogonu.

Znači da se planskih 900–950 MW prijenosa na »Zapad« trebalo realizirati sa dva DV 400 kV (181 km i 233 km) i dva DV 220 kV (108 km i 210 + 118 km). S pouzdanošću prijenosne mreže ($n-1$), gdje »n« može značiti i najopterećeniji vod, taj je tranzit moguće ostvariti (što je i praktički verificirano).

4. KRONOLOGIJA DOGAĐAJA U SISTEMU IZMEĐU 13. I 15. SATA

Raspadu zapadnog dijela elektroenergetskog sistema prethodio je niz kvarova u sistemima »Zapada« i »Centra« koji su bitno slabili njegovu funkcionalnost:

Vrijeme	Događaj
13.21.33	Ispad voda Ernestinovo — Tumbri (distantna u Ernestinovu). Nakon dva neuspješna pokušaja uključivanja u 13.48.57 h je uzemljen u Tumbri, a u 14.06 u Ernestinovu

- 13.31 Ispad voda Tuzla — Kakanj (do 15.37)
- 13.33 HE Orlovac: ulazi G-2 (80 MW, 0 Mvar)
- 13.34 RHE Obrovac: G-2 povećava proizvodnju sa 120 MW na 140 MW
- 13.36 RHE Obrovac: G-1 prelazi iz kompenzatorskog pogona (60 Mvar) u generatorski (140 MW)
- 13.37 HE Orlovac: ulazi G-3 (80 MW, 1 Mvar)
- 13.42.29 HE Zakućac: uključen G-3
- 13.46 RHE Obrovac: G-1 prelazi iz generatorskog pogona u kompenzatorski (0 MW, 60 Mvar)
- 13.50 TE Sisak: G-1 (110 kV) povećava proizvodnju sa 65 MW na 85 MW (120 Mvar)
- 13.50 HE Varaždin: smanjuje proizvodnju sa 80 MW na 60 MW
- 14.04 Ispad voda Tuzla — Zenica
- 14.16 RHE Obrovac: G-2 smanjuje proizvodnju sa 140 MW na 80 MW
HE Orlovac: smanjuje proizvodnju sa 240 MW na 150 MW (3x50)
- 14.18 Uključen vod Tuzla — Zenica
- 14.27 Uključen vod Mraclin — Jajce
- 14.29 Ispad voda Tuzla — Zenica (do 15.25)
- 14.31 TS Banja Luka: ispad trafo 400/110 kV
- 14.35 Ispad voda Kakanj — Salakovac (do 15.43)
HE Čakovec: povećava proizvodnju sa 50 MW na 60 MW
- 14.38 Uključen vod Jablanica — Kakanj, samo u Jablanici
- 14.40 TS Prijedor: ispad trafo 220/110 kV (do 15.40)
- 14.45 TS Banja Luka: uključen trafo 400/100 kV
- 14.48 TS Jajce: ispad trafo 220/110 kV (do 14.55)
- 14.49 TS Kakanj: ispad trafo 220/110 kV (do 18.41)
- 14.50 TS Zenica: ispad trafo 220/110 kV (do 14.54)
- 14.50.15 Ispad voda Mraclin — Jajce (distantna u Jajcu)
- 14.52.28 Ispad voda Zakućac — Konjsko (zaštita od preopterećenja, u Konjskom)
- 14.52.33 Ispad voda Konjsko — Brinje (distantna u Konjskom)
RHE Obrovac: ispad automatske regulacije napona
- 14.52.36 Ispad voda Obrovac — Melina (distantna u Obrovcu; obostran ispad)
Ispad vodova sa UCPTE (preopterećenje)
- 14.52.36 HE Zakućac: ispad G-3 (zaštita od nestanka uzbuđe)

Ova kronologija sastavljena je iz različitih izvora: Listi događaja u RDC-u i CDU-ima, zapisa u Kronološkim registacijama događaja (KRD) u transformatorskim stanicama i elektranama, podataka dispečerske službe BiH.

Budući da sva postrojenja u Elektroprivredi Hrvatske nisu povezana na jedinstveno vrijeme RDC-a (da ostanemo s problemom samo na teritoriju SR Hrvatske), nastojali smo događaje objediniti na vrijeme RDC-a preko istovremenih pojava (za važnije promjene).

5. KARAKTERISTIČNI DOGAĐAJI U SISTEMU IZMEĐU 13. I 15. SATA

U sljedećem prikazu sažeto su obrađeni glavni događaji vezani uz raspad sistema i prikazani odgovarajućom konfiguracijom mreže uz shemu energetske situacije.

Izvori podataka, uz one navedene pri utvrđivanju kronologije događaja, bili su registrirajuće trake instrumenata i obrađeni podaci s maksiprint-traka.

5.1. Stanje neposredno prije ispada DV 400 kV Ernestinovo — Tumbri (~ 13,20) (sl. 2)

Ukupni prijenos na »Zapad« iz čvorišta »Centra« jest 983 MW što je za 55 MW veće prema izračunatom potrebnom prijenosu za »Zapad« od 928 MW (intepolirano na osnovi veličina za puni sat). Ta razlika znači gubitke prijenosa i netočnosti vezane za aproksimaciju računa i pogreške očitavanja.

Procjena napona u TS Tumbri tokom 14. sata prema Listi događaja RDC-a je oko 390 kV, dok u ostalim CDU-ima nema prorada KRD, pa se može zaključiti da je naponska situacija zadovoljavajuća.

5.2. Stanje neposredno po ispadu DV 400 kV Ernestinovo — Tumbri (~ 13,22) (sl. 3)

Promatrano je stanje maksimalnog opterećenja vodova iz Mostara, i tome odgovarajućeg na na vodu iz Prijedora — dakle stanje kada se smirio udarac povlašćenja energije iz UCPTE nastao na »Zapadu« gubitkom energije tranzitirane iz Ernestinova.

Ispadom voda Ernestinovo — Tumbri u 13.21 h udvostručuje se prijenos vodovima Prijedor — Sisak i Mostar — Dalmacija, kako to pokazuju očitavanja s registrirajućih traka. Tranzit iz Mostara u Dalmaciju sada je 925 MW pa se, zbog nepromijenjenog salda Dalmacije, i prijenos na »Zapad« južnim pravcem povećava za 440 MW. Prijedor daje 122 MW više (tako da je ukupno povećanje $440 + 122 = 562$ MW, dakle ono što je izgubljeno iz Ernestinova).

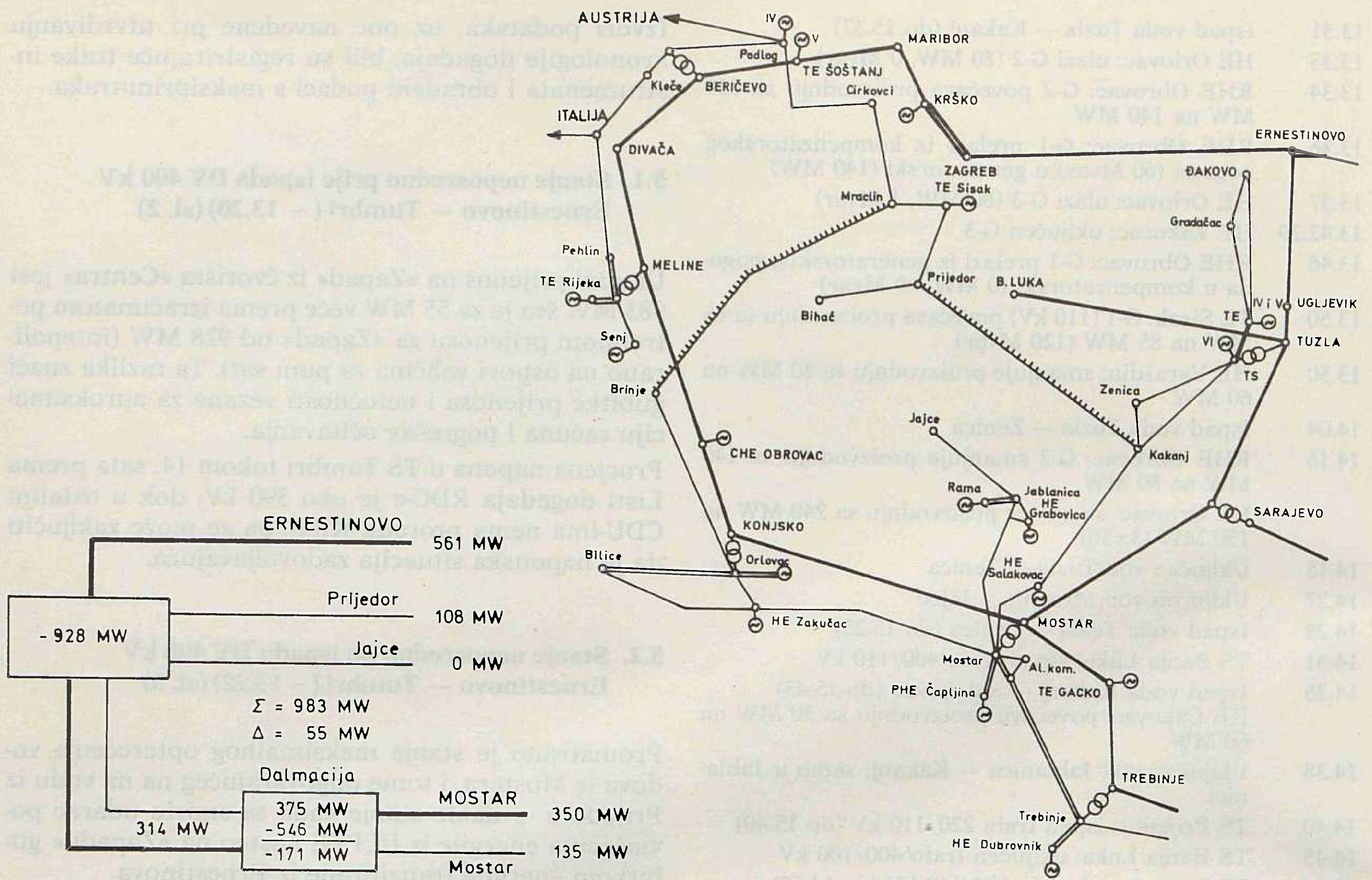
U Dalmaciji je angažirano 375 MW: HE Zakućac 144, HE Orlovac 79, HE Peruća 20, HE Manojlovac 10, RHE Obrovac 122.

Naponi padaju u Mraclinu i Sisku na oko 204 kV. u Tumbri na oko 370 kV, u Konjskom na oko 360–370 kV a u Melini na oko 350 kV. Ovaj poremećaj koristimo u očitavanju traka za baždarenje njihove vremenske osi.

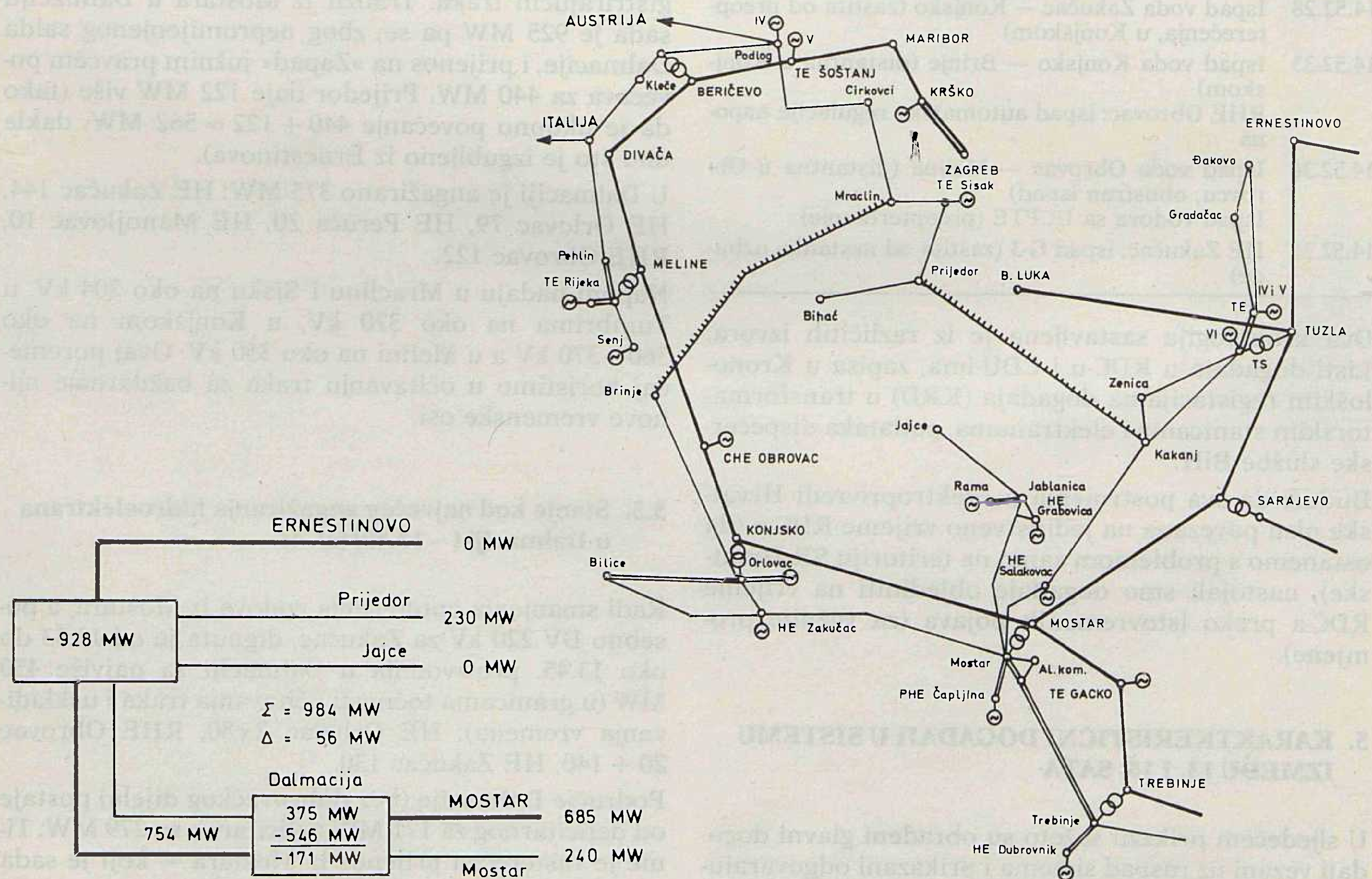
5.3. Stanje kod najvećeg angažiranja hidroelektrana u Dalmaciji (~ 13,50) (sl. 4)

Radi smanjenja opterećenja vodova iz Mostara, a posebno DV 220 kV za Zakućac, dignuta je od 13.33 do oko 13.45. proizvodnja u Dalmaciji za najviše 450 MW (u granicama točnosti očitavanja traka i uskladiivanja vremena): HE Orlovac 2x80, RHE Obrovac 20 + 140, HE Zakućac 130.

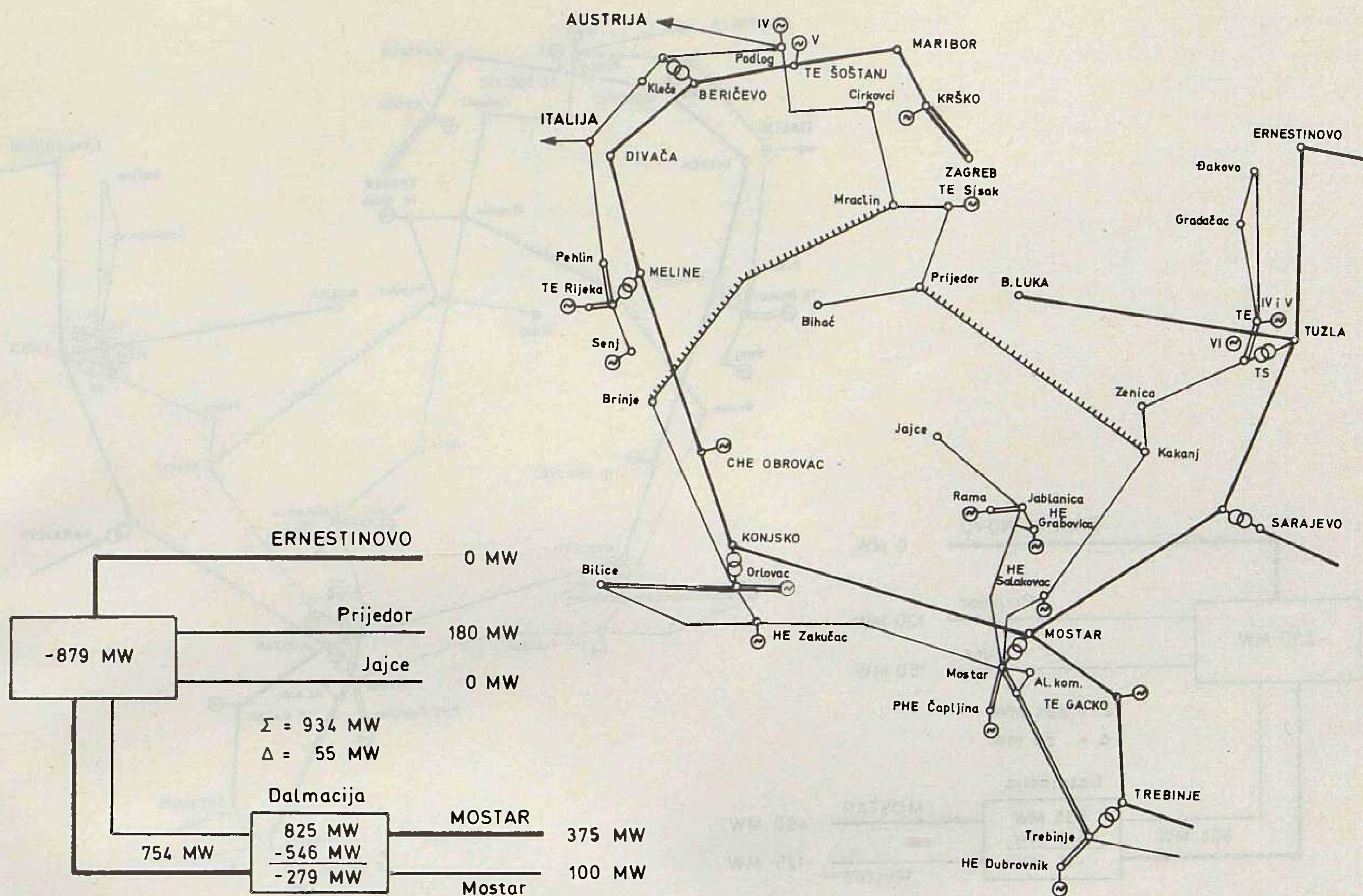
Područje Dalmacije (bez dubrovačkog dijela) postaje od deficitarnog za 171 MW suficitarno za 279 MW. Time je rasterećen prijenos iz Mostara — koji je sada reda veličine kao i prije ispada voda Ernestinovo — Tumbri.



Slika 2.



Slika 3.



Slika 4.

Dodatna proizvodnja Dalmacije (450 MW) uz povećani prijenos iz Prijedora (za 72 MW) praktički nadoknađuju davanje »Zapadu« iz Ernestinova.

Zbog nastalog viška u Dalmaciji otkazano je u voznom redu 200 MW nabave iz Srbije od 14. sata dalje.

Prijenos južnim pravcem zadržao je veličinu kao i nakon ispada voda Ernestinovo — Tumbri (754 MW), no sada je prijenos na »Zapad« skraćen i u Konjskom naponski poduprt, dok je smanjenje prijenosa iz Prijedora posljedica padanja potrošnje »Zapada«.

5.4. Stanje nakon uključivanja DV 220 kV Jajce — Mraclin (~ 14.30) (sl. 5)

Povećana proizvodnja Dalmacije, koja je za prijenos na »Zapad« imala blagotvoran utjecaj, smanjivana je prema regulacionom zahtjevu bazena, a da se olakša prijenosna situacija, zatraženo je uključivanje voda Jajce — Mraclin.

Proizvodnja u Dalmaciji veća je od plana 160 MW (dakle ukupno $375 + 160 = 535$ MW) i pokriva potrošnju. Tako je veličina razmjene Mostar — Dalmacija (615 MW) jednaka prijenosu na »Zapad« južnim pravcem, no pokrivanjem Dalmacije lokalna proizvodnja skraćuje prijenosni put na »Zapad«.

Zapisi u Listama događaja ne pokazuju nekih bitnijih promjena prema prethodnom stanju; približno je (zbog neistovremenosti vremena) napon u Mraclinu 203 kV, u Konjskom 359 kV, u Melini 349 kV, struja iz

Obrovca u Melinu 2074 A (ako je mjerenje točno), generirana jalova snaga u TE Sisak oko 130 Mvar.

5.5 Stanje nakon ispadanja DV 220 kV u BiH (~ 14.40) (sl. 6)

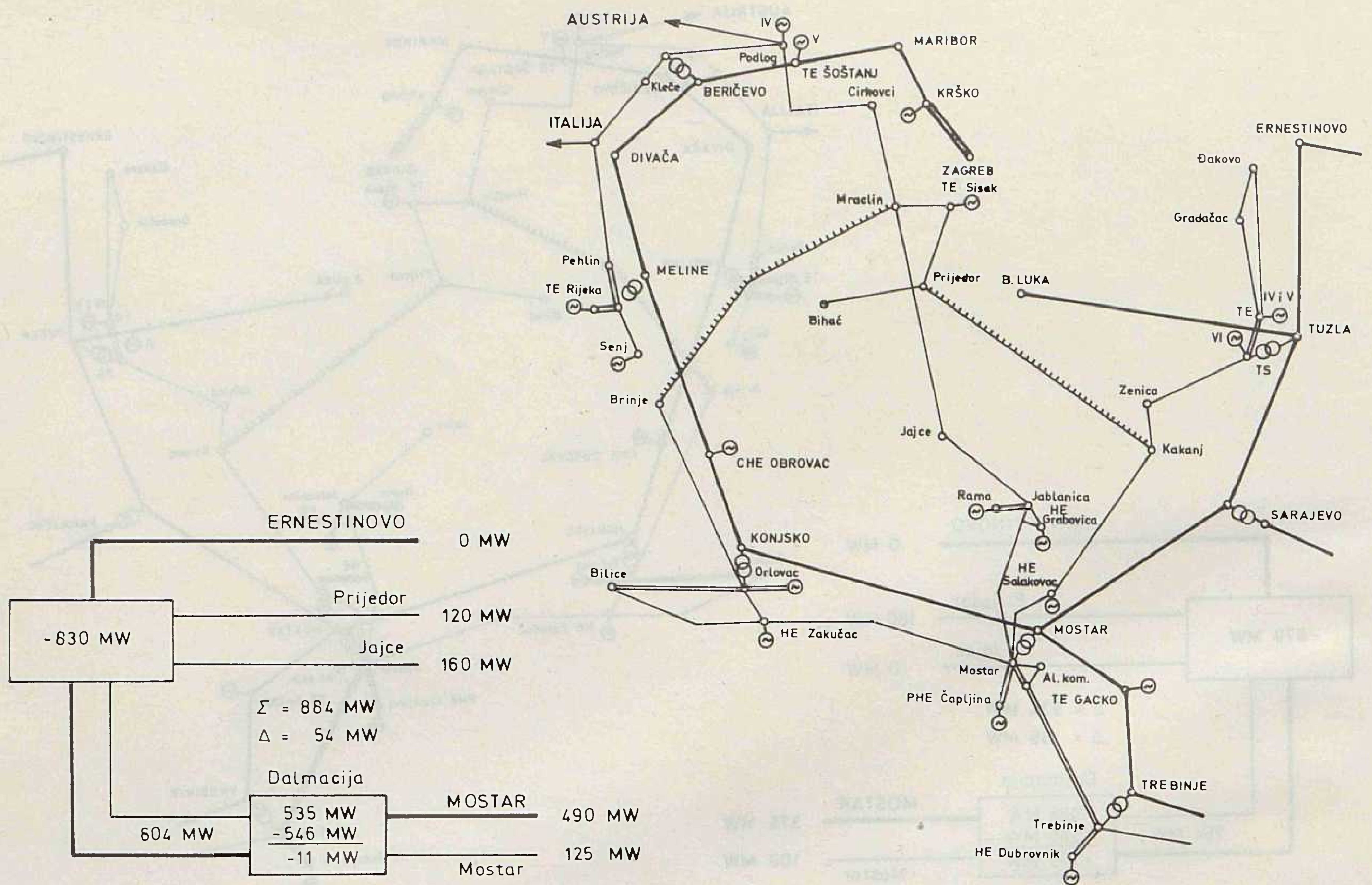
Zbog požara na trasi bio je isključen vod Tuzla — Kakanj (13.31), a zbog kvara prekidača ispao je vod Tuzla — Zenica (14.29). Distantna zaštita izbacila je u Salakovcu vod Kakanj — Salakovac (14.35) — vjerojatno zbog preniskih napona koji su se javili na 388 km dugom vodu HE Salakovac ... TE Sisak. Tako se u Bosni stvorio otok napajan sa »Zapada«: od Mraclina do Kakanja dužina vodova je 326 km.

Najteža posljedica izoliranja Kakanja od Tuzle i Salakovca (a vod za Jablanicu bio je u remontu) jest gubljenje DV 220 kV Prijedor — Sisak za prijenos na »Zapad«, pa se izgubljenih 120 MW njegova doprinosa mora rasporediti na preostale vodove: iz Jajca i one na južnom potezu.

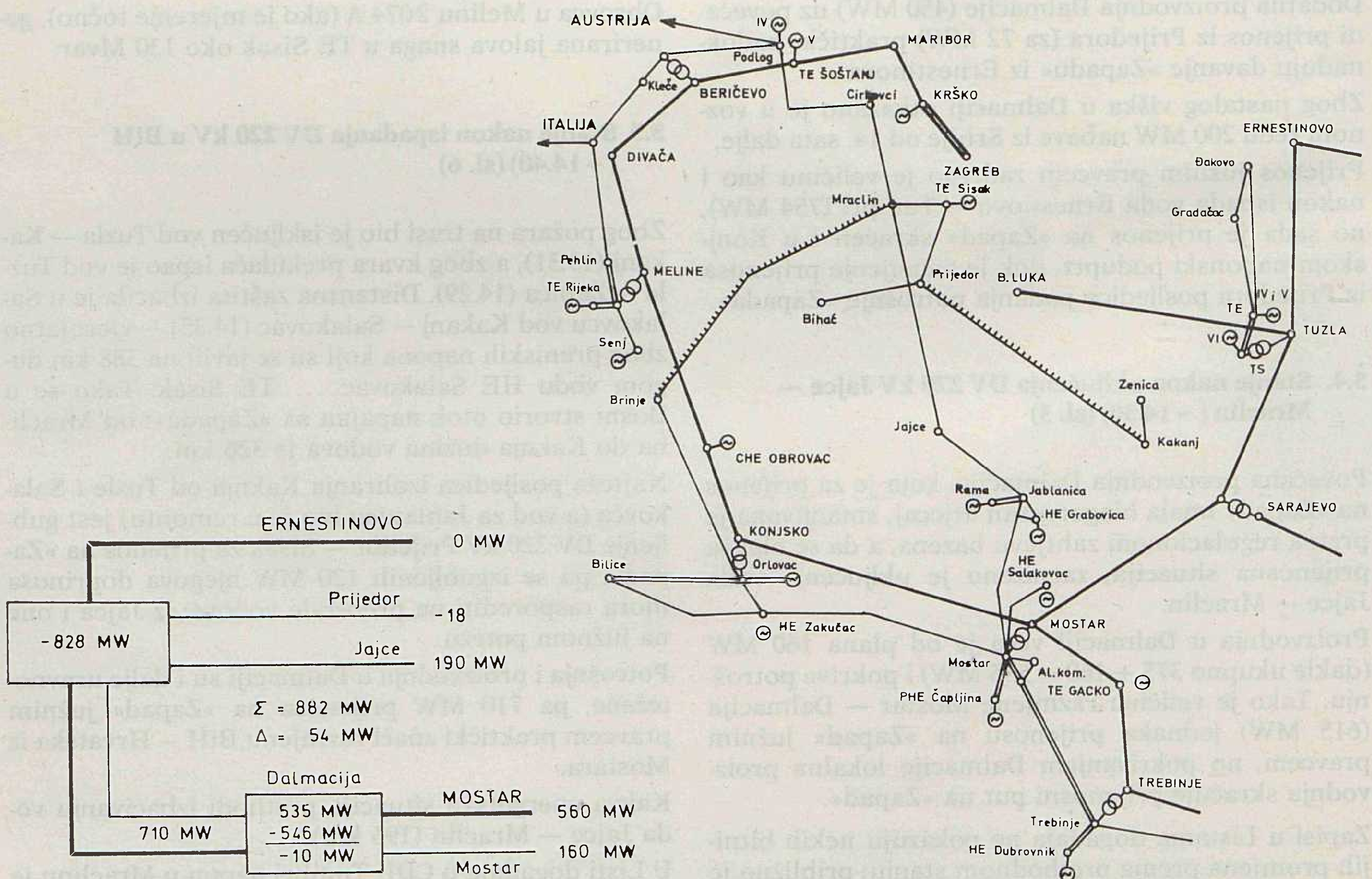
Potrošnja i proizvodnja u Dalmaciji su i dalje uravnotežene, pa 710 MW prijenosa na »Zapad« južnim pravcem praktički znači razmjenu BiH — Hrvatska iz Mostara.

Kakva energetska situacija prethodi izbacivanju voda Jajce — Mraclin (195 km)?

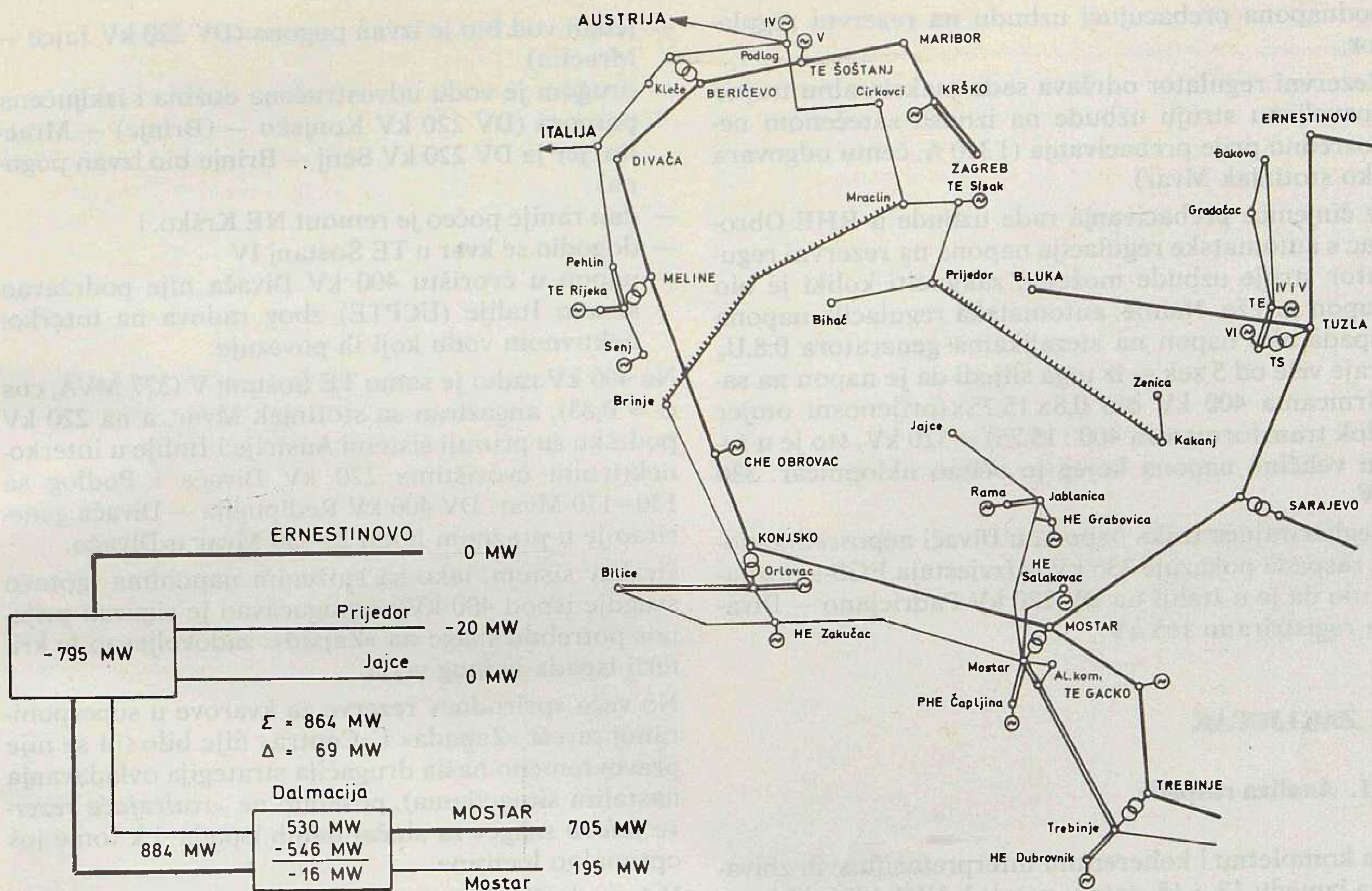
U Listi događaja u CDU Tumbri napon u Mraclinu je oko 202 kV s tendencijom padanja, u Mraclin se prenosi iz Jajca 205 MW a iz Konjskog (preko Brinja)



Slika 5.



Slika 6.



Slika 7.

210 MW. Iz Cirkovaca prima 100 Mvar, a Jajcu daje 102 Mvar. Dovoljno ima indicija za aktiviranje distantne zaštite (proradna impedancija 165 Ω) i izbacivanje voda.

5.6. Stanje nakon ispada DV 220 Jajce — Mraclin (~ 14.50) (sl. 7)

Ispadom voda Jajce — Mraclin i uz otok bosanskog konzuma na Sisku, cijeli prijenos na »Zapad« treba realizirati južnim DV 400 kV i DV 220 kV. U prijenosnoj situaciji na potezu Mostar — Dalmacija — »Zapad« nema promjene prema ranije utvrđenoj.

S obzirom na dotok energije iz Mostara, angažiranje agregata u HE Zakućac i lokalnu topologiju mreže preopterećuje se najkraći vod iz Zakućca, onaj za Konjsko (30 km), i zaštita ga izbacuje.

Ovaj ispad sigurno je oslabio nivo 220 kV napona u TS Konjsko, ali direktno ne sudjeluje u gubljenju magistralnih prijenosnih pravaca.

Treba, dakle, sada prenijeti 800–900 MW jednim DV 220 kV (328 km. Konjsko.... Mraclin) i jednim DV 400 kV (s obzirom na prijenos snage praktički 324 km, Obrovac.... Beračevu); na taj prijenos još će se superponirati kratkotrajna guranja energije iz »Centra« zbog kvarova u tom dijelu sistema.

Prema KRD u TS Konjsko posljednji zabilježeni iznosi struje i napona u polju DV Brinje bili su (korigirano na vrijeme RDC-a):

14.51.23 737 A s tendencijom porasta
14.51.38 197 kV s tendencijom padanja

a dodajemo još i nešto kasnije zapise u Listi događaja u RDC-u:

14.52.42 Konjsko: 189 kV
14.52.51 Mraclin: 181 kV,

što sve upućuje na opravdanost prorade distantne zaštite na vodu Konjsko — Brinje (proradna impedancija 120 Ω).

Naponi i struje zabilježeni u TS Melina i TS Pehlin također opravdavaju proradu distantne zaštite na vodu Obrovac — Melina (proradna impedancija 78,55 Ω). Prema Listi događaja u CDU Pehlin:

14.50.23 VP Divača 346 kV i VP Obrovac 349 kV oba s tendencijom padanja

a prema Listi događaja iz TS Melina (korigirano)

14.48.29 2074 A iz Obrovca (opet uz diskutabilnu točnost ovog mjerenja)

Njegovim ispadom deficit »Zapada« se mogao podmiriti jedino vodovima iz Austrije i Italije — oni ispadaju zbog preopterećenja i »Zapad« gubi napon.

Ti veliki padovi napona u sistemu uzrokovali su daljnje pogoršavanje situacije s podrškom u jalovoj snazi iz angažiranih elektrana: djelovali su, dakle, u istom smjeru.

U trenutku ispada voda Zakućac — Konjsko, i rušenjem nivoa napona u Konjskom, proradila je u RHE Obrovac zaštita automatske regulacije napona od

podnapona prebacujući uzbudu na rezervni regulator.

Rezervni regulator održava sada maksimalnu trajno dozvoljenu struju uzbude na iznosu zatečenom neposredno prije prebacivanja (1310 A, čemu odgovara oko stotinjak Mvar).

Iz činjenice prebacivanja rada uzbude u RHE Obrovac s automatske regulacije napona na rezervni regulator struje uzbude možemo zaključiti koliki je bio napon mreže. Naime, automatska regulacija napona ispada ako napon na stezaljkama generatora $0.8.U_n$ traje više od 5 sek — iz toga slijedi da je napon na sabirnicama 400 kV bio $0,8 \times 15,75 \times (\text{prijenosni omjer blok transformatora } 400 : 15,75) = 320 \text{ kV}$, što je u redu veličine napona kojeg je očitao uklopničar: 330 kV.

Registrirajuća traka napona u Divači neposredno uoči raspada pokazuje 336 kV iz izvještaja EGS-a doznajemo da je u Italiji na DV 220 kV Padriciano — Divača registrirano 165 kV.

6. ZAKLJUČAK

6.1. Analiza raspada

Za kompletnu i koherentnu interpretaciju svih zbivanja između 13. i 15. sata u petak 1. VIII 1986. koja su vezana uz raspad elektroenergetskog sistema nemamo dovoljno informacija. No iz provedene analize mogu se izdvojiti sumarne *sekvence stacionarnog pogona* koje daju kvalitativnu sliku i upućuju na logičan zaključak o uzroku raspada. Te etape imaju dovoljno širok vremenski interval da se sasvim ublažuje faktor pogreške zbog ionako neznatne neistovremenosti promatranih događaja i veličina.

Dijagram potrebnog prijenosa na »Zapad« određen je računski interpolacijom iz satnih ostvarenja operativnih vozni redova Hrvatske i Slovenije. Njihovom obradom slijedi da je 1. VIII 1986. u ranim popodnevnim satima trebalo prenositi na »Zapad« nedostajajuću snagu od 900–950 MW.

Korespondentnu sličnu veličinu trebalo se s druge strane utvrditi očitavanjem trenutnih vrijednosti sa raspoloživih registrirajućih traka na tranzitnim vodovima i tako potvrditi onu računsku. Pokazalo se kroz analize u 5. poglavlju da razlike između izračunatih i izmjerenih (očitanih) veličina iznose oko 55 MW, što se može pripisati aproksimacijama računa, netočnostima očitavanja traka, gubicima prijenosa, a uoči samog raspada i neodređenosti potrošnje »Zapada« (pa je i razlika nešto veća: 69 MW).

Manjak djelatne snage »Zapada« podmiruje se gotovo u potpunosti iz jugoslavenskog sistema putem superponirane mreže 220 kV i 400 kV a potrebnu *jalovu snagu za prijenos osigurava se na »Zapadu« izvorima na tim naponskim razinama, odnosno generiranjem mreže, i iz UCPTE.*

Promatranog dana bio je sistem u oba pogleda *oslabljen*, i prijenosnim putevima za tranzit i izvorima za angažiranje jalove snage:

- jedan vod bio je izvan pogona (DV 220 kV Jajce — Mraclin)
- drugom je vodu udvostručena dužina i isključena potpora (DV 220 kV Konjsko — (Brinje) — Mraclin, jer je DV 220 kV Senj — Brinje bio izvan pogona)
- dan ranije počeo je remont NE Krško, i
- dogodio se kvar u TE Šoštanj IV
- napon u čvorištu 400 kV Divača nije podržavao sistem Italije (UCPTE) zbog radova na interkonektivnom vodu koji ih povezuje.

Na 400 kV radio je samo TE Šoštanj V (377 MVA, $\cos \varphi = 0,85$), angažiran sa stotinjak Mvar, a na 220 kV podršku su pružali sistemi Austrije i Italije u interkonektivnim čvorištima 220 kV Divača i Podlog sa 130–170 Mvar. DV 400 kV Redipuglia — Divača generirao je u praznom hodu 25–30 Mvar u Divaču.

Ovakav sistem, iako sa sniženim naponima (gotovo svagdje ispod 400 kV), omogućavao je siguran prijenos potrebne snage na »Zapad«: zadovoljavao je kriterij ispada jednog voda.

No veće »prirodne« rezerve za kvarove u superponiranoj mreži »Zapada« i »Centra« nije bilo (ili se nije pravovremeno našla drugačija strategija ovladavanja nastalim situacijama), posebno ne »rotirajuće rezerve jalove snage« za slučaj daljih ispada, i k tome još optimalno locirane.

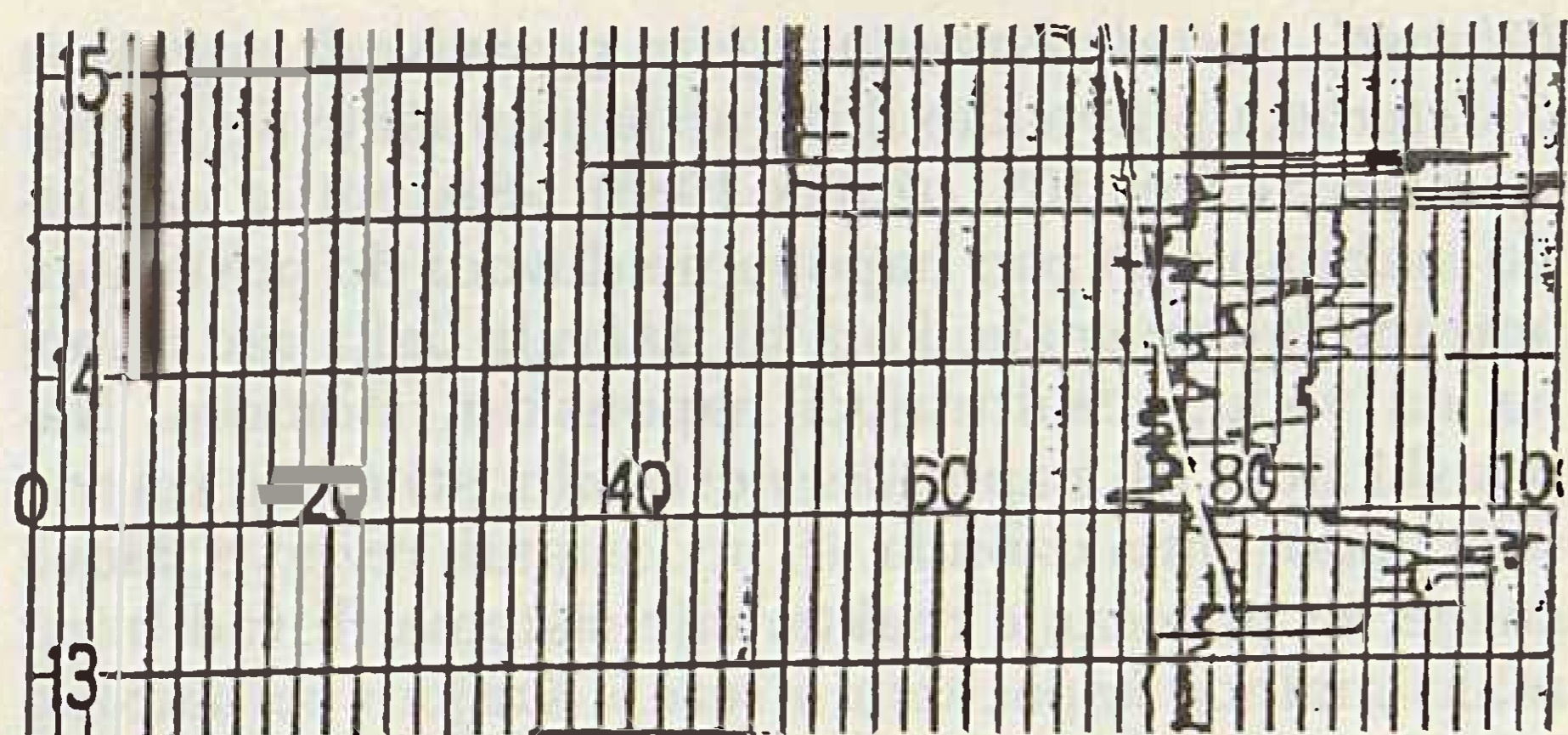
U 4. poglavlju dana je najvjerojatnija kronologija događaja koja je teško sastavljena iz raspoloživih izvora. Točno odvijanje onemogućuje nedostatak centralno sinhroniziranog vremena, pa i u postrojenjima same elektroprivrede Hrvatske. Osim toga različito su postavljeni pragovi prorada u Listama događaja u RDC-u i CDU-ima pa nije moguće između područja kontinuirano pratiti neku veličinu.

Ispadom DV 400 kV Ernestinovo — Tumbri u 13.21 *tranzitirane snage se povećavaju i preraspodjeljuju* na preostale vodove: proporcionalno najviše preuzima paralelni pravac iz središnjeg dijela »Centra« (Prijevor — Sisak), a ostatak vodovi na južnom potezu, gdje Mostar dijelom osigurava ono što je izgubljeno za »Zapad« iz Ernestinova. (O samom ispadu: kvaru, njegovu (ne)nalaženju, ponovom uključivanju mogao bi se dati vrlo sadržajan i instruktivan prikaz. Za početak pogledati »Elektroprenos«, br. 198, kolovoz 1986. i materijal za prvu sjednicu Savjeta za prijenos ZEOH-a 21. X 1986. u Splitu).

Ovo naprezanje prijenosne mreže rezultiralo je općom degradacijom naponskog profila »Zapada«.

Praksa vođenja pogona mreže u potpuno zatvorenim petljama uzrokuje da se ispadom DV 400 kV preopterećuje i ispada električki najbliža paralelna niženaponska veza: DV 110 kV Slavonski Brod — Slavonska Požega.

Za smanjivanje tranzita BiH — »Zapad«, prvenstveno oterećivanje vodova 220 kV, u Dalmaciji je od 13.33 u toku desetak minuta podizana proizvodnja za oko 450 MW. Tom akcijom angažiranja izvora sveden je tranzit iz Mostara na veličinu kao prije poremećaja, — a ujedno je izvor napajanja približen deficitarnom »Zapadu« (sl. 8).



Slika 8. Registrirajuća traka sa DV 400 kV Mostar — Konjsko i DV 220 kV Mostar — Zakućac

Regulacioni zahtjev na bazen tražio je da se proizvodnja smanjuje, pa je spuštена na onu prema izmijenjenom voznom redu operativno utvrđenim otkazivanjem nabave 200 MW iz Srbije. Oko 14.15 smanjena je za oko 300 MW i ustaljena.

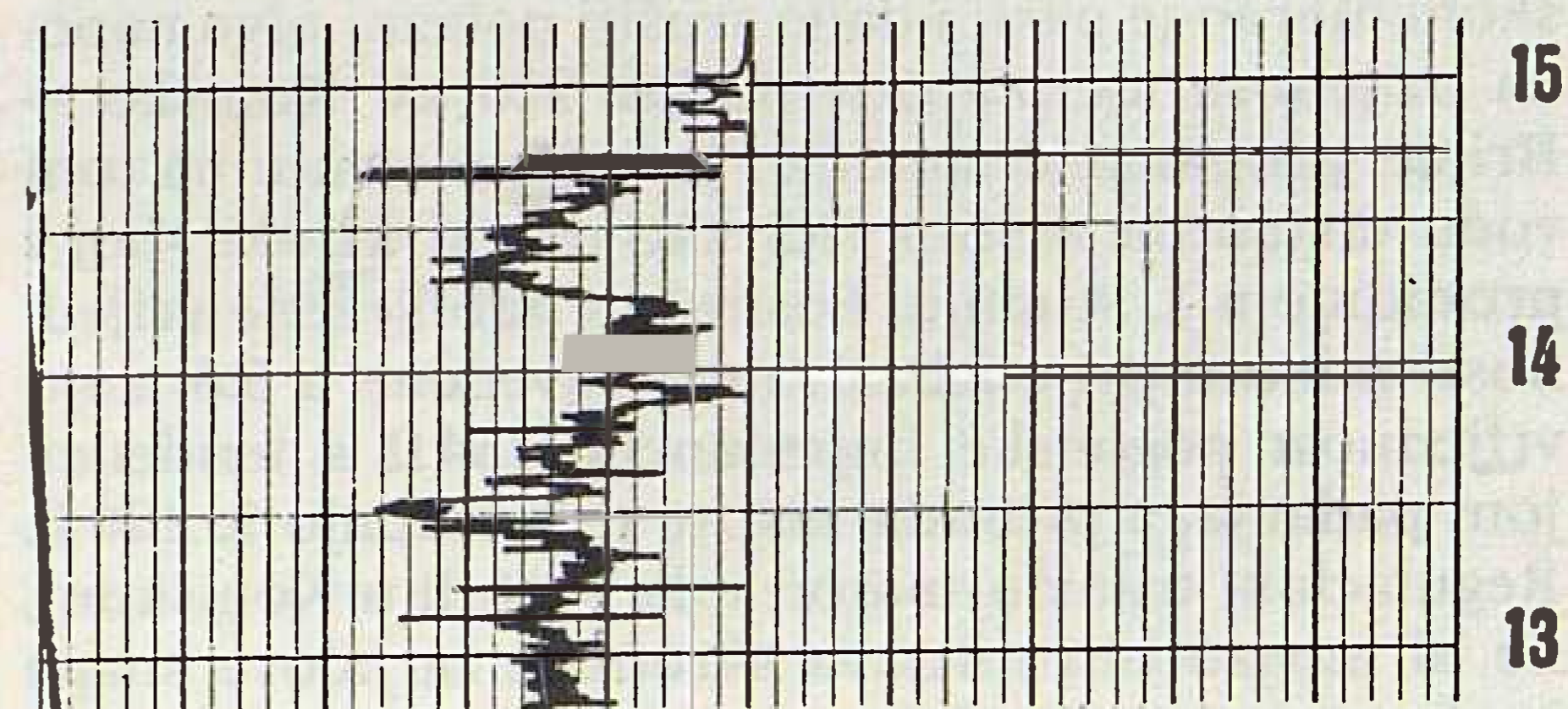
Uključenjem voda Jajce — Mraclin u 14.27 tranzit na »Zapad« raspodjeljuje se na tri DV 220 kV jedan DV 400 kV, pa se situacija s prijenosom može smatrati izvanrednom, no pogonski još uvijek zadovoljavajućom — to više što je potrošnja u opadanju. Jalova snaga maksimalno je angažirana tamo gdje je moguće: oko 280 Mvar iz UCPTЕ, TE Šoštanj V oko 150 Mvar — dakle stotinjak Mvar više nego prije ispada voda Ernestinovo — Tumbri. No treba skrenuti pažnju i na smanjeno generiranje mreže.

Kvarovima u BiH izgubljen je od 14.35 vod Prijedor — Sisak za prijenos na »Zapad«. Stanje u sistemu je kritično, ali se pogon održava još sljedećih 15 minuta. Proizvodnja u području Zagreba nije mijenjана, a pretpostavljamo ni u Sloveniji (na Rijeci nije ništa ni bilo u pogonu). Nije bilo ni interventnog uvoza iz Austrije i Italije kao ni redukcija potrošnje ili sekcioniranja sistema, pa se prijenos na »Zapad« smanjuje samo zbog padanja potrošnje (uočavanjam ovih varijabli pomišljamo i na pravce mogućih intervencija). Dodajemo da na vrlo napregnuti prijenos upućuju i jake nesimetrije koje su se prema informaciji iz BiH pojavile u Kaknju (vezanom samo na »Zapad«) pri pokušavanju uklapanja voda iz Jablanice zbog kojih se nije ni priključio: vjerojatno su te nesimetrije posljedica velike razlike u kutovima modula napona u Kaknju i Jablanici.

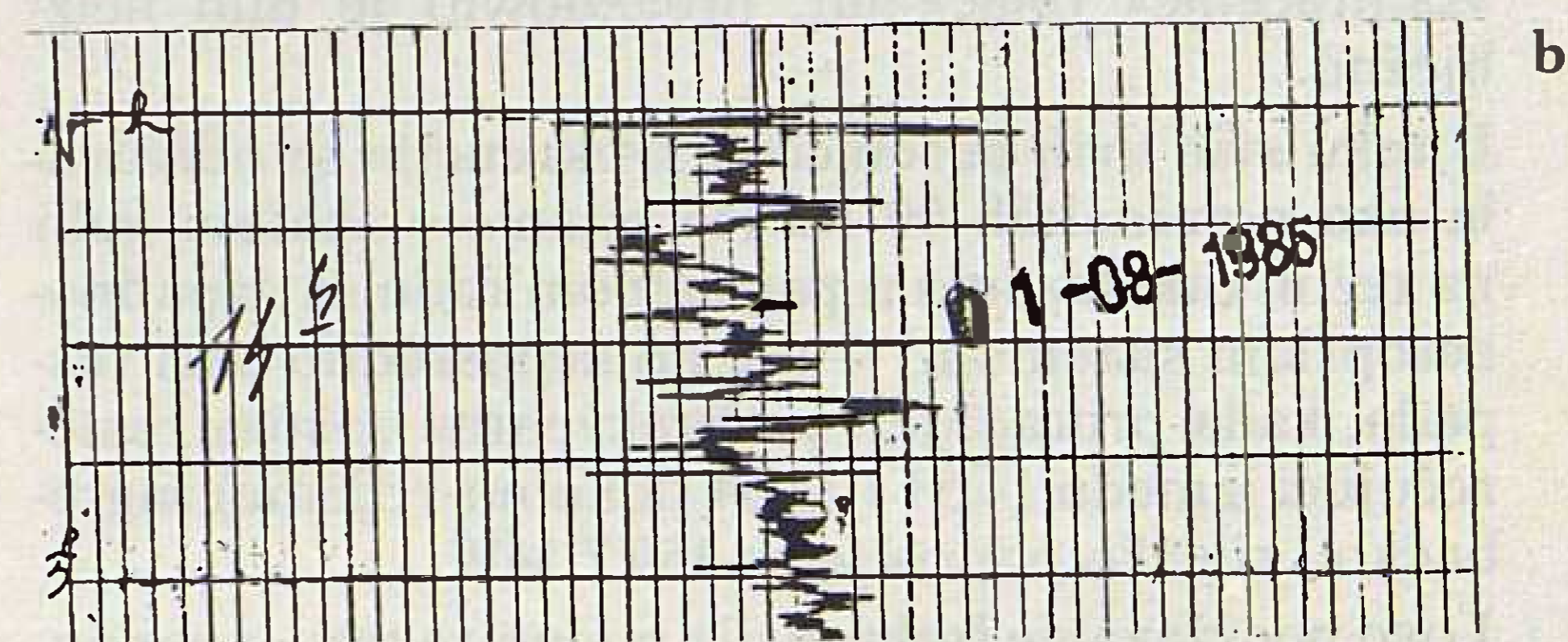
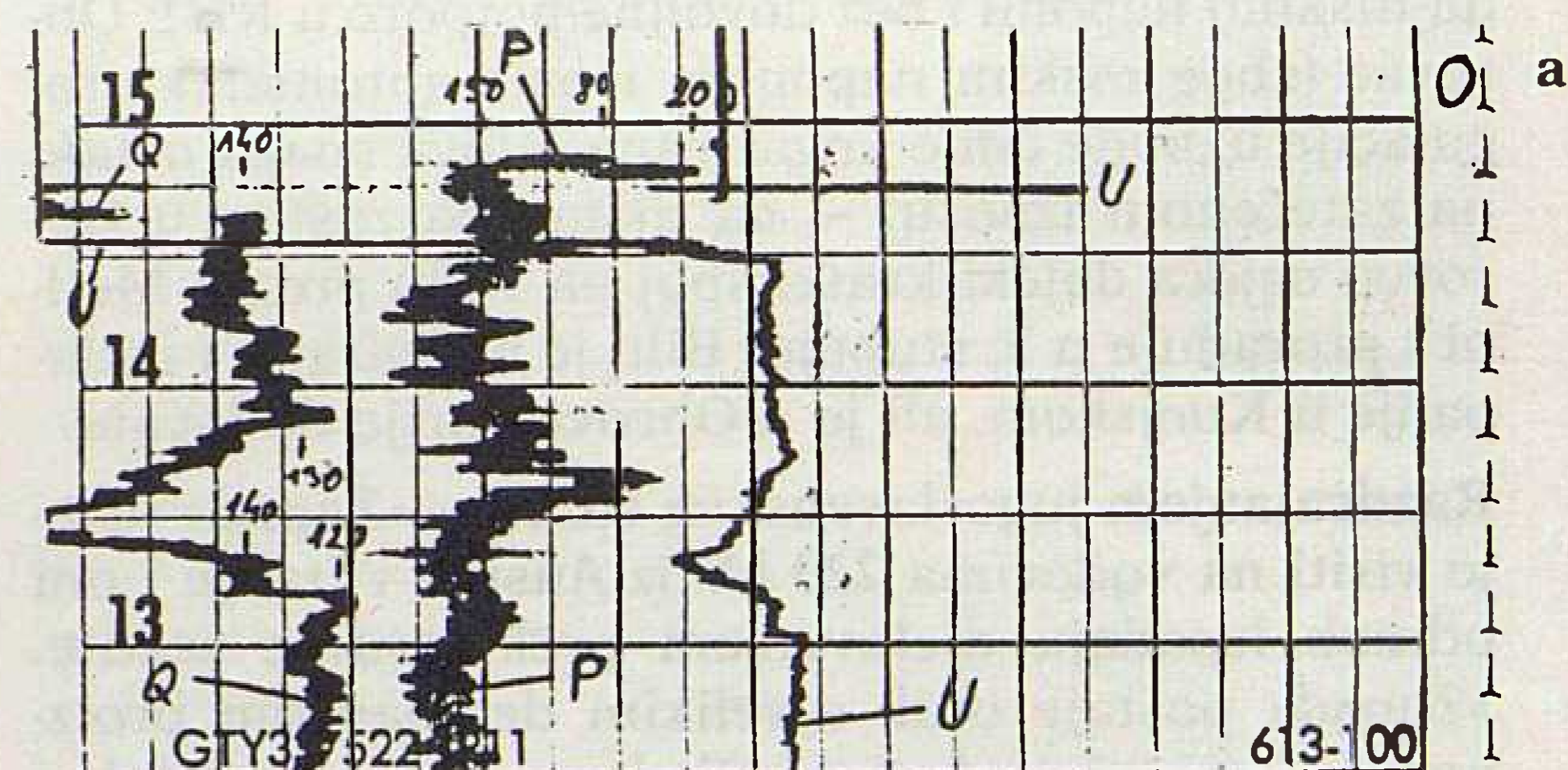
Zašto je ispao vod Jajce — Mraclin koji je zadao drugi i definitivni udarac stabilnosti sistema? S obzirom na gustoću događaja u BiH oko 14.50 i nedostatak točnih kronoloških i energetskih podataka na to je pitanje teško odgovoriti. Možda je ispadom transformatora u Kaknju u naponski već sasvim nestabilnom stanju više izgubljeno (proizvodno čvorište, iako angažiran na 110 kV — kao i TE Sisak) iz aspekta nivoa napona u Mraclinu nego što je dobiveno smanjenom potrebom napajanja iz Siska ispadanjem transformatora u Prijedoru i Zenici. Ili je napon u ovako labilnoj situaciji povukao ispad transformatora u Jajcu (ako nisu ispali zajedno s vodom). Možda su ga zaljuljale i srušile sklopne manipulacije jer je iz svega (refleksi u Hrvatskoj, izvještaj dispečera iz Sarajeva) očito da je u BiH bilo vrlo dinamično.

Najvjerojatnije da je uz prisutno sve spomenuto statička stabilnost srušena kratkotrajnom impulsom energije iz BiH, evidentiranim na registrirajućoj traci regulacije bazena BiH: oko 160 MW — koji se trebaju rasporediti na preostala tri voda prema »Zapadu« (iz Jajca i iz Mostara). Izlazak iz sistema »Zapada« tih približno 160 MW gurnutih iz BiH oko 14.50 može se pratiti kroz predaju Sloveniji (sl. 9) i dalje kroz čvorišta Divača i Podlog u UCPTЕ (sl. 10). Prema Padricianu izvoz pada na oko 10 MW, a prema Obersielachu naraste na oko 150 MW, dakle, ukupno 160 MW. Baš činjenica da je najveći dio gurnut kroz Podlog upućuje da je taj nad-tranzit morao leći i na vod Jajce — Mraclin upravo kritično povećavajući pad napona. Izračunato s neistovremenim veličinama navedenim u 4.5 pogonska je impedancija na tom vodu 177 Ω , koja se s obzirom na tendenciju pada napona i porasta struje lako može očekivati da padne ispod proradne impedancije 165 Ω .

Nakon ovog udarca uspostavilo se novo ravnotežno stanje: sistem se povratio i držao daljnjih dvije do tri minute, kako se najbolje vidi s registrirajuće trake razmjene Podlog — Obersielach (sl. 10).



Slika 9. Registrirajuća traka ukupne razmjene Hrvatska — Slovenija



Slika 10. Registrirajuće trake razmjene sa UCPTЕ: a) DV 220 kV Divača — Padriciano; b) DV 220 kV Podlog — Obersielach

Sada se prijenos na »Zapad« reda veličine 800 MW preraspoređuje na dva voda:

- DV 220 kV dužine 328 km do Mraclina, i još 326 km do izoliranog Kaknja
- DV 400 kV dužine 181 km do Meline i još 143 km do Beričeva (dokle seže taj prijenos).

Ovome je kolidiralo produžavanje prijenosnog puta jer je ulaskom Zakučca u regulaciju padala proizvodnja u Dalmaciji pa se povećavao uvoz iz Mostara.

Impedancija mreže za prijenos na »Zapad« bitno se, dakle, povećala (dok se kapacitivnost, koja normalno poboljšava uvjete, smanjila).

Da li se u toj već kritičnoj situaciji na ova dva preostala interkonektivna voda »Centar« — »Zapad« sručio još jedan trenutni udar iz »Centra«? Na postavljeno pitanje teško je odgovoriti s apsolutnom sigurnošću.

Pomnim promatranjem moguće ih je razaznati na registrirajućim trakama razmjene na vodovima iz Mostara (sl. 8), razmjene sa Slovenijom (sl. 9) i sa UCPT (sl. 10); detaljno je ta mogućnost ispitivana u (L. 1).

Ispadanjem voda Zakučac — Konjsko napon u Konjskom morao je pasti i dalje srušiti polazni nivo napona prijenosa na »Zapad« na DV 220 kV Konjsko — Brinje: propadanje napona i povećanu struju na tom vodu distantna zaštita vidi kao daleki kratki spoj i proraduje u 3. stupnju. Posljednje zabilježene vrijednosti minutu prije izbacivanja, navedene u 5.6, daju vrijednost pogonske impedancije 154 Ω s tendencijom padanja, a prorada zaštite u 3. stupnju je 120 Ω. Regulacioni transformator, i da postoji u Konjskom, ne bi mogao biti nikakva skretnica za jalove snage jer je naprosto nije bilo.

Cijeli prijenos na »Zapad« preuzima sada DV 400 kV: padovi napona su tako veliki — pri već na početku voda niskom naponu i bez dovoljne potpore u RHE Obrovac (zbog niskim naponom ispale automatske regulacije uzbude čime angažirana jalova snaga ostaje na zatečenom iznosu) — da distantna zaštita u Obrovcu osjeća daleki kratki spoj na vodu prema Melini i proraduje u 3. stupnju. Bilo je aktivirano i isklapanje u Konjskom, ali je u Obrovcu prije djelovala.

Razdvajanjem jugoslavenskog sistema »Zapad« ostaje visiti na vodovima 220 kV iz Austrije i Italije i oni odmah ispadaju djelovanjem prekostrujne zaštite. »Zapad« postaje otok s velikim debalansom proizvodnje i potrošnje: frekvencija i napon naglo padaju i »zamračenje« (black-out, breakdown) je bilo neizbježno.

U toku svih ovih poremećaja frekvencija se održavala oko nominalnih 50 Hz (to pitanje uostalom gubi na težini otkako smo u paralelnom radu sa zapadnoevropskim sistemom) — sve do neposredno uoči raspada, kada proraduje i podfrekventna zaštita rastećući između 14.51 i 14.54 (lokalno vrijeme) zagrebačko i riječko područje za 169,7 MW.

I ovo podržavanje frekvencije podupire tezu o naponskom slomu.

Raspad od 1. VIII 1986. eklatantan je primjer naponskog sloma kao posljedice naglašene naponske nesta-

bilnosti, nastale kombinacijom nezavisnih događaja u sistemu, upravo kao ilustracija skorašnje definicije u »Electri« (br. 105, ožujak 1986): »Sistem je naponski stabilan ako pad napona ne dovodi do povećanja potrebe jalove snage koja bi izazvala dalji pad napona na vodu, rezultirajući naponskim slomom. Naponski slom (ili naponsku nestabilnost) može izazvati ili nedovoljna uzbuda, tj. nedostatak rezerve jalove snage, ili povećanje reaktancije sistema ili rad blizu maksimalnog kapaciteta mreže.« Krajem petnaestog sata 1. VIII 1986. sve su ove tri komponente bile prisutne na »Zapadu« i njegovoj vezi s »Centrom«.

6.2. Neisporučena energija

Koliko je energije izgubljeno u Hrvatskoj od »zamračenja« u 14.53 do 17.21 kada je posljednji potrošač (TS Križevci) dobio napon? Prema dijagramu opterećenja na sl. 11 gubitak do veličine planske potrošnje iznosi 1600 MWh, a imajući u vidu da je prije raspada potrošnja bila oko 5% preko plana, to se može zaključiti da je gubitak energije 1700 MWh.

Izraženo u postocima ostvarene potrošnje to nije mnogo (jer se ipak radi o kraju jednog ljetnog radnog tjedna):

$$\frac{1700}{35567 + 1700} = 4,6\%$$

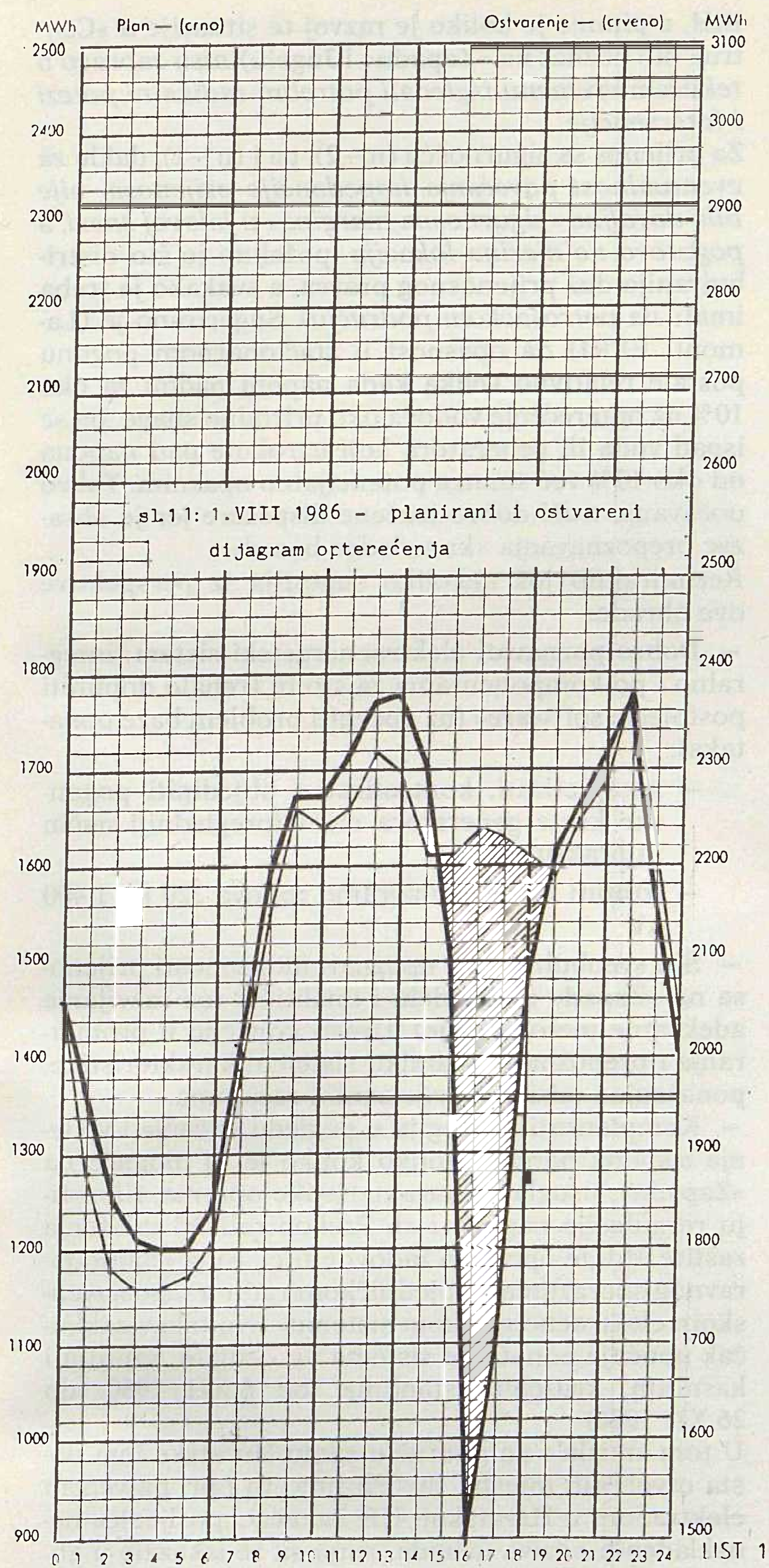
Kvantificiranje neisporučene energije vrlo je teško jer nemamo razrađene i prihvaćene metode (koliko nam je poznato), a svako pridjeljivanje novčane jedinice izgubljenom kWh trebalo bi biti dobro utemeljeno.

U [L. 1] navedeno je nekoliko mogućnosti i pravca traženja odgovora: kroz tarifne stavove o električnoj energiji, valorizacijom izgubljenog društvenog proizvoda, preko cijene proizvodnje u termoelektranama na tekuće gorivo količine energije jednake onoj izgubljenoj, klasifikacijom primjenom međunarodnih relativnih kriterija (prema kojima se kvarovi ovakvog opsega događaju u svijetu prosječno svakih osam godina).

6.3. Uspostava sistema

Ograničit ćemo se samo na najmarkantnije događaje u prijenosnoj mreži i bez traženja naročite točnosti (različiti izvori); dalekovodi su uključivani:

15.02.47	Konjsko — Zakučac
15.13	Obersielach — Podlog
15.27	Divača — Pehlin
15.29	Divača — Melina
15.34.06	Konjsko — Brinje
14.43	Padriciano — Divača
15.44.05	Obrovac — Melina
16.15.05	Cirkovci — Mraclin
16.20	Prijedor — Međurić
16.22	Jajce — Mraclin
16.38.17	Krško — Zagreb
2.VIII, 00.23	Ernestinovo — Tumbri



Slika 11. 1.VIII 1986 — planirani i ostvareni dijagram opterećenja

Zbog opće informacije navedimo da je DV 400 kV Redipuglia — Divača ponovo u pogonu od 8. VIII u 18.22.

6.4. Diskusija i opaske

Zadublivanje u anamnezu jednog raspada ujedinjuje sve one nedostatke koji su »sektorski« uglavnom poznati: od izgradnje elektroenergetskog sistema do upravljanja.

Ostajući samo na teritoriju ZEOH-a, nekoliko opažanja uz rad na ovoj analizi ipak treba zabilježiti (parcijalno, u mekoj formi i generalizirajući, ne ostajući vezanim samo za 1. VIII), pa i ponoviti neke konstatacije. Bez pretenzije na sistematičnost i cjelovitost (ograničeno vrijeme, načelne natuknice) nećemo se zadržavati na detaljima formalnog karaktera i iznositi uz njih bogatu dokumentaciju, iako su imali veliku ulogu u ovom poremećaju i zbivanjima poslije njega; njih je najlakše ukloniti kao npr:

- registraciju komuniciranja i aktivnosti (kazete, teleksi, zapisnici u dnevniku), kao i mjernih veličina
- funkcioniranje hijerarhije i koordinacije; u ovom konkretnom slučaju: Jugel i republički centri »Zapada« i »Centra« (vidi čl 58. »Samoupravnog sporazuma o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu«) i ti centri međusobno (od operativnog planiranja do akcija pri poremećaju)
- solidnost i temeljitost »kućnih« analiza na svim nivoima (dispečerskih: neposredne operative i analitičkih službi, analiza u područjima i postrojenjima) i s tim u vezi
- izvještavanje javnosti (pri čemu bi se trebalo zaista odlučiti: ili je ignorirati ili respektirati (što je na »Zapadu« postalo vrlo osjetljivo, kako pokazuju diskusije o nuklearnim i termoelektranama ili tarifama).

U sistemu postojeće izgrađenosti (koja objektivno pada jer potrošnja raste a gradnja stagnira), dakle s neizvedenom II fazom »Osnovne 380 kV mreže Jugoslavije«, studije (recenzirane i prihvaćene na najvišem nivou) već od 1976. (ranije nismo listali) pokazuju da je tzv. *prijenos na »Zapad« limitiran ne termičkim kapacitetom vodova, nego mogućnostima u podršci jalovom snagom*. Za interkonektivne vodove »Centar« — »Zapad«, najduže u jugoslavenskoj 220 kV i 400 kV mreži (uz vod Đerdap — Beograd i imajući u vidu da vod iz Prijedora energetski znači iz Kakanja), jedva da ima smisla razmišljati o termičkoj granici: prema »Pogonskim uputama« za ljeti dozvoljenu trajnu snagu 1 100 MVA (1 600 A) trebalo bi na nominalnom naponu 400 kV za vod Ernestinovo — Tumbri (233 km) osigurati oko 450 Mvar, a za vod Obrovac — Melina (181 km) oko 350 Mvar; na 360 kV u oba slučaja još stotinjak Mvar više!

Naglašavamo ovu potrebu za jalovom snagom u prijenosnoj mreži, i korisne bi bile bilance jalovih snaga analogne onima za djelatnu (u smislu održavanja napona u granicama prema Pogonskim uputama, pa i nekih drugih pogodnosti), — barem za superponiranu mrežu i minimalno za predvidivo sumnjiva stanja sistema (kakvo je bilo 1. VIII). Ta ovisnost naročito je naglašena u havarijskim situacijama, i to je ono što komplicira moguće jednoznačene odgovore u planiranju (tim više što treba promatrati cjelinu »Zapada«).

Problemi se može pojaviti i u suprotnom smjeru, kao što je to npr. bilo generiranje velikih jalovih snaga na južnom potezu 400 kV Mostar . . . Divača [L. 2]

Događaj od 1. VIII jasno osvjetljava i ističe problematiku koju implicira planiranje izgradnje izvora van republičkih granica (otežano sličnim razmišljanima u Sloveniji). Plasman energije iz tih izvori traži rješenje podrške prijenosa u jalovoj snazi, što dosada nije nigdje valorizirano, pa je i to u širem smislu pitanje priključka! Iz ovih vizura trebat će općenito dograditi tretiranje izvora planiranih daleko od potrošačkih centara; kašnjenje NE Prevlaka samo će potencirati rješavanje problema koji nameće dalje razvijanje longitudinalne strukture energetske sistema. Analogno vrijedi i za eksploataciju sistema.

Postojeća topologija sistema i njegove stvarne mogućnosti traže veliku umješnost u vođenju zbog

- nedovoljne rezerve magistralnim prijenosnim pravcima »Centar« — »Zapad«, kao i transverzalnih zatvaranja petlji, te slabog aktivnog ulančenja između naponskih nivoa prijenosne mreže,
- diskutabilne raspoloživosti značajnih izvora priključenih na superponiranu 220 kV i 400 kV mrežu.

Već u planiranju je bilanca proizvodnje za podmirivanje potrošnje određena dosta nesigurno: »Planiranom proizvodnjom električne energije u kojoj hidroelektrane učestvuju na bazi 70% vjerojatnoće pojave sušnosti, termoelektrane na uglj sa visokim godišnjim iskorišćenjem od preko 5000 sati, nuklearna elektrana sa maksimalnom proizvodnjom i termoelektrane na tečno gorivo sa planskim iskorišćenjem raspoloživih kapaciteta ispod 30%, mogu se na nivou zemlje u celosti zadovoljiti potrebe potrošnje sa različitim situacijom po elektroprivredama republika i autonomnih pokrajina.«

Dodajemo veliku neizvjesnost »hidrologije nafte« i proširimo model uključivanjem faktora prijenosne mreže (čija je pouzdanost čvrsta funkcija održavanja potencirana starenjem i kvalitetom opreme, te organizacijom rada) i slijedi da se raspadi sistema i ubuduće mogu očekivati, pa i sa znatno težim posljedicama. (Javlja se heretičko pitanje nije li rizik raspada u sadašnjim prilikama jeftiniji od zadovoljavanja uvjeta koje postavlja povećana sigurnost. S obzirom na događaj koji ovdje razmatramo navedimo nedavnu ocjenu da je previđanje mjera opreza u pogledu rizika od sloma napona »tehnički infantilno« (A. Calvaer, RGE, br. 8, 1986).

Koncentrirajući se opet na 1. VIII: za potrebnu veličinu prijenosa mreža je zadovoljavala prema kriteriju (n-1) jer je vod Jajce — Mraclin već bio izvan pogona. Sa (n-1) prošlo se konačno i kroz večernji vrh, što također verificira sposobnost mreže, — ali s potencijalnom opasnošću da se ponovi sve što se događalo poslije podne (sjetimo se kada se pred dvadeset godina, 7.VIII 1966, elektroenergetski sistem zapadne Hrvatske dvaput raspadao (u 12.44 i 16.04). Ispad još jednog voda u konkretnoj situaciji značio je zapravo uvjet (n-2)! Kratki spoj na vodu Ernestinovo — Tumbri nije izazvao raspad sistema iako tada počinje njegovo teturanje zbog događaja i akcija koje su slijedile. Sve do gubitka voda Prijedor — Sisak za prijenos na »Zapad« (što je nastalo događajima u

BiH, a pitanje je koliko je razvoj te situacije u »Centru« bio poznat na »Zapadu« i Jugelu), nisu zapravo u tekućem vremenu izgledali potrebni radikalni potezi i intervencije.

Za prijenos sa sigurnošću (n-2), pa i (n-1), dakle za eventualnost povećanja impedancije prijenosa, nije bila dovoljna »sigurnosna margina« u jalovoj snazi, a pogotovo ne njezina lokacija (poželjno je što distribuiranja duž prijenosnog pravca, a svakako je treba imati na potrošačkom području). Sugerirano je (Lamont, EPRI) da opasnost u stacionarnom pogonu postaje relativno velika kada naponi padnu za oko 10% uz opterećenje vodova oko prirodne snage, pa se ispad voda ili generatora koji uzrokuje pad napona od oko 10% već smatra potencijalno opasnim. Takvo uočavanje traži dobro izučene dispečere jer je obrazac prepoznavanja »knowledge based«.

Rezimirajmo još nekoliko sugestija iz perspektive ove obrade:

- Dobro poznavati elektroenergetski sistem: integralno i po komponentama za što bi trebalo dopuniti postojeći »software« (uz općeniti problem baze podataka):

- kompletirati, kontrolirati i objediniti pogonske karte generatora na najpregledniji način za praksu

- izraditi kružne dijagrame vodova 220 kV i 400 kV

- Što sveobuhvatnije upoznati mogućnosti prijenosa na »Zapad« na modelu i analitički (uz razvijanje adekvatne metodologije). Uvesti konačno u promatranje i prepoznati dinamiku sistema: karakteristike, ponašanje i odzive u prijelaznim režimima.

- Kompletirati strategiju u pogledu štice i vođenja sistema barem onoliko koliko je to moguće na »Zapadu«, usuglasiti karakteristike opreme, filozofiju regulacije napona i sl. Prekontrolirati udešenja zaštite, itd. te općenito zadovoljiti čl. 65 iz »Samouravnog sporazuma o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu«. Na takav zaključak upućuje ponašanje sistema i u drugim, ranijim i kasnijim, kritičnim stanjima (od 8.XII 1980. do 26.XII 1986)

U tom smislu i na području samo Hrvatske ima dosta otvorenih mjesta. Ilustrirajmo to npr. najvećom elektranom u Hrvatskoj, HE Zakučac: posljedice neusklađenih odziva uzbuda jasno su se iskazale u abnormalnoj situaciji sistema, kada je »zaštita od nestanka uzbude«, u stvari zaštita od prevelike apsorpcije jalove snage, poslije razdvajanja sistema »Centra« i »Zapada« izbacila generator G-3, pa bi tehničke parametre regulacije napona trebalo usuglasiti (i tako ostvariti preduvjet za eventualno uvođenje grupe regulacije jalove snage, čime bi se olakšalo upravljanje elektranom i jednoliko opteretilo angažirane agregate). Dalje je pitanje zašto i novi generatori nisu predviđeni za automatsku regulaciju (nego samo stari), pa zašto se u Konjskom sva jalova izvlači iz Zakučca, a ne i iz Orlovca bez obzira na njegove nevelike mogućnosti; 1.VIII od sinhroniziranja na mrežu generatori HE Orlovac davali su jedva koji Mvar, a mogu ipak do tridesetak.

Ovaj kompleks pitanja oko rada elektrana koja nadilaze interes samo za angažiranje djelatne snage traži reviziju funkcije elektrana; taj je širi, sistemski, horizont: regulacija (primarna i sekundarna) angažiranje po jalovoj snazi u prvom i drugom kvadrantu. i sl. U konkretnim okolnostima ovakvo sagledavanje relativizira činjenica malog broja izvora u pogonu.

Treba spomenuti i neefikasnost automatskog podfrekventnog rasterećenja. Ukupno je na zagrebačkom i riječkom području moguće izbaciti u sva četiri stupnja podfrekventne zaštite 699,6 MW (535,3 + 164,3) a stvarno je izbačeno samo 169,7 MW. To ukazuje na neophodnost kontrole podfrekventnih releja i potrebu njihovog objedinjavanja i moderniziranja. Na zagrebačkom području, napr., 12 releja su elektromehaničkog tipa a 7 statičkog, a na riječkom su 2 elektromehanička i 11 statičkih (dvije izvedbe).

— Opremiti održavati registrirajuće instrumente snage (obje komponente) i napona barem na interkonektivnim vodovima superponirane mreže (razmjene između republika, ali i između elektroprivrednih područja u Hrvatskoj) i na transformatorima na tim naponskim nivoima. Provjeriti nulu i uvesti primjenjiva mjerila.

Očekujući veće incidente i ubuduće, trebalo bi nastojati što prije aktivirati registracije post mortem.

— Uvesti centralno sinhronizirano vrijeme u postrojenja kao referentno, te uz kritički pristup ujednačiti pragove prorada KRD i zapisa u Listi događaja (koristeći dosada stečeno iskustvo u primjeni). U nastavku ćemo trebati riješiti pitanje bilježenja i arhiviranja podataka.

Još u vezi s mjerenjem: provjeriti kompatibilnost, jer, npr., struje koje se očitavaju u Melini ne odgovaraju prividnoj snazi koja se izračunava u RDC-u (sa strujom očitanim u Melini i naponom očitanim u RDC-u ne dobivaju se MVA koji slijede iz MW i Mvar očitanih u RDC-u).

Da li se naš raspad 1. VIII mogao spriječiti? Vjerojatno, iz današnje perspektive, jer je degradacija napona i konačno slom (kolaps) spor fenomen, no trebalo je da svi sudionici u relativno kratkom vremenu (ovisi o tome od kada smatramo da je počelourušavanje) s mnogo inicijative vuku prave poteze. Uostalom, indikacija naponske nestabilnosti nije tako uočljiva u svom začetku (kao što je to slučaj s preopterećenjem ili frekvencijom) i traži razvijen osjećaj u tom smislu.

Što je moguće poboljšati iz perspektive ovog raspada u realnim uvjetima sistema? Opet komplementirajući planiranje i eksploataciju, ne ponavljajući što već sadrži postojeća praksa (osim naglašavajući značenje održavanja u stagnaciji obnavljanja i izgradnje), navedimo bez pretendiranja na iscrpnost.

— Vozne redove treba kompleksno tretirati, a ne samo kao djelatne snage i kroz istosmjerni model; valorizirati operativni ukupni tranzit (dakle i prijenos za Sloveniju odnosno izvoz).

— Jalovoj snazi treba dati njezinu pravu ulogu u prijenosnoj mreži i sistemu općenito (a ta se revizija do-

gađa i u razvijenim elektroprivredama već skoro deset godina, od njujorškog i francuskog sloma) — posebno za havarijske situacije (a to je zapravo naš problem 1.VIII).

— Korisna bi bila »osvježavanja znanja« (po modelu npr. NE Krško), upoznavanje kroz pripremljene referate ili izvještaje s tekućom svjetskom praksom i značajnijim događajima (upravo raspadima npr. jer raspade izaziva vrlo ograničen broj uzroka, no mijenja se njihov kontekst), korištenje tehnika simulacije (zbog tehničke »kondicije« i stručnog samopouzdanja, o čemu se prije nekoliko godina mnogo pisalo).

— Rad započet u Komisiji formiranoj u ZEOH-u povodom ovog raspada treba nastaviti jer je mnogo toga uočeno i *treba iskoristiti stečena saznanja* (nešto od toga je kroz [L.1] i rečeno, a mnogo toga je, iz raznoraznih razloga, preskočeno)

— Akcije treba usaglasiti na razini Jugela, jer eventualna poboljšavanja *samo* na »Zapadu«, odnosno posebno u SR Hrvatskoj, *malo pridonose* ukupnoj sigurnosti sistema.

LITERATURA

- [1] ZDENKO TONKOVIĆ: »Analiza raspada sistema 1.VIII 1986«, Institut za elektroprivredu, Zagreb 1986.
- [2] ZDENKO TONKOVIĆ: »Aspekti visokih napona u sistemu sa posebnim osvrtom na uklapanje voda Konjsko — Obrovac — Melina«, »Elektroprivreda«, br. 1–2, Beograd 1984.

* od 22. XII 1986. Prijedor — Medurić — Sisak

BLACKOUT IN THE WESTERN PART OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER SYSTEM

In the article is discussed about conditions in electric power system of SR Croatia before, during and after blackout with highlight on reasons and consequences of event.

STROMZERFALL DES WESTLICHEN TEILES DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS JUGOSLAWIENS AM 1. VIII 1986.

Im Artikel spricht man über den Zustand des elektroenergetischen Systems SRH vor dem Stromzerfall, während des Stromzerfalls und nach der Normalisierung der Lage mit besonderer Betonung auf die Ursachen und Folgen des Stromzerfalls.

РАСПАД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЮГОСЛАВИИ 01. 08. 1986 г.

В статье обрабатывается состояние электроэнергетической системы Социалистической Республики Хорватии накануне распада, во время распада и после нормализации состояния с особым ударением на причинах и последствиях распада.

Naslov pisca:

mr Zdenko Tonković, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu, 41000
Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1987-02-17

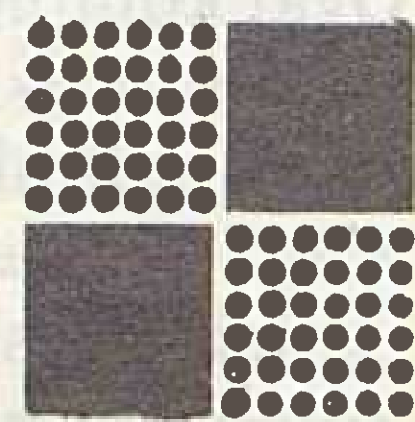
SOUR

monting

ZAGREB n.sol.o.

RO

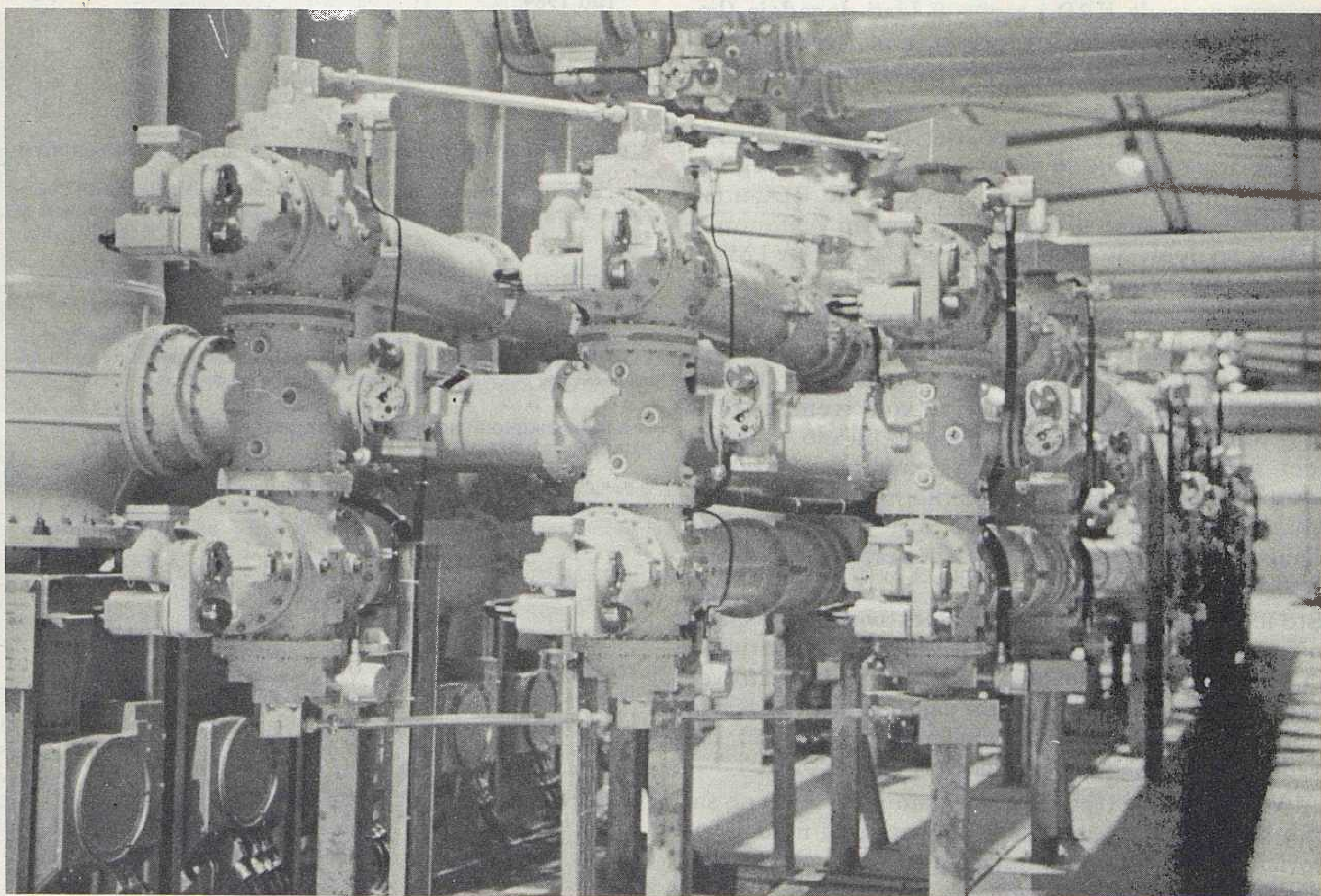
MONTMONTAŽA



**Radna organizacija za montažu industrijskih postrojenja
OOUR za elektromontažne radove**

ZAGREB ● Dimitrovljeva 2-6

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



TS JALO

NEKE DILEME VEZANE ZA RASPAD SISTEMA 1. KOLOVOZA 1986.

Dr. Zorko Cvetković, Zagreb

UDK 621.311.1.005

PREGLEDNI RAD

U članku je opisana problematika sigurnosti rada EES potencirana raspadom sistema 1.8. 1986. Navedene su neke dileme iz domene izgradnje, vođenja i održavanja EES, kao taj raspad aktualizirao.

Ključne riječi: raspad sistema, sigurnost, izgradnja, vođenja, održavanje, kadrovi, pogon.

1. UVOD

U ovom istom broju Energije izašao je članak (L1) koji detaljno analizira parcijalni raspad elektroenergetskog sistema (EES) što je 1. kolovoza 1986. zahvatio mrežu zapadne Hrvatske i Slovenije, a djelomično i mrežu Bosne i Hercegovine. Jedva bi se moglo reći da u opisu tog događaja ima novih momenata koji nisu bili prisutni i u prijašnjim raspadima u našem EES.

Iz stručne literature poznato je da slični raspadi nisu neka specifičnost jugoslavenskog EES, već se zbivaju i u drugim sistemima znatno jačim od našega. Navedimo npr. poznate raspade u mreži New York 1977. godine (L2), pa u mreži EDF-a (Francuska) 1978. godine (L3), te skorašnji raspad švedskog sistema 1983. godine (L4). Postoje, međutim, neke specifičnosti našeg EES koje zahtijevaju detaljniju analizu događaja od 1. kolovoza 1986. Te specifičnosti su:

- frekvencija pojave parcijalnih raspada
- neadekvatno reagiranje na iskustva dosadašnjih raspada
- činjenica da svaki parcijalni raspad u pravilu obuhvaća područje sjeverozapadne Hrvatske, što predstavlja 40 – 45 % konzuma Hrvatske.

Treba naglasiti da članak ne obuhvaća problematiku distributivne mreže, već samo onu proizvodnje i prijenosa.

Možda radi šireg broja čitalaca neće biti naodmet ponoviti poznate postavke o pogonskim stanjima u kojima se može nalaziti neki EES.

Ta stanja su:

normalno stanje, u kojem su svi potrošači napajani, u kojem je napajanje kvalitetno, tj. napon i frekvencija se kreću u dozvoljenim granicama, a eventualno ispad iz pogona bilo kojeg elementa EES ne bi izazvao posljedice na sigurnost i kvalitetu napajanja potrošača;

alarmantno stanje, u kojem su uvjeti napajanja isti kao u normalnom stanju, ali stupanj rezerve je takav

da neka smetnja može dovesti bilo do preopterećenja nekog elementa EES, bilo do odstupanja od kvalitete koja odgovara normalnom napajanju. U ovom stanju mogu se provesti preventivne akcije za povratak u normalno stanje;

kritično stanje, u kojem su svi potrošači napajani, no kvaliteta napajanja nije održana jer je frekvencija niža ili je napon u nekim točkama ispod dozvoljenih granica ili je EES u takvom stanju da ispad iz pogona nekog elementa sistema dovodi sistem u nenormalno stanje. Sistem kao cjelina je međutim nedirnut i moguće je provesti akcije koje bi ga vratile u normalno stanje ili barem u alarmantno stanje;

nenormalno stanje, u kojem svi potrošači nisu više napajani, kvaliteta napajanja je ispod dozvoljenih granica i u kojem može doći do kaskadnih ispada elemenata sistema, pa i do njegova sloma. Moguće je provesti akcije da se spasi maksimalni broj dijelova sistema i izbjegne njegov totalni raspad;

povratak u normalno stanje, u kojem se vrše korektivne akcije nužne da se EES vrati u normalno stanje.

Primarni zadatak dispečerske službe svakog EES jest da sistem radi u normalnom stanju, odnosno da se iza poremećaja što brže vrati u to stanje. Činjenica je međutim da naš EES dosta često u toku godine radi u alarmantnom, pa i u kritičnom stanju, a neki njegovi dijelovi se u takvom stanju više ili manje nalaze trajno. Za primjer navedimo opet šire zagrebačko područje, gdje ispad iz pogona jednog interkonektivnog transformatora 400/110 kV najvjerojatnije dovodi do parcijalnog raspada sistema. Ne treba, naime, zaboraviti da jedini značajni izvor na tom području (TE Sisak) veći dio godine ne radi zbog štednje tekućeg goriva.

Zbog jasnijeg uvida u stupanj sigurnosti EES navodimo neke rezultate ankete koju je provela radna grupa 39.05 CIGRE u 168 elektroprivrednih poduzeća iz 29 zemalja (L 5). U toj anketi su svi poremećaji u dotičnim sistemima klasificirani po stupnju »ozbiljnos-

ti« mjerenom veličinom »sistem-minuta«. To konkretno znači da se neisporučena energija u toku poremećaja u MW min podijeli godišnjim vršnim opterećenjem sistema u MW.

Tako je npr. »sistem-minuta« ekvivalentna prekidu napajanja totalne potrošnje u trajanju jedne minute u vrijeme godišnjeg vršnog opterećenja. Prema materijalu radne grupe CIGRE 39.05, ozbiljnost kvara je razvrstana u četiri stupnja:

- stupanj 0 – relativno podnošljiva situacija 1 »sistem-minuta«
- stupanj 1 – stanoviti broj potrošača je pogođen, ali situacija nije ozbiljna 1 do 9 »sistem-minuta«
- stupanj 2 – situacija sa ozbiljnim posljedicama 10 do 99 »sistem-minuta«
- stupanj 3 – vrlo ozbiljne posljedice za potrošače 100 do 999 »sistem-minuta«.

U navedenoj anketi ustanovljeno je da se u prosjeku u nekoj mreži raspadi događaju za stupanj 1 svakih 2,5 godine, za stupanj 2 svakih 8 godina, a za stupanj 3 svakih 100 godina.

Za grubu procjenu poremećaja od 1. kolovoza navedimo da je u sistemu Hrvatske ukupno bilo reducirano 1 700 MWh, što uz godišnje vršno opterećenje tog sistema od 2 500 MW daje ozbiljnost tog poremećaja 41 »sistem-minuta« što odgovara stupnju 2.

Za područje sjeverozapadne Hrvatske to iznosi oko 72 »sistem-minute«, što još spada u stupanj 2.

Razmotrimo li isti događaj s gledišta jugoslavenskog EES uz procjenjenu ukupnu redukciju od 4 000 MWh i vršno godišnje opterećenje od 11 500 MW, dobivamo ozbiljnost događaja od 21 »sistem-minuta«. Vidimo da ozbiljnost događaja i s gledišta cijelog EES također pripada u stupanj 2.

2. DILEME

Promatramo li električnu energiju na pragu prijensa kao robu, treba konstatirati da je ona na jugoslavenskom tržištu usprkos povremenim parcijalnim raspadima relativno kvalitetna. Pri tome podrazumijevamo da ima dobru frekvenciju (veza s mrežom UCPT), da se napon kreće u standardnim granicama i da je stalna na tržištu. Pristup detaljnoj analizi uzroka parcijalnog raspada sistema od 1. kolovoza samo je dokaz brige o kvaliteti isporuke te robe, što je, nažalost, vrlo rijetka praksa na jugoslavenskom tržištu kad je u pitanju ostala roba.

Namjera ovog članka je da iznese neka zapažanja vezana za raspad EES i neke dileme koje se u vezi s tim aktualiziraju, a sve radi daljnjeg povišenja kvalitete isporuke energije potrošaču.

Ovo je to više potrebno ako se osvrnemo na specifičnosti koje su navedene u uvodu, a koje su, kako je već rečeno, naročito prisutne u sjeverozapadnoj Hrvatskoj.

Kao što je u uvodu rečeno, to područje je u pravilu pogođeno parcijalnim raspadima EES dok se za ostala područja u Hrvatskoj, pa i za većinu u Jugoslavi-

ji, može reći da se »spašavaju« zbog relativno izbalansirane lokalne proizvodnje i lokalnog konzuma, odnosno zbog izvanredno snažne interkonekcije, kao npr. Slavonija.

Nastojanja elektroprivrede trebaju ići eliminaciji navedenih specifičnosti kako bi se raspadi EES odnosno parcijalni raspadi njegovih dijelova kretali u granicama čiji stupanj ozbiljnosti odgovara svjetskom prosjeku. Pogledamo li frekvenciju parcijalnih raspada zagrebačkog područja, jasno je da pouzdanost EES na tom području ne zadovoljava, već traži viši nivo. Znamo da na stupanj sigurnosti nekog EES utječu tri veličine:

- * ulaganje u proširenje EES
- * ulaganje u vođenje i održavanje EES
- * procjena štete zbog neisporučenog kWh.

Ovaj članak nema namjeru kvantificiranja tih veličina prvenstveno radi potpune nepoznanice u našem društvu o valorizaciji neisporučenog kWh. Njegova je namjera, međutim, da potakne na razmišljanje i na određene akcije na bazi posljednje pouke iz raspada EES od 1. kolovoza. Ovo to više što smo skloni probleme raspada EES brzo zaboravljati, istovremeno dok nam se vjerojatnost nastanka sličnih događaja povećava. Treba biti svjestan činjenice da svakom stupnju pouzdanosti EES odgovara određena cijena. Ne možemo smanjivati ulaganja u izgradnju i eksploataciju EES, a zahtijevati istu ili čak povišenu pouzdanost. Moguće je voditi EES i s nešto nižim stupnjem pouzdanosti ako to odgovara općem ekonomskom položaju zemlje, ali tada ne smijemo svaki raspad EES identificirati s društvenom dramom, kad je on ustvari vrlo jasna ekonomska kategorija.

Uzmimo kao primjer baš raspad EES 1. kolovoza 1986. Grubom analizom dolazimo do zaključka da do raspada ne bi vjerojatno došlo da je samo jedan od niže navedenih uvjeta bio ispunjen:

- * da je jugoslavenska interkonektivna mreža bila jača
- * da su na zapadu bile u pogonu TE na tekuće gorivo
- * da su na zapadu bile izgrađene snažne kondenzatorske baterije za kompenzaciju prijenosne mreže
- * da je u pogonu bila 400 kV interkonekcija sa Italijom
- * da nije prethodno ispao iz pogona DV 400 kV Tumbri – Ernestinovo
- * da je bio izgrađen kompletni tehnički sistem upravljanja jugoslavenske elektroprivrede (TSU)
- * da nije bilo nijedne pogrešne procjene, odnosno akcije pogonskog osoblja (od montera dalekovoda do dispečera Jugela)

Upravo na bazi takve analize, a ona više ili manje vrijedi, i za prethodne raspade EES nameću se dileme o kojima će biti govora u nastavku. Te dileme se odnose na ova područja:

- izgradnju EES
- vođenje EES
- održavanje EES
- kadrovsku problematiku.

3. IZGRADNJA EES

Ovdje neće biti govora o dugoročnoj perspektivi izgradnje jugoslavenskog EES i problemima koji je prate jer je ta problematika opisana u prošlom broju Energije (L6). Okrenimo se samo situaciji u elektroprivredi Hrvatske za razdoblje do 2000 godine. Za pokriće rastućeg konzuma bila je planirana izgradnja NE Prevlaka, početak izgradnje nove NE, izgradnja TE Plomin, izgradnja klasičnih TE u drugim republikama i pokrajinama (R/P), te iskorištenje preostalog lokalnog hidropotencijala koji ne nudi atraktivnih rješenja.

Razmotrimo kakva je situacija danas s obzirom na to da se ti objekti nisu ni počeli graditi, a kada će se početi velika je nepoznanica. Konzum, međutim, raste, čak i brže negoli je planom predviđeno.

- početak izgradnje NE Prevlaka znatno kasni, a definiranju daljnje politike zemlje na tom polju vidi se kraj
- izgradnja TE Plomin kasni, a uvjeti njezinog budućeg pogona s obzirom na ekološke probleme i raspoloživi ugljen u najmanju ruku su problematični
- uvjeti izgradnje TE u drugim R/P nisu još ni definirani
- izgradnja preostalog hidropotencijala je u toku, no specifični troškovi te gradnje su visoki, a, što je još lošije, izolirana izgradnja samo tih izvora ne rješava energetske probleme.

Nadodajmo na ovo da za izgradnju nekog i malo značajnijeg izvora treba 7 do 10 (pa i 12) godina, uz osigurana financijska sredstva. Međutim investicijska sredstva, kao i opći ekonomski položaj elektroprivrede ne zadovoljavaju potrebe, pa ćemo se susresti s vrlo ozbiljnim problemima i još ozbiljnijim posljedicama nakon 1990. godine.

Uza sve to treba još jedan put konstatirati da je izgradnja druge etape osnovne 380 kV mreže Jugoslavije zaustavljena početkom osamdesetih godina, i to naročito u zapadnom dijelu zemlje (DV Tumbri — Meline, DV Tumbri — B. Luka, DV Krško — Beričevo, DV Maribor — Austrija).

Vratimo se sada našoj osnovnoj dilemi, tj. kako u domeni izgradnje dijelovati da bismo raspade sistema i redukcije potrošača sveli na nužni minimum.

Sigurno je da je dominantan problem vremenska dimenzija izgradnje NE i/ili TE u drugim R/P. Ostaje, međutim, pitanje **kako premostiti zakašnjenje** u izgradnji tih objekata. Da li dati prednost uvozu električne energije, da li hitno prići gradnji izvora na uvozno gorivo, da li pojačati interkonekciju, da li ubrzati ili usporiti izgradnju preostalog hidropotencijala? U svemu tome treba uzeti u obzir ograničena financijska sredstva.

Pri svemu tome ne smijemo zaboraviti neke osnovne postavke, npr. onu da je potrošaču svejedno što se gradi samo ako se zadanim financijskim sredstvima postiže maksimalno moguća pouzdanost napajanja.

Uz to je vezana i druga postavka, — da sistem treba graditi uravnoteženo, što podrazumijeva uravnotežena ulaganja u proizvodnju, prijenos i distribuciju.

Očito, navedena dilema nije jednostavna. Mnoge zemlje Zapada i Istoka su u sličnim situacijama forsirale pojačanu interkonekciju kako bi mogle koristiti mogućnost širokog tržišta. Prema iskustvima UNIPED, svaka realizirana interkonekcija je u pogonu nadmašila sva očekivanja na kojima je bazirala odluka o njenoj izgradnji.

U dilemi daljnje izgradnje ne smije se ponovo zaboraviti na problematiku jalove energije koja je dominantni faktor pri raspadu sistema, a nikako da dobije odgovarajući tretman.

Na kraju treba reći da bilo koju odluku koja se doneše treba donesti brzo, vrlo brzo, jer vrijeme nas naprosto gazi.

4. VODENJE EES

Moderan sistem daljinskog vođenja (SDV) daje mogućnost iskorištenja proizvodnih i prijenosnih postrojenja do njihova tehničkog limita. To znači da relativno mala ulaganja u SDV mogu odgoditi visoka ulaganja u primarnu opremu.

U jugoslavenskoj elektroprivredi u ovom čemu ne postoji takav kompleksan sistem, s izuzetkom elektroprivrede Hrvatske. Iako taj sistem nije do kraja završen, on daje dispečeru mnogo bolji uvid u situaciju nego je to bilo u prošlosti. Događaji od 1. kolovoza to su potvrdili. No, ti događaji su pokazali još i to da u sličnim situacijama efikasnost SDV ne može doći do punog izražaja dok cijeli jugoslavenski EES ne realizira planirani tehnički sistem upravljanja (TSU). I ne samo to, nužno je realizirati stalnu i efikasnu razmjenu podataka sa susjedima iz mreže UCPTE (Italija, Austrija, Grčka) radi značajne međuovisnosti u havarijskim situacijama. Kao što je vidljivo, i nema dilema što se tiče cilja, no dilema je kako ga što brže postići, tj. kako u tehno-ekonomskim zamršenim uvjetima što brže realizirati TSU.

Još jedan aspekt vođenja EES, vezan za povratak u normalno stanje, traži svoje rješenje. Trebalo bi naime riješiti kako u toku raspada sačuvati u pogonu velike termoblokove koji olakšavaju povratak u normalno stanje. To je, svakako, kompleksan tehnički problem vezan uz karakteristike bloka, uz topologiju mreže, uz zaštitu sistema uz vlastiti pogon TE i sl., no vrijedno je pokušati naći odgovarajuće rješenje, koje doduše neće spriječiti raspad, ali će umanjiti njegove posljedice.

5. ODRŽAVANJE EES

Može se sasvim sigurno konstatirati da situacija s održavanjem postrojenja ne zadovoljava. Takvo je stanje barem u elektroprivredi Hrvatske, već godinama. Postoje precizni normativi održavanja, ali su nedostajala financijska sredstva da se to održavanje i

realizira. Takva situacija dovela je do toga da se raspoloživost postrojenja kontinuirano smanjuje. Uzmimo za primjer djelatnost prijenosa električne energije. Godišnji normativ investicionog održavanja iznosi oko 0,8% nabavne vrijednosti osnovnih sredstava, što bi u pravilu zadovoljavalo uredno održavanje. Stvarnost je, međutim, drugačija. Iznos od 0,8% često se ne ostvaruje, a kad se i ostvari, obračunava se na knjigovodstvenu nabavnu vrijednost osnovnih sredstava, a da je tri do četiri puta manja od tržišne vrijednosti zahvaljujući visokoj stopi inflacije i nerearno niskoj stopi revalorizacije.

Sasvim je normalno da se u uvjetima neriješenog ekonomskog položaja elektroprivrede i gubitaka koji iz toga proizlaze nameće potreba štednje. Jasno je da se i od elektroprivrede traži da štednjom djelomično sudjeluje u pokriću gubitaka. Međutim, provoditi štednju na način da se onemogućuje osnovno održavanje postrojenja ne izgleda ni mudro ni ekonomski opravdano. Troškovi nepotrebnih kvarova višestruko nadmašuju uštede proizašle iz smanjenog obujma održavanja. Kao poučni primjer uzmimo slučaj koji je tijesno vezan s događajima od 1. kolovoza. Zahtjev zagrebačkog »Elektroprenosa« za povišenjem financijskih sredstava investicionog održavanja s naglašenom namjenom sječanja šume ispod dalekovoda odbijen je 7 puta u razdoblju 1978 — 1985. godine. Konstatirajmo da su i 1. kolovoza 1986. i 12. srpnja 1984. dalekovodi u Jugoslaviji ispadali iz pogona zbog nedovoljno pročišćenih trasa.

Dilema koja se postavlja je sljedeća:

U godišnjem planu jednostavne reprodukcije elektroprivrede Hrvatske npr. za 1986. godinu iznos sredstava investicionog održavanja iznosi oko 1,2% od ukupnih troškova. Da li je korisno baš na toj stavci »štediti« kad su posljedice takve akcije vrlo skupe? I to baš u vrijeme kad izgradnja novih kapaciteta, kako je već rečeno, znatno kasni.

6. KADROVSKA POLITIKA

Možda časopis Energija nije mjesto za obradu kadrovske problematike, no ispustiti tu temu a govoriti o dilemama potaknutih raspadom sistema ne bi bilo sveobuhvatno.

Prema nekim spoznajama u svjetskoj praksi je nepoznat slučaj raspada EES kod kojeg nije bila prisutna manja ili veća ljudska greška. Ona je bila prisutna i kod raspada 1. kolovoza. Svjetska praksa je taj ljudski faktor vrlo detaljno analizirala i zaključila da ga je praktički nemoguće izbjeći, to više što se pri raspadu EES u pravilu radi i u vremenskom tjesnacu i s ograničenim mogućnostima sistema. Kod nas je situacija utoliko teža što EES, kako je već rečeno, često radi u alarmantnom, odnosno kritičnom stanju, pa je još veći broj raspada izbjegnuto zahvaljujući rutiniranom pogonskom osoblju od dispečera do posade u postrojenjima. Pitanje je, međutim, kako konkretno poboljšati situaciju?

Moguća poboljšanja se naziru u dva smjera. Prvenstveno sistem treba graditi i voditi na način da se mogućnost ljudske greške svede na minimum. Drugi smjer je sadržan u permanentnom školovanju pogonskog osoblja (dispečeri, operateri, uklopničari . . .) i u njihovu testiranju. Simulatori za školovanje dispečera postaju stalna praksa u nizu zemalja. S obzirom na nedovoljnu izgrađenost EES nama bi takva praksa školovanja bila možda potrebija, a razrada mogućih scenarija događaja prioritetni zadatak.

Navedena pitanja školovanja i testiranja pogonskog osoblja ne bi trebala predstavljati veće poteškoće. Problem je, međutim, kako riješiti manjak kadrova i manjak interesa za rad u elektroprivredi, a naročito za rad na poslovima eksploatacije sistema.

Dilema koja se postavlja u ovoj domeni jest dakle, sljedeća. Kako doći do odgovarajućih stručnih kadrova za vođenje EES kad na elektrotehničkim fakultetima jedva da ima studenata na energetsom smjeru, kad elektroprivreda ne stimulira buduće kadrove odgovarajućim sistemom stipendiranja, kad osobna primanja stručnjaka u elektroprivredi sve više zaostaju a mladi stručnjaci odlaze iz elektroprivrede u zabrinjavajućem broju?

Dodamo li tome neadekvatno znanje srednjih stručnih kadrova koji izlaze iz škola usmjerenog obrazovanja, vidljivo je da kadrovski problem postaje dominantnim u dugoročnom sagledavanju problema sigurnosti i pouzdanosti elektroenergetskog sistema.

7. ZAKLJUČAK

Opisane dileme već su duže prisutne i u jugoslavenskoj elektroprivredi i izvan nje, no povremeni raspad EES ih aktualiziraju (nije svako zlo za zlo). Bilo bi korisno kad bi članci iz ovog broja Energije pokrenuli akcije radi definiranja sljedeće problematike:

- Kako u uvjetima ograničenih financijskih sredstava, nedefiniranih uvjeta izgradnje u drugim R/P i nedefinirane politike izgradnje NE optimalno investirati u razvoj elektroprivrede?
- Kako što brže i što efikasnije realizirati tehnički sistem upravljanja?
- Kako efikasnije riješiti povratak EES u normalno stanje?
- Kako prestati štedjeti na pogrešnim mjestima, tj. na održavanju postrojenja?
- Kako riješiti kadrovsku problematiku elektroprivrede?

Vjerojatno postoje razna mišljenja o navedenim dilemama, no sigurno je da bez njihova rješenja ne možemo računati na pouzdani i sigurni EES, barem ne toliko siguran koliko odgovara njegovu značenju, odnosno ekonomskoj situaciji zemlje. Što se više odgađa razjašnjenje navedenih dilema, to dulje će potrajati i negativan trend, a zna se kuda on vodi — značajnim redukcijama u razdoblju nakon 1990. godine.

LITERATURA

- [1] TONKOVIĆ: »Raspad zapadnog dijela elektroenergetskog sistema Jugoslavije 1. VIII 1986.« 2/87
- [2] U. S. Department of Energy: Impact Assessment of the 1977 New York City Blackout July 1978.
- [3] Tematski broj Revue Générale de l'électricité. Raspad mreže EDF-a 19. 12. 1978,
- [4] Elektroprivreda Švedske: Izvještaj o raspadu sistema 27.12.1983.
- [5] W. H. WINTER, B. K. LEREVEREND: »Comportement des réseaux interconnectés en cas de perturbation«, Rapport du Groupe de Travail 39.05 CIGRE 1986. 37/38/39 – 02
- [6] Okrugli stol Energija 1/87.

SOME REFLECTIONS ON BLACKOUT IN POWER SYSTEM, AUGUSTH, 1ST, 1986.

In the article is described condition of secure operation of electric power system in light of blackout on Augusth, 1st, 1986. Elaborated are some reflections on construction, control and maintenance of power system as well as staff problems that are known for some time.

EINIGE DILEMMATA BEZÜGLICH DES SYSTEMZERFALLS AM 1. AUG. 86

Im Artikel beschreibt man die Problematik der sicheren Arbeit des EES potentiirt durch den Systemzerfall am. 1. 8. 1986. Es wurden einige Dilemmata bezüglich des Ausbaus, des Leitens und der Wartung des EES angeführt, sowie bezüglich der Personalproblematik die schon längere Zeit gegenwärtig ist und durch diesen Zerfall aktualisiert wurde.

НЕКОТОРЫЕ ДИЛЕММЫ, СВЯЗАННЫЕ С РАСПАДОМ СИСТЕМЫ 01 АВГУСТА 1986 г.

В статье описана проблематика надежности работы ЭЭС, потенцированная распадом 01. 08. 1986 года. Приводятся некоторые дилеммы домена строительства, ведения и обслуживания ЭЭС, а также из кадровой проблематики, наличествующих уже долгое время, однако этот распад их делает животрепещущими.

Naslov pisca:

Dr Zorko Cvetković, dipl. ing.
»Elektroprenos« Zagreb 41000
Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
 1987 – 02 – 03



ASTRA

SPONZOR-SUORGANIZATOR
UNIVERZIJADE'87

ZAGREB
JUGOSLAVIJA



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

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

Djelatnosti na vanjskom tržištu:

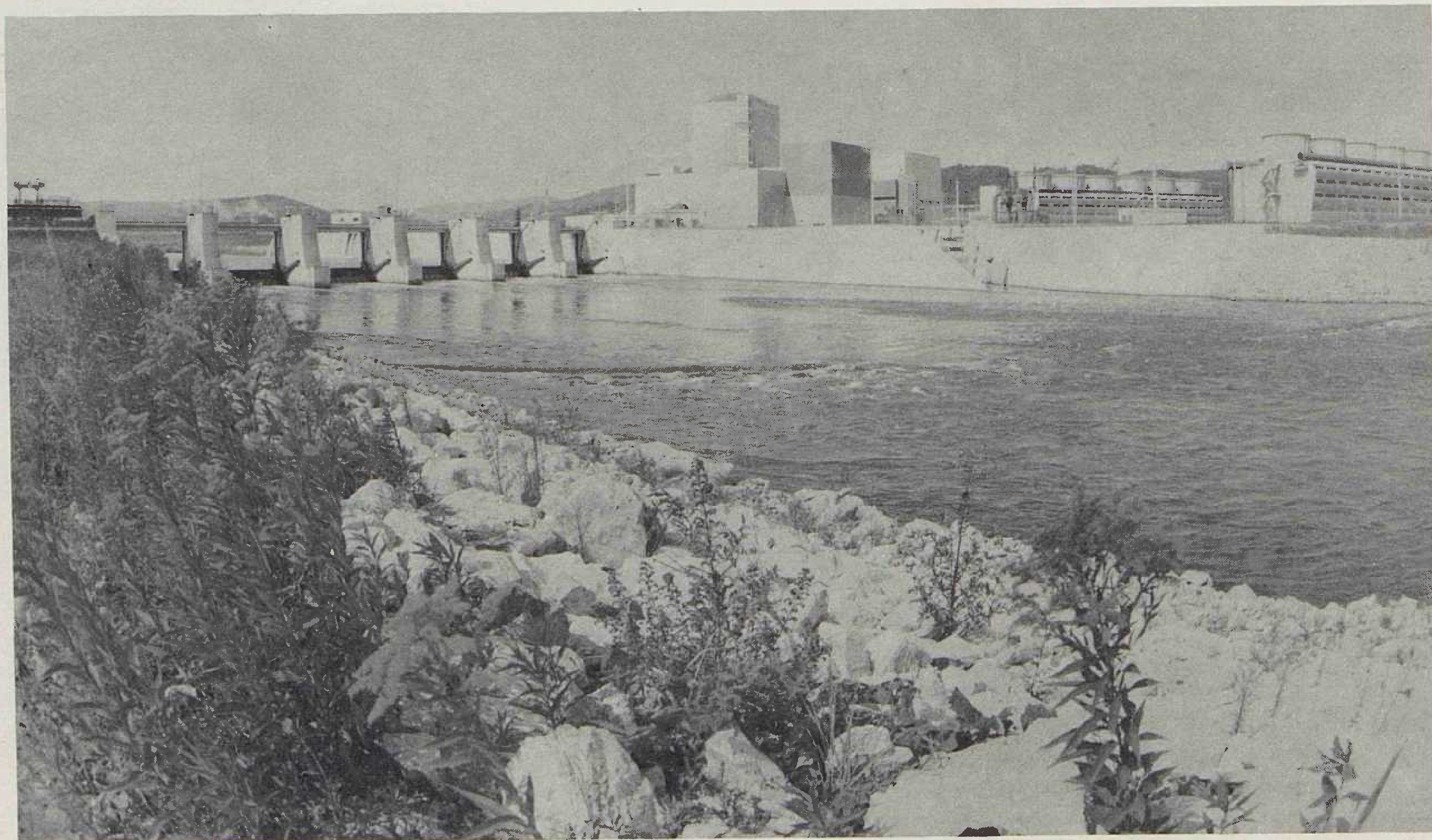
- izvoz-uvoz kompletnih objekata, postrojenja i opreme za sve grane industrije;
- izvoz-uvoz brodova i aviona;
- izvoz-uvoz poljoprivredno-prehrambenih proizvoda;
- međunarodno trgovinsko posredovanje;
- međunarodna trgovina putem mreže inozemnih firmi i predstavništava;
- zastupanje inozemnih firmi.

Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

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

OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

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



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

KOMPARATIVNA ANALIZA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA JAVNU RASVJETU U EVROPI S POSEBNIM OSVRTOM NA POTROŠNJU U JUGOSLAVIJI

Mr. Milan Ivanović, Osijek

UDK 628.9.06:621.3

PREGLEDNI RAD

U radu se analizira potrošnja električne energije za javnu rasvjetu u evropskim zemljama i u Jugoslaviji prema broju stanovnika, društvenom proizvodu i drugim pokazateljima. Istraživanje čiji su rezultati ovdje prikazani pokazuje da je u ovom sektoru potrošnje električne energije Jugoslavija ispod prosjeka Evrope i da je u posljednjih šest godina javna rasvjeta značajno reducirana.

Ključne riječi: potrošnja električne energije, javna rasvjeta, civilizacijska tekovina, energetska politika.

I. UVODNE NAPOMENE

Prema nalazima autora »Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije«, manju potrošnju električne energije po stanovniku u Evropi od Jugoslavije imaju samo Grčka i Portugal.¹ U toj analizi razmatrana je samo ukupna potrošnja električne energije i nije se detaljnije analizirala potrošnja u osnovnim sektorima potrošnje električne energije. Tako je propuštena prilika da se konzistentnom analizom detaljnije razmotri opseg, struktura i dinamika potrošnje električne energije i spoznaju konkretni zaključci za odgovarajuću akciju.

Naša analiza potrošnje električne energije u sektoru potrošnje domaćinstava pokazala je da je ova potrošnja u Jugoslaviji znatno veća u odnosu na zemlje Evrope — ako se analiza vrši uporedbom društvenog proizvoda po stanovniku i potrošnje električne energije u domaćinstvu po stanovniku.² Osnovne su relacije iz te analize:

- SFRJ ima mali društveni proizvod po stanovniku, a vrlo veliku potrošnju električne energije u domaćinstvu po stanovniku.
- Te, 1981. godine, jedino pozicija Jugoslavije nije na pravcu linije regresije od analiziranih 13 zemalja Evrope.³
- Udio potrošnje domaćinstava u ukupnoj potrošnji električne energije u Jugoslaviji konstantno raste (posebno od 1971. godine) i 1981. godine dostigla je 30,3%, što je te godine bilo kudikamo

najveće učešće u grupi od 15 analiziranih zemalja Evrope.

Iz spomenute analize ponovit ćemo još i podatak da je koeficijent korelacije između društvenog proizvoda po stanovniku i potrošnje električne energije u domaćinstvu po stanovniku iznosio 0,952 za cijelu grupu analiziranih zemalja, što je vrlo značajno.⁴ S tržišnog i političkog aspekta, na temelju izloženog, može se zaključiti se da je u ovom sektoru potrošnje električna energija tretirana kao roba (osim u Jugoslaviji), a ne kao proizvod s posebnim statusom tzv. javnog dobra (kakve su tendencije u našoj zemlji).

Nakon ovih rezultata nije nerealno postaviti hipotezu da je nerealno visoka (i u isto vrijeme neracionalna i ekonomski neopravdana) potrošnja električne energije u sektoru domaćinstava u Jugoslaviji osim pored ostvarenih ekonomskih gubitaka i vrlo konkretne utjecaje na manju potrošnju električne energije u nekim drugim sektorima. Ovom prilikom analizirat će se potrošnja električne energije u sektoru javne rasvjete.

Javna rasvjeta je vrlo važan sektor potrošnje električne energije u svakoj zemlji; kao prvo valja naglasiti sigurnosnu komponentu po kojoj javna rasvjeta osigurava potrebne uvjete za normalno odvijanje prometa i komunikacije ljudi na javnim prometnim površinama, kao i vrlo konkretne učinke javne rasvjete u psihološkom i fizičkom pogledu čuvanju ljudi i imovine,⁵ u drugoj grupi važnih zasluga javne rasvjete valja istaknuti zasluge za estetski ugođaj nase-

¹ Vidi o tome opširnije: *Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije*, str. 24;

² Vidi o tome opširnije: Milan Ivanović, *Potrošnja električne energije u domaćinstvima izabranih zemalja Evrope i Jugoslavije*

³ Radi se o 8 zemalja tržišne privrede i 4 zemlje planske privrede (i Jugoslaviji). Među tih 12 zemalja nalazi se p e t zemalja koje graniče sa SFRJ.

⁴ Za zemlje tržišne privrede koeficijent korelacije iznosi 0,969, za zemlje planske privrede 0,965. Ako se iz računa korelacije izostavi Jugoslavija, dobivamo vrlo visok koeficijent od 0,989.

⁵ Nije bez razloga prisutna krilatica po kojoj svaka žarulja na javnim mjestima zamjenjuje jednog policajca.

lja i prometnica, a u vezi s tim i sasvim relevantne učinke na atraktivnost turističke ponude. U konačnici pitanje javne rasvjete može biti i vrlo značajno područje kulturno-povijesnog, civilizacijskog i političkog prestiža svake zemlje.

Kvaliteta javne rasvjete može se objektivno mjeriti na temelju osvjetljenost područja naselja i prometnica. Određene informacije o kvaliteti javne rasvjete u nekoj zemlji (naselju) mogu se dobiti i uvidom u kvantitetu i strukturu rasvjetnih tijela u odnosu prema površini naselja i prometnica.

Koliko je poznato autoru, uporedbe kvalitete javne rasvjete međunarodnim razmjerama nisu sačinjavane na bazi spomenutih mjerenja ni za zemlje ni za pojedine gradove. Takva bi objektivna mjerenja bila vrlo skupa. Do sličnih se ocjena može doći i mjerenjem utrošene električne energije za javnu rasvjetu između pojedinih zemalja. Ta će se metoda koristiti i u ovoj analizi.

Apstrahirat će se broj naselja i njihova veličina te površine prometnice. Kulturno-povijesni razvoj naselja u svakoj zemlji je već u toku proteklih stoljeća profilirao urbanizaciju koja konstantno utječe na javnu rasvjetu. U tako globalnim razmatranjima kao što je analiza utroška električne energije za javnu rasvjetu između više zemalja — na temelju prethodnog objašnjenja — može se broj i veličina naselja kao nezavisna varijabla isključiti iz razmatranja što slijede.

II. POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA JAVNU RASVJETU U EVROPI ZA RAZDOBLJE OD 1960. DO 1979. GODINE

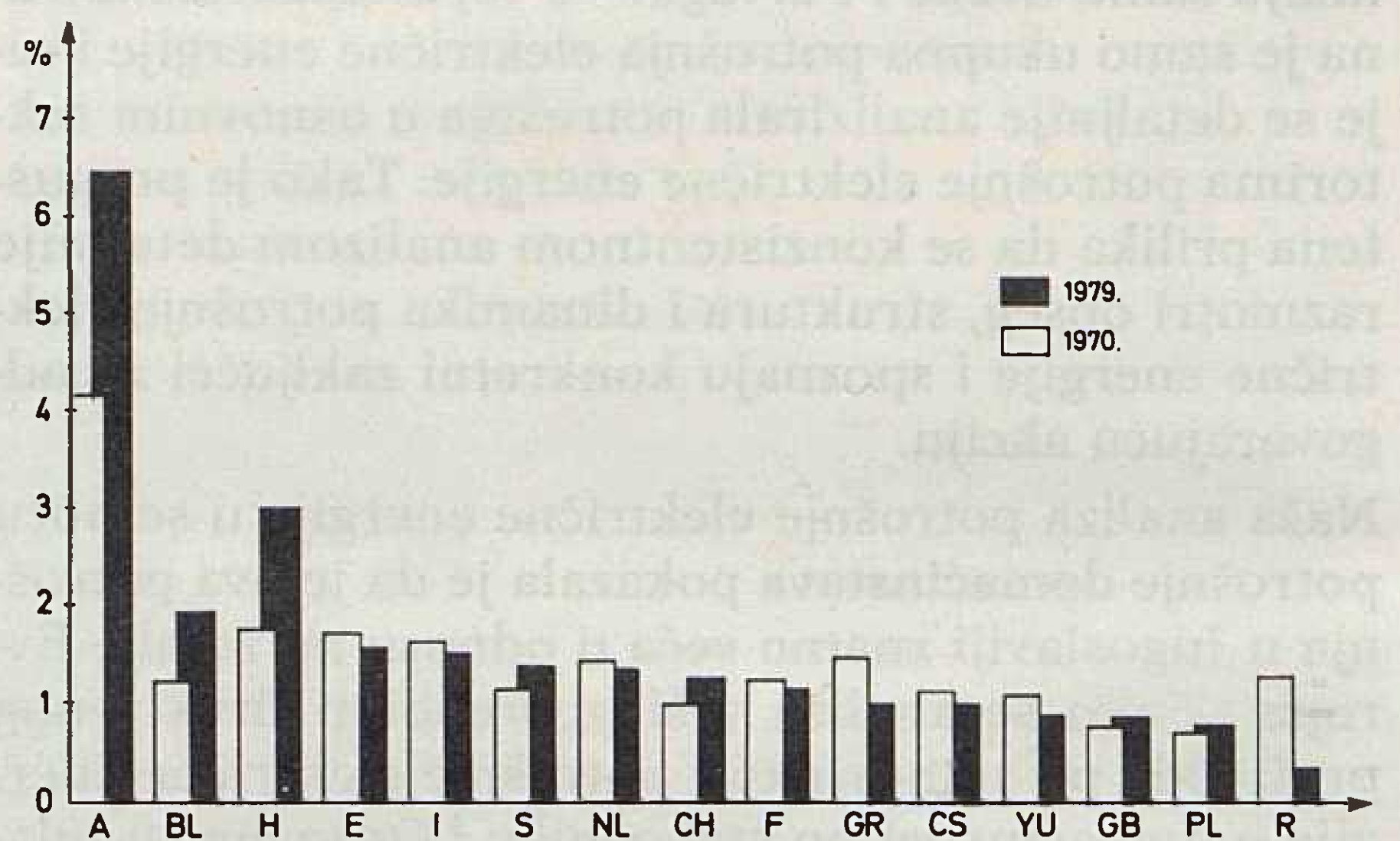
U tablici 1. prikazani su podaci o potrošnji električne energije za javnu rasvjetu po stanovniku u 16 zemalja Evrope, među kojima je i Jugoslavija.⁶ Iz tih podataka vidimo da je potrošnja električne energije za javnu rasvjetu po stanovniku u našoj zemlji veoma niska — u cijelom promatranom razdoblju od 1960. do 1979. godine i da dijelimo pretposljednje mjesto zajedno s Poljskom. Godine 1960. potrošnja u SFRJ po stanovniku bila je u razini 28,5% od prosjeka analizirane grupe zemalja, 1970. godine 33,3%, 1975. godine 32%, 1977. godine 31%, 1978. godine 30,6%.⁷ Možemo zaključiti da u tom razdoblju porast potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u našoj zemlji nije u razini porasta te potrošnje u analiziranoj grupi evropskih zemalja. Te su relacije prikazane na slici 1. Učešće električne energije za javnu rasvjetu u širokoj potrošnji⁸ i u ukupnoj potrošnji električne energije u analiziranoj grupi 15 zemalja Evrope analizirani su u tablicama 2. i 3. za četiri izabrana godišta — 1960, 1970, 1975. i 1979. godine. Uočavamo da učešće



Slika 1.

potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u našoj zemlji u sektoru široke potrošnje konstantno pada (zbog rasta potrošnje električne energije u domaćinstvima), a isto tako i u ukupnoj potrošnji električne energije u zemlji, što kod veće grupe zemalja nije slučaj (gdje potrošnja električne energije za javnu rasvjetu raste) ili je ovo opadanje u manjem opsegu nego što je to u Jugoslaviji. O tim odnosima vidi i sliku 2.

Analiza potrošnje električne energije za javnu rasvjetu prema ostvarenom društvenom proizvodu za 1960, 1970. i 1975. godinu na tisuću USA \$ prikazana je u tablici 4, a u tablici 5. dali smo tu analizu s kompletnim podacima za 1979. godinu.



Slika 2.

Iz podataka u tablici 4. vidimo da i po potrošnji električne energije za javnu rasvjetu po stanovniku na ostvareni društveni proizvod po stanovniku — Jugoslavija zaostaje za prosjekom Evrope; 1960. godine naša potrošnja je 60,7% od prosjeka analizirane grupe zemalja, 1970. u razini 61,7%, a 1975. godine u razini od 62,6%. U 1979. godini približili smo prosjeku analizirane grupe zemalja na 92%.

U korelacionoj analizi za utvrđivanje međuzavisnosti potrošnje električne energije za javnu rasvjetu i ostvarenog društvenog proizvoda dobili smo sljedeće koeficijente korelacije za analiziranu grupu zemalja (prema tablicama 4 i 5): 1960. godina 0,487; 1970. godina 0,548; 1975. godina 0,521 i za 1979. godinu 0,534. Iz toga zaključujemo da **ne postoji** međuzavisnost potrošnje električne energije za javnu rasvjetu i druš-

⁶ U analizu su uključene sve zemlje za koje su prikazani podaci o potrošnji električne energije po sektorima potrošnje u »Annual Bulletin of Electric Energy Statistics for Europa«. Poslije 1979. godine potrošnja el. energije za javnu rasvjetu ne prikazuje se posebno već u grupi široke potrošnje.

⁷ Za 1979. god. veći broj zemalja nije iskazao podatke, pa je u tablici data procjena na bazi posljednje godine iskazane potrošnje.

⁸ Uz javnu rasvjetu, u ovom sektoru potrošnje, nalaze se i domaćinstva, poslovne i društvene prostorije, javni vodovodi i poljoprivreda.

Tablica 1. Potrošnja električne energije za javnu rasvjetu u 16 zemalja Evrope — po stanovniku

u kWh

Zemlja	1960.	1970.	1975.	1977.	1979.
1. Austrija	43	118	202	247	(267)*
2. Švedska	...	82	119	130	(135)*
3. Belgija	17	40	51	80	86
4. Švicarska	...	42	56	61	65
5. Nizozemska	18	41	51	52	54
6. Francuska	16	33	44	...	49
7. Mađarska	...	25	39	44	49
8. Italija	15	32	35	40	(41)*
9. V. Britanija	18	31	38	40	40
10. Čehoslovačka	8	32	53	48	38
11. Španjolska	...	24	33	35	(35)*
12. Portugal	...	16	24	25	(27)*
13. Grčka	5	14	19	19	(21)*
14. Jugoslavija	4	12	17	18	20
15. Poljska	6	14	...	23	20
16. Rumunjska	7	17	10	10	9
Prosječno	14	36	53	58	(60)

Izvor: Izračunano iz podataka — za potrošnju električne energije za javnu rasvjetu »Annual bulletin of electric energy statistics for Europe« 1976. i 1979. UN, New York, 1977. i SGJ 1980. godine; za stanovništvo SGJ 1966, SGJ 1977. i SGJ 1980.

*Podatak za 1978. godinu

Tablica 3. Učešće električne energije za javnu rasvjetu u ukupnoj potrošnji električne energije u 15 zemalja Evrope

u %

Zemlja	1960.	1970.	1975.	1979.
1. Austrija	2,65	4,16	5,66	6,45
2. Belgija	1,14	1,24	1,40	1,87
3. Mađarska	...	1,75	1,99	2,98
4. Španjolska	...	1,74	1,67	1,58
5. Italija	1,61	1,62	1,54	1,53
6. Švedska	...	1,15	1,35	1,37
7. Nizozemska	1,43	1,45	1,41	1,29
8. Švicarska	...	1,04	1,24	1,22
9. Francuska	1,01	1,26	1,39	1,19
10. Grčka	1,54	1,45	1,21	1,06
11. ČSSR	0,51	1,13	1,50	0,99
12. Jugoslavija	1,08	1,11	1,05	0,96
13. V. Britanija	0,80	0,80	0,91	0,87
14. Poljska	0,71	0,84	...	0,72
15. Rumunjska	1,98	1,34	0,51	0,34

Izvor: Izračunano iz podataka »Annual bulletin of electric energy statistics for Europe« 1976. i 1979;

Tablica 4. Potrošnja električne energije za javnu rasvjetu u 16 zemalja Evrope po stanovniku na 000 \$ društvenog proizvoda

u kWh

Zemlja	1960.	1970.	1975.
1. Austrija	31,3	56,7	41,5
2. Mađarska	...	18,0	18,1
3. Portugal	...	24,3	15,3
4. Čehoslovačka	6,4	18,1	14,7
5. Švedska	...	21,2	14,5
6. Francuska	7,1	10,5	9,0
7. Nizozemska	10,3	16,3	8,9
8. Jugoslavija	6,8	11,8	8,7
9. Grčka	10,6	15,5	8,1
10. Rumunjska	13,6	18,5	8,0
11. Švicarska	...	13,1	6,7
12. Španjolska	...	24,8	...
13. Italija	12,8	17,2	...
14. Poljska	6,9	14,5	...
15. Belgija	8,7	13,4	...
16. V. Britanija	8,4	11,6	...
Prosječno	11,2	19,1	13,9

Izvor: Izračunano iz podataka — za društveni proizvod: Ivo Vinski »Društveni proizvod svijeta (za 1960, 1970) i »World Banks Atlas 1976«; za stanovništvo — SGJ 1964, SGJ 1974. i SGJ 1984; za električnu energiju kao u izvoru tablice 2.

III. RAZVOJ POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA JAVNU RASVJETU U SFRJ OD 1979. DO 1984. GODINE

Izvori podataka ne omogućavaju nam nastavak analize na evropskom planu, pa će analiza biti nastavljena samo za područje Jugoslavije. Osnovni procesi u potrošnji električne energije za javnu rasvjetu u zemljama Evrope utvrđeni su analizom od 1979. godine i najvjerojatnije su odnosi ostali isti.⁹ Međutim, to se ne može tvrditi i za područje Jugoslavije.

⁹ Uporište za ovu tvrdnju nalazimo u analizi potrošnje električne energije u sektoru domaćinstava iz naših ranijih radova.

Tablica 2. Učešće električne energije za javnu rasvjetu u ukupno ostaloj širokoj potrošnji u 15 zemalja Evrope

u %

Zemlja	1960.	1970.	1975.	1979.
1. Austrija	8,6	10,2	12,0	13,2
2. Belgija	6,4	4,3	3,8	4,8
3. ČSSR	2,4	5,4	6,0	3,7
4. Mađarska	...	6,75	5,8	3,2
5. Španjolska	...	5,4	5,6	4,7
6. Italija	6,5	5,6	4,8	4,4
7. Francuska	4,3	4,0	3,4	3,1
8. Poljska	3,7	4,5	...	2,9
9. Nizozemska	4,5	3,3	2,9	2,7
10. Rumunjska	10,9	6,0	2,9	...
11. Grčka	3,2	3,6	2,9	2,4
12. Jugoslavija	4,0	2,8	2,5	2,4
13. Švedska	...	3,1	3,2	2,1
14. Švicarska	...	2,1	2,2	2,1
15. V. Britanija	1,8	1,4	1,6	1,5

Izvor: Izračunano iz podataka »Annual bulletin of electric energy statistics for Europe« 1976. i 1979.

tvenog proizvoda, a time dolazimo i do nove spoznaje; s tržišnog i polit-ekonomskog aspekta možemo zaključiti da u sektoru potrošnje električne energije za javnu rasvjetu struja nema status robe — već javne službe, javnog dobra koje predstavlja **civilizacijsku tekovinu** suvremenog društva — bez obzira na visinu ostvarenog društvenog proizvoda. To prije što je učešće ovog sektora potrošnje u ukupnoj potrošnji električne energije **z a n e m a r i v o** malo.

Tablica 5. Društveni proizvod i potrošnja električne energije za javnu rasvjetu u 16 zemalja Evrope u 1979. godini — po stanovniku

Zemlja	DP u USA \$ (1979)	El. energ. JR (kWh)	kWh JR na 000 \$ DP
1. Švicarska	13 920	65	4,7
2. Švedska	11 930	135*	11,3
3. Belgija	10 920	86	7,9
4. Nizozemska	10 200	54	5,3
5. Francuska	9 950	49	4,9
6. Austrija	8 630	297*	30,9
7. V. Britanija	6 320	40	6,3
8. ČSSR	5 290	38	7,2
9. Italija	5.250	41*	7,8
10. Španjolska	4 380	35*	8,0
11. Grčka	3 960	21	5,3
12. Mađarska	3 850	49	12,7
13. Poljska	3 830	20	5,1
14. Jugoslavija	2 430	20	8,2
15. Portugal	2 180	27*	12,4
16. Rumunjska	1 900	9	4,7
Prosječno	6 559	60	8,9

Izvor: Izračunano iz podataka — za društveni proizvod »Statistički kalendar Jugoslavije 1980«; za električnu energiju kao u izvoru tablice 2.

* Podatak se odnosi na 1978. godinu

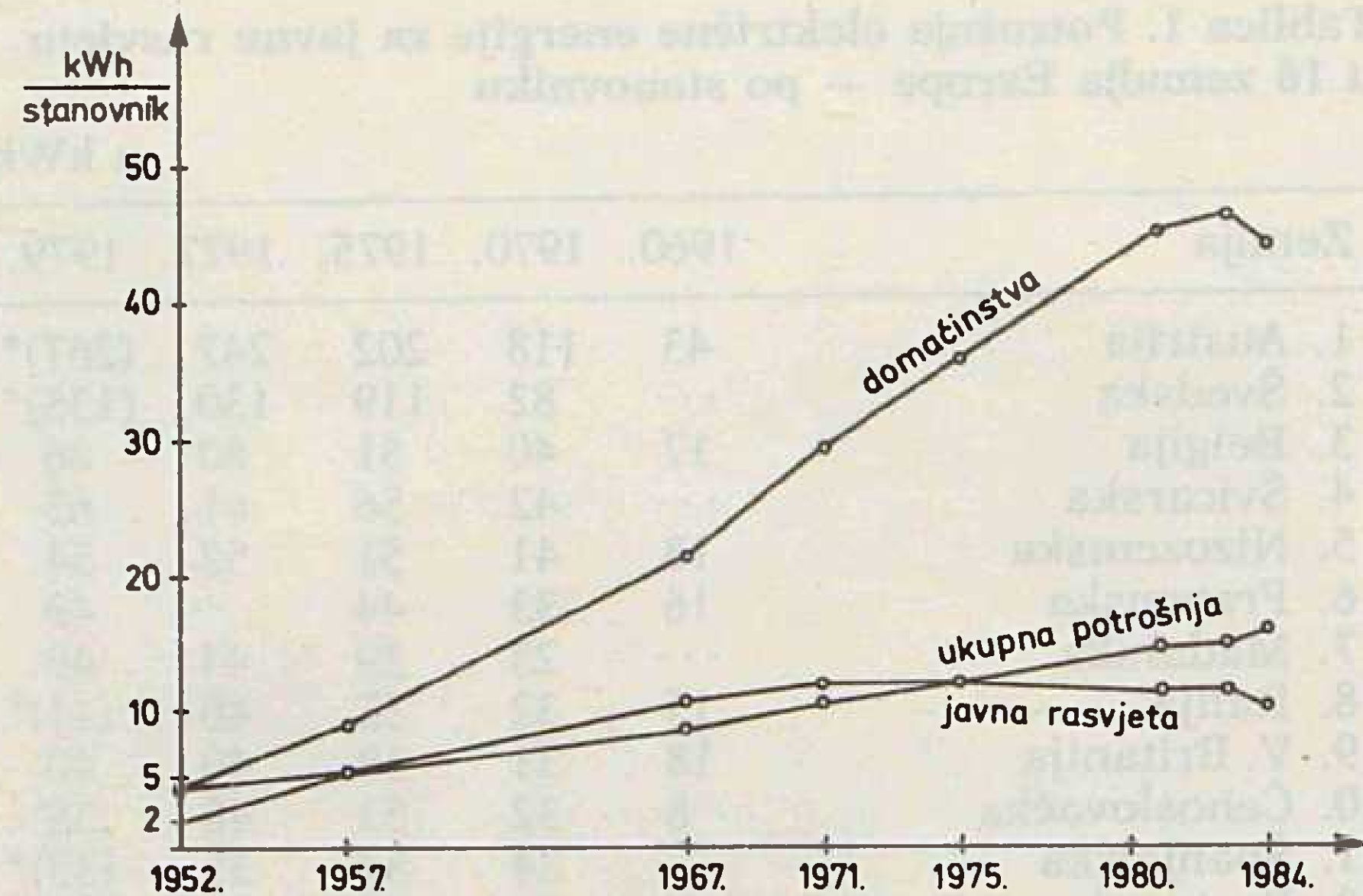
U tablici 6. prikazani su podaci o potrošnji električne energije po stanovniku u odnosu na ostvareni društveni proizvod po stanovniku (u stalnim cijenama 1972. godine), što smo grafički prikazali na slici 3. Što zaključujemo?

Tablica 6. Potrošnja električne energije i društveni proizvod (stalne cijene 1972.) po stanovniku u Jugoslaviji

	u kWh						
	1952.	1957.	1967.	1971.	1975.	1981.	1984.
Ukupna potrošnja	157	282	798	1 198	1 589	2 443	2 666
Ukupna potrošnja na 100.- dinara DP/st.	4,4	5,4	8,7	10,5	11,7	14,2	15,7
Potr. u dom. na 1000.- dinara DP/st	4,0	9,0	21,3	29,3	35,7	44,6	44,1
Javna rasvj. na 10000.- dinara DP/st.	3,8	5,7	10,6	11,8	11,6	11,1	10,6

Izvor: Izračunano iz podataka — za društveni proizvod SGJ 1979. i SGJ 1985. za broj stanovnika SGJ 1978. i SGJ 1985; za električnu energiju SGEJ 1971. i SGEJ 1984.

Ukupna potrošnja električne energije po stanovniku raste od 157 kWh godišnje po stanovniku 1952. godine na 2666 kWh po stanovniku godišnje u 1984. godini. Uspoređujući ukupnu potrošnju električne energije po stanovniku na svakih 100.- dinara društvenog proizvoda (stalne cijene 1972. godine), vidimo da ta potrošnja također raste, ali umjerenijim tempom. U sektoru domaćinstava potrošnja po stanovniku na svakih 1000.- dinara društvenog proizvoda bilježi po-

**Slika 3.**

rast (1952 = 100) s indeksom 1102, a u javnoj rasvjeti je porast potrošnje električne energije najmanji (ako je 1952 = 100) indeks 1984. godine iznosi 279. Do istog zaključka dolazimo i analizom posljednjeg šestogodišnjeg razdoblja u našoj zemlji (tablica 7).

Tablica 7. Broj stanovnika, društveni proizvod i potrošnja električne energije u Jugoslaviji

(indeksi, 1979 = 100)

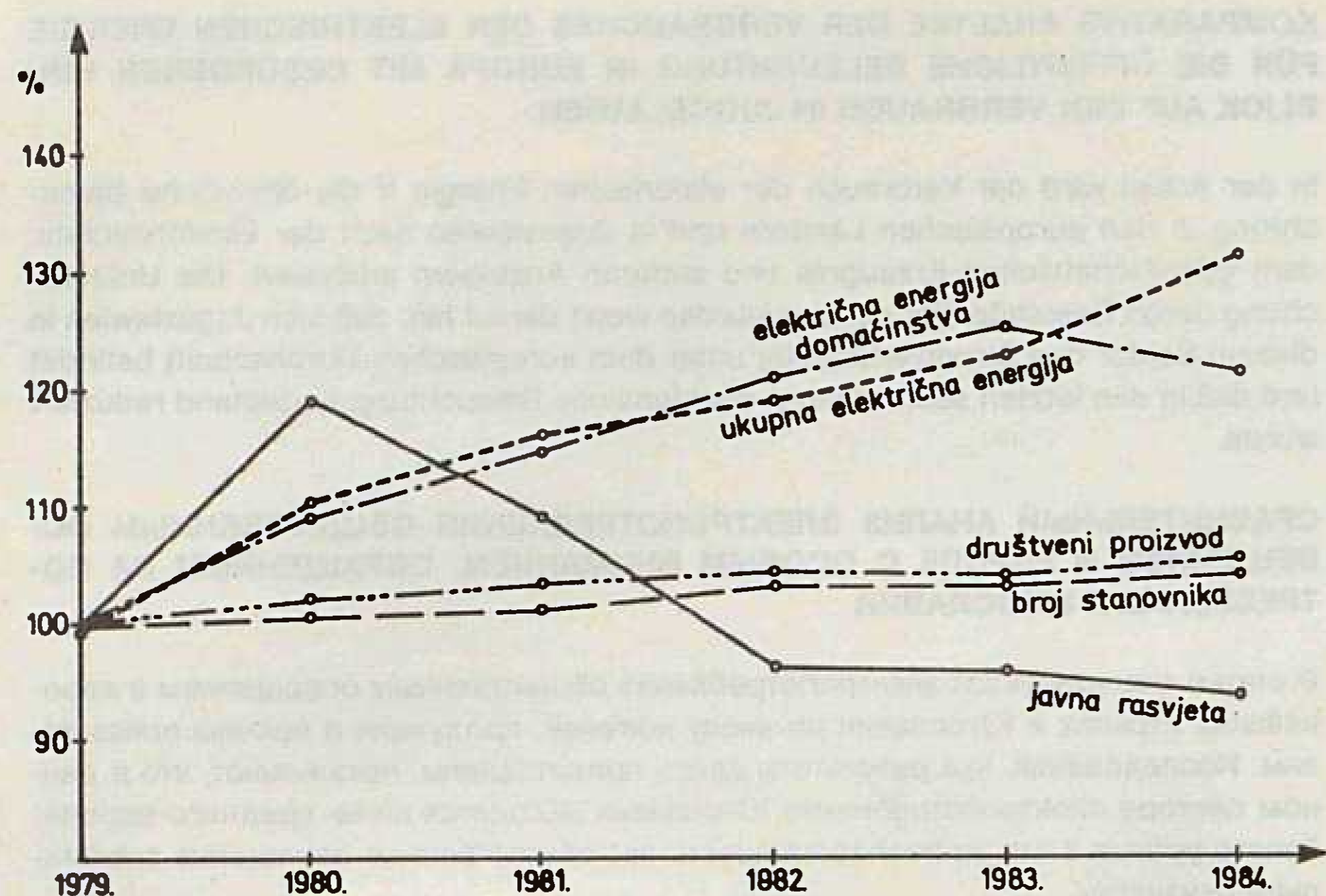
Godina	Broj stanovnika	Društ. proizv. (cijene 1972)	Ukupna potr. el. energ.	El. energ. u domać.	El. energija za javnu rasvjetu
1979.	100	100	100	100	100
1980.	100,6	102,3	110,3	109,9	119,6
1981.	101,4	103,8	116,8	115,6	109,9
1982.	102,9	104,3	118,7	121,6	96,2
1983.	102,8	102,9	123,0	125,2	96,6
1984.	103,6	105,0	132,4	121,6	93,9

Izvor: Izračunano iz podataka, za stanovništvo i društveni proizvod SGJ 1980. i 1984, za električnu energiju SGEJ 1984.

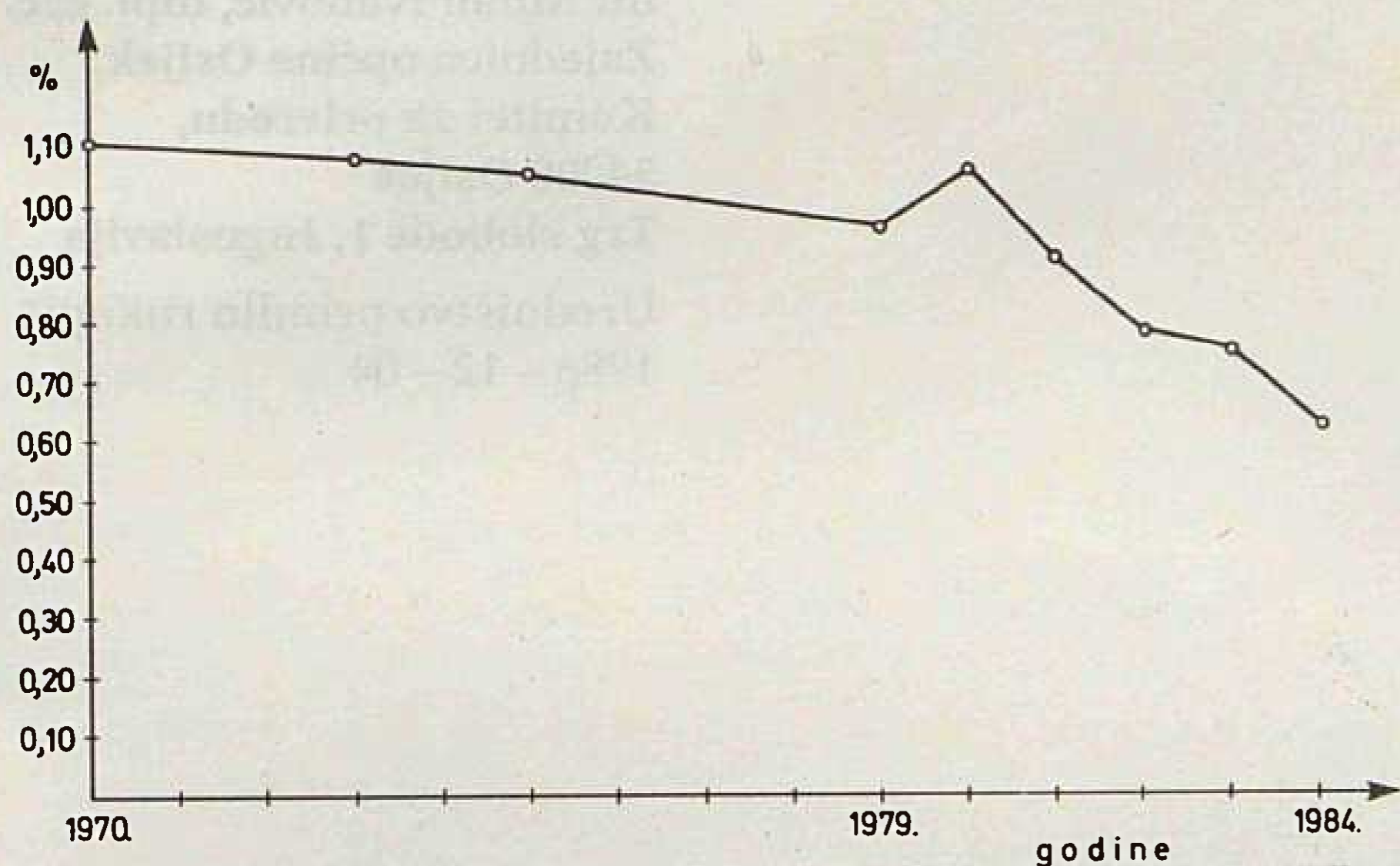
Iz ovih podataka (tablica 7) vidimo da je od 1979. do 1983. godine ostvaren vrlo dinamičan rast potrošnje električne energije u odnosu na porast broja stanovnika i društveni proizvod u zemlji, što je od privrede zahtijevalo vrlo značajna ulaganja. U isto vrijeme — od 1979. do 1983. godine — sektor domaćinstava ostvario je najveći porast potrošnje — cijelih 25,2 %, što nikako nije u skladu s ekonomskom logikom; društveni proizvod (u stalnim cijenama) umnogome zaostaje, a potrošnja električne energije (kao najplemenitije energije) nemilice raste kao da je u ekonomskom životu zemlje sve u najboljem redu.¹⁰ Potrošnja električne energije za javnu rasvjetu u zemlji u promatranom razdoblju znatno z a o s t a j e. Ove smo relacije i grafički prikazali na slici 4.

Nepovoljna kretanja u posljednjih pet godina najbolje pokazuju pad udjela potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u ukupnoj potrošnji električne energije u Jugoslaviji (podaci u tablici 8. i slika 5).

¹⁰ Vidi o tome Milan Ivanović, *Komparativna analiza potrošnje električne energije u domaćinstvima na području Jugoslavije* i Milan Ivanović, *Cjenovni aspekt energetske politike u SFRJ*



Slika 4.



Slika 5.

Tablica 8. Učešće potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u ukupnoj potrošnji električne energije u Jugoslaviji od 1979. do 1984. godine

Godina	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.
Učešće JR	0,96	1,06	0,90	0,78	0,75	0,62

u %

Izvor: Izračunano iz podataka SGEJ 1984.

ZAKLJUČAK

Na temelju provedene analize može se zaključiti:

1. Potrošnja električne energije za javnu rasvjetu u zemljama Evrope (uzorak od 16 zemalja uključujući i SFRJ) po stanovniku je različita: u rasponu od preko 260 kWh po stanovniku godišnje u 1979. godini (Austrija) do 9 kWh (u Rumunskoj).

Ne postoji korelacijska veza između potrošnje električne energije za javnu rasvjetu po stanovniku i društvenog proizvoda po stanovniku. Može se zaključiti da je visina potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u Evropi više pitanje kumunalnog standarda kao civilizacijske tekovine, a manje problem razine društvenog proizvoda iz kojeg bi se ekonom-

skog agregata aliminirala sredstva za razvoj potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u Evropi.

2. U svim zemljama (koje su obuhvaćene analizom) promatranom razdoblju 1960–1979. — osim u Poljskoj i Rumunjskoj potrošnja električne energije za javnu rasvjetu po stanovniku raste.

3. Potrošnja električne energije za javnu rasvjetu **po stanovniku** u Jugoslaviji je ispod prosjeka zemalja koje su obuhvaćene ovom analizom; od 1960. do 1979. U SFRJ je ova potrošnja tek u razini 1/3 prosjeka evropskih zemalja.

Slični su nepovoljni odnosi za SFRJ kada se analizira učešće potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u širokoj i ukupnoj potrošnji električne energije.

4. Nakon 1979. godine potrošnja električne energije za javnu rasvjetu u Jugoslaviji po svim pokazateljima (potrošnja po stanovniku, potrošnja u odnosu na ostvareni društveni proizvod, potrošnja u odnosu na široku potrošnju i ukupnu potrošnju električne energije) sve je nepovoljnija, što nikako nije u skladu s civilizacijskim tekovinama suvremenog društva, a pogotovo ne u zemlji koja proklamira izgradnju socijalističkog samoupravnog društva i koja ima izražene ambiciozne privredne planove u oblasti turizma.

5. Udio potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u ukupnoj potrošnji električne energije je zanemarlivo malen tako da u dvostrukoj te potrošnje, što bi Jugoslaviju dovelo po potrošnji električne energije za javnu rasvjetu po stanovniku na sredinu evropske liste, ne bi predstavljalo ni elektroenergetski ni ekonomsko-financijski problem za naše društvo.

LITERATURA

- [1] Grupa autora — (redakcija H. POŽAR): »Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije«, »Informator« Zagreb, 1983.
- [2] MILAN IVANOVIĆ: »Potrošnja električne energije u domaćinstvima izabраних zemalja Evrope i Jugoslavije«, »Energija« 4/86.

- [3] MILAN IVANOVIĆ; »Komparativna analiza potrošnje električne energije u domaćinstvima na području Jugoslavije«, VIII savjetovanje o energiji, Zbornik referata, Opatija, 1986.
- [4] MILAN IVANOVIĆ, MILANKO KALINIĆ; »Ekonomski aspekti korištenja električne energije za javnu rasvjetu u Jugoslaviji«, Jugoslavensko savjetovanje »Osjetljenje '86, Bajina Bašta — 6–9. 10. 1986; Zbornik referata)
- [5] MARIJAN KOROŠIĆ; »Antiinflaciona politika, »Ekonomska politika«, Beograd, 1980.
- [6] IVO VINSKI; »Društveni proizvod svijeta« Liber, Zagreb, 1976.

COMPARISON ANALYSIS OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION FOR PUBLIC LIGHT IN EUROPE WITH REVIEW ON CONSUMPTION IN YUGOSLAVIA

In the article is analyzed consumption of electric power for public light in European countries and Yugoslavia on the base of population, national income and other parameters. Examination shows that electric power consumption in Yugoslavia is under European average and in last 6 year public light is considerably reduced.

KOMPARATIVE ANALYSE DER VERBRAUCHES DER ELEKTRISCHEN ENERGIE FÜR DIE ÖFFENTLICHE BELEUCHTUNG IN EUROPA MIT BESONDEREN HINBLICK AUF DEN VERBRAUCH IN JUGOSLAWIEN

In der Arbeit wird der Verbrauch der elektrischen Energie für die öffentliche Beleuchtung in den europäischen Ländern und in Jugoslawien nach der Einwohnerzahl, dem gesellschaftlichen Erzeugnis und anderen Anzeigern analysiert. Die Untersuchung deren Resultate hier gezeigt wurden weist darauf hin, daß sich Jugoslawien in diesem Sektor des Stromverbrauchs unter dem europäischen Durchschnitt befindet und daß in den letzten sechs Jahren die öffentliche Beleuchtung bedeutend reduziert wurde.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ В ЕВРОПЕ С ОСОБЫМ ВНИМАНИЕМ, ОБРАЩЕННЫМ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ В ЮГОСЛАВИИ

В статье анализируется электропотребление общественным освещением в европейских странах и Югославии по числу жителей, продукции и прочим показателям. Исследования, чьи результаты здесь представлены, показывают, что в данном секторе электропотребления Югославия находится ниже среднего европейского уровня и что за последних шесть лет общественное освещение значительно снизилось.

Naslov pisca:

mr Milan Ivanović, dipl. ecc.
Zajednica općine Osijek,
Komitet za privredu,
54000 Osijek
Trg slobode 1, Jugoslavija
 Uredništvo primilo rukopis
 1986 – 12 – 04



elektrolux - rijeka

ELEKTROTEHNIČKA RADNA ORGANIZACIJA
 RIJEKA — ULICA ĐURE STRUGARA bb
 TELEGRAM: ELEKTROLUX — TELEFON: 516-333
 TELE X: 24374 YU ELUX

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

U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

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

RO ELEKTROLUX

PREGLED I USPOREDBA POSTOJEĆIH STANDARDA EMISIJE I IMISIJE SO₂ U SVIJETU I KOD NAS S POSEBNIM OSVRTOM NA TE PLOMIN

Mr. Jure Ćurković — Zlatko Varaždinec, Zagreb

UDK 621.311.22:502.7

PREGLEDNI RAD

U radu se daju propisi za kvalitetu zraka i emisija sumpornog dioksida u Evropi i Jugoslaviji. Radi ilustracije veličine doprinosa zagađenju zraka iz TE Plomin 1 i 2, dana je bilanca SO₂ na teritoriju Evrope, ukupna emisija SO₂ u Jugoslaviji, emisija SO₂ po republikama i autonomnim pokrajinama, kao i emisija SO₂ iz termoelektrana na ugljen. Provedena analiza je pokazala da će TE Plomin 1 i 2 pridonjeti 4,5 % ukupnoj emisiji SO₂ u Jugoslaviji 1990. godine.

Ključne riječi: standard, emisija, imisija, termoelektrana.

1. UVOD

Koncentracije sumpornog dioksida u prizemnim slojevima atmosfere određene su ponajprije:

- gustoćom lokacija izvora emisije
- karakteristikama izvora (visina ispusta, brzina na ispustu, intenzitet ispusta)
- lokalnim meteorološkim uvjetima
- lokalnom topografijom
- reakcijom sumpornog dioksida u dimnoj perjanci
- ostalim uvjetima za precipitaciju i depozciju.

Navedeni faktori su razlog kudikamo višim koncentracijama SO₂ u urbanim sredinama i industrijskim zonama nego u okolnim rubnim područjima. U područjima gdje u emisiji SO₂ dominira jedan ili nekoliko značajnih točkastih izvora uzorak prizemnih koncentracija SO₂ znatno ovisi o topografskim i meteorološkim karakteristikama lokacije i karakteristikama izvora.

1.1. Globalni ciklus sumpora

Prirodni procesi oslobađaju znatne količine sumpora u okolinu, koji ima svoj prirodni kružni ciklus. Količine sumpora koje dospijevaju u atmosferu izgaranjem fosilnih goriva predstavljaju dodatna opterećenja ustaljenih prirodnih tokova sumpora. Značajan prirodni izvor sumpora je, svakako, vulkanska aktivnost gdje se sumpor oslobađa u obliku H₂S i jedini je prirodni izvor manjih količina SO₂. Sulfati su pronađeni u aerosolima iznad morske površine, a veći dio H₂S nastaje prirodnim raspadom organskih materija. Oslobađanje H₂S u priobalnim područjima proizvodi najveći dio prirodnog sumpora.

Današnji udio sumpora oslobođenog spaljivanjem fosilnih goriva iznosi 60 % ukupne globalne emisije, a približno ukupno 95 % ovog sumpora u obliku je SO₂ [L 1]. Od prirodno oslobođenog sumpora 65 % je u obliku H₂S, uglavnom u aerosolima iznad morske površine.

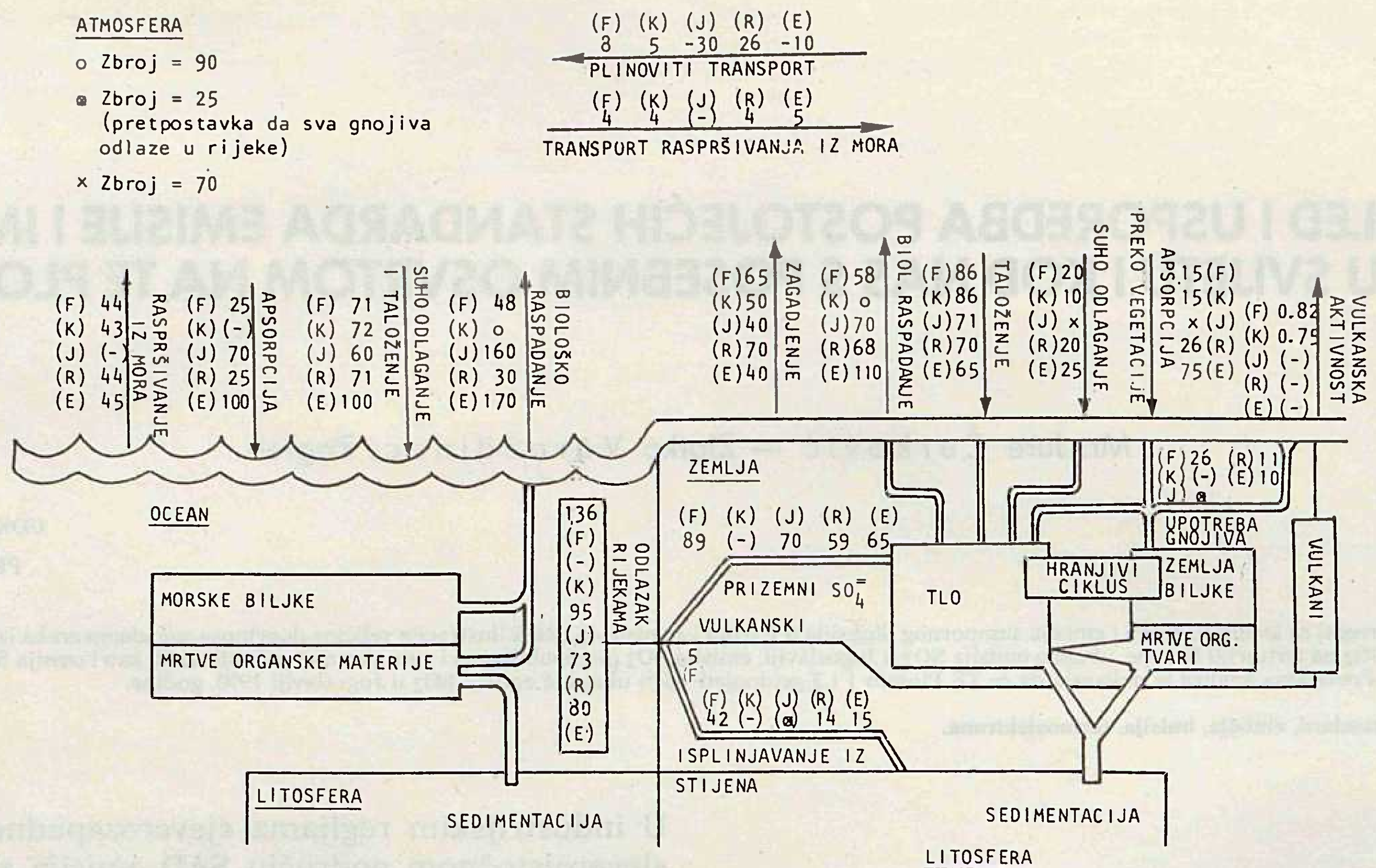
U industrijskim regijama sjeverozapadne Evrope i sjeveroistočnom području SAD emisija znatno premašuje prirodno oslobođeni sumpor. Prema [L 1] ugljen sudjeluje u emisiji SO₂ u iznosu od 60 % i sa stopom povećanja korištenja ovog goriva od 4 % godišnje do 1990, a zatim sa 3,5 % do 2000. godine dostignut će se iznos koji odgovara ukupnoj prirodnoj emisiji sumpora.

Najveće nepouzdanosti i neslaganja odnose se na emisiju sumpornih spojeva kao što su H₂S i dimetil-sulfid ((CH₃)₂S). Na slici 1. prikazan je globalni ciklus sumpora s proračunatim količinama toka sumpora. Poznavanje atmosferskog kemizma važan je faktor ne samo prilikom identificiranja izvora zagađenja već i pri određivanju zaštitnih mjera. Sulfati u atmosferi nastaju bilo direktno iz morskih aerosoli ili indirektno u atmosferskom kemijskom procesu iz drugih sumpornih spojeva. Približno je proračunato da od oko 130 milijuna tona sulfata, koliko se oslobodi iz morskih aerosoli, samo oko 10 % dosegne kopno. Procijenjeno je da koncentracija sulfata iznad površina oceana iznosi 2 do 5 μg/m³. To se može usporediti sa npr. prosječnom 24-satnom koncentracijom u urbanim sredinama istočnog dijela SAD gdje su izmjerene vrijednosti od 50 μg/m³. Da bi se mogla izračunati koncentracija sulfata, potrebno je konvertirati prethodne sumporne spojeve u sulfate.

Oba spoja, H₂S i SO₂, mogu oksidirati u sulfate. Oksidacija H₂S odvija se u reakciji u kojoj H₂S najprije prelazi u SO₂:



Budući da su podaci o globalnim koncentracijama H₂S vrlo skromni, odrediti utjecaj ove oksidacije na ukupnu koncentraciju sulfata u naseljenim područjima vrlo je kompleksan problem. Oksidacija SO₂ glavni je izvor sulfata u atmosferi, a vrlo je izražena u industrijskim područjima. Sumporni dioksid uglavnom oksidira u sulfate uz pomoć sunčevog zračenja. Ovaj proces se odvija sporije ako je stupanj zagađenja atmosfere letećim česticama niži.



Slika 1. Pregled globalnog ciklusa sumpora proračunatog za glavne tokove

Vrijednosti su u 10⁹ t/god. po sljedećim autorima: (F) Friend (1973); (K) Kellog et. al. (1972); (J) Junge (1963); (R) Robinson and Robbins (1970); (E) Eriksson (1963)

U zagađenim atmosferama, uz prisutnost ugljikovodika i dušikovih oksida, ova reakcija se odvija znatno brže. Najizrazitiji i vjerojatno najvažniji mehanizam konverzije SO₂ u sulfate jest onaj koji uključuje apsorpciju plina SO₂ u vodenim kapljicama, pri čemu prisutnost nekih rijetkih metala i atmosferskog amonijaka katalizira i još više ubrzava ovu reakciju.

Koncentracije sulfata direktno su zavisne od koncentracije SO₂, prisutnosti leteće prašine ili druge površine pogodne za reakciju, atmosferske vlažnosti, intenziteta sunčevog zračenja i svakako dužine vremena zadržavanja SO₂ u atmosferi. Koncentracije sulfata su obrnuto razmjerne brzini vjetera i precipitaciji.

Prema prethodnim procjenama može se prihvatiti da je ukupno 60 % sumpora u globalnom ciklusu oslobođeno ljudskom aktivnošću. Udio sumpornog dioksida nastalog izgaranjem ugljena u atmosferi u globalnom ciklusu sumpora procijenjen je približno na 50 % [L 1].

1.2. Konverzija SO₂ u sulfate (SO₄)

Određivanje koncentracije sulfata koji nastaju oksidacijom emitiranog sumpornog dioksida u atmosferi uobičajeno se vrši pomoću kompjutorskih modela s time da se pretvorbni omjer (SO₂ u sulfate) uzima kao prilagođavajući parametar, uz dodatne analize osjetljivosti. Kemijski mehanizam pretvorbe SO₂ u sulfate u čistim dijelovima stratosfere još je uvijek predmet istraživanja, dok je utjecaj zagađenosti nižih slojeva atmosfere i utjecaja pojedinih sastojaka u atmosferi poznat.

Većina atmosferskih zagađivača relativno se sporo izdvaja iz atmosfere zbog mehanizma daljinskog

transporta gdje zbog meteoroloških povoljnosti, kao što su anticiklone visokog tlaka, ovi vrlo razrijeđeni plinovi prelaze velike udaljenosti. Reakcije plinova SO₂ i NO₂, stvaranje drugih spojeva i aerosoli, apsorpcija plinova u kontaktu s letećim česticama prašine i apsorpcija u vodi rezultira relativno kratkim vremenom poluraspada ovih plinova u atmosferi. Vrijeme poluraspada SO₂ u atmosferi iznosi prosječno 1–2 dana [L 2].

2. POZICIJA U REGULATIVI

2.1. Pozicija u regulativi SFRJ

A) Propisane granične vrijednosti za ocjenu kvalitete zraka

U Jugoslaviji ne postoje savezni zakonski propisi koji bi definirali norme za dopušteno zagađenje zraka.

Jedinstveni propisi o kvaliteti zraka za SR Hrvatsku također nisu doneseni, tako da se u praksi koriste »Granične vrijednosti zagađenja zraka« što ih je usvojio Savjet za čovjekovu sredinu i prostorno uređenje SIV-a. Prema tim preporukama pojedini gradovi su usvojili posebne odluke o zaštiti zraka od onečišćenja. Problematika očuvanja kvalitete zraka određena je pojedinim odredbama u sljedećim zakonima: Zakonu o obavljanju hidrometeoroloških poslova od interesa za cijelu zemlju (Sl. list 39/74), Zakonu o sanitarnoj inspekciji (N.N. 54/80) i Zakonu o izgradnji objekata (N.N. 52/81).

Prema spomenutim preporukama kvaliteta zraka ocjenjuje se prema izmjerenim vrijednostima zagađenja, i to:

- VZ_d — vrijednost zagađenja dugotrajna — koja označava aritmetičku sredinu (C) vrijednosti zagađenja na ispitivanom području u periodu ispitivanja
- VZ_k — vrijednost zagađenja kratkotrajna — koja označava 95-percentil (C_{95}) vrijednosti od koje je 5 % izmjerenih vrijednosti veće.

Kvaliteta zraka ocjenjuje se prema propisanim graničnim vrijednostima, i to:

- $SGVZ_d$ (i GVZ_d) — stroga granična vrijednost zagađenja dugotrajna — kojom se ograničavaju vrijednosti VZ_d
- $SGVZ_k$ (i GVZ_k) — stroga granična vrijednost zagađenja kratkotrajna — kojom se ograničavaju vrijednosti VZ_k

Kriterij je zadovoljen ako su oba granična slučaja ispunjena istovremeno. Utvrđivanjem strogih graničnih vrijednosti određena je kvaliteta zraka dugoročno, kao i granične vrijednosti kvalitete zraka u rekreacijskim i posebno zaštićenim područjima. Prema definiciji u preporuci SIV-a, $SGVZ$ je definirana kao koncentracija koja prema dosadašnjim saznanjima ne može prouzrokovati nikakve smetnje ni kod najosjetljivijih osoba pri kontinuiranom djelovanju u toku cijelog života. Vrijednosti $SGVZ$ za reprezentativne zagađivače, s obzirom na djelovanje na ljude dane su u tablici 1.

Za velika urbana i industrijska središta u kojima je teško ostvariti kvalitetu zraka koja bi zadovoljila $SGVZ$ mogu se propisati privremeno tolerancije granične vrijednosti zagađenja (kao etapni cilj), ali one ne smiju biti više od graničnih vrijednosti zagađenja (GVZ) navedenih u tablici 2. Granične vrijednosti zagađenja definiraju najviše dopušteni stupanj zagađenja atmosfere uz pojedinačno ili istovremeno djelovanje više zagađivača.

Tablica 1. Stroge granične vrijednosti zagađenja ($SGVZ$)

Zagađivač	$SGVZ_d$	$SGVZ_k$
	masena koncentracija mg/m ³	
sumporni dioksid — uzorak 24 sata	0,060	0,150
dim "	0,040	0,090
lebdeće čestice "	0,060	0,150
Ugljični monoksid za 8 satni prosjek	10,0	
za 1 satni maksimum	40,0	
stroge granične vrijednosti zagađenosti $SGVZ_d$ djelovanje na vegetaciju i životinje		
sumporni dioksid (kritični receptor: jela, bor i biljke iste osjetljivosti)	0,060	

Kvaliteta zraka je ugrožena i potrebno je poduzeti mjere ako su u kontroliranom području, barem na dvije mjerne stanice, koje su na međusobnoj udaljenosti 4 km, za pojedini zagađivač istovremeno prekoračene bilo koje od graničnih vrijednosti GVZ_d i/ili GVZ_k . Kada se stanje kvalitete zraka ocjenjuje prije numeričke obrade ili kad se kontrola kvalitete zraka vrši ograničenim brojem mjerenja u razdoblju najveće

Tablica 2. Granične vrijednosti zagađenja zraka GVZ (prikazan dio izvorne tablice)

Zagađivač	GVZ_d	GVZ_k	Trajanje uzimanja uzorka
	(C) masena koncent. (mg/m ³)	(C_{95})	
sumporni dioksid	0,110	0,300	24 h
sumporni dioksid	0,110	0,360	30 min
dušikov dioksid	0,080	0,300	30 min
dušikov monoksid	0,200	—	30 min
sumporovodik	0,010	0,020	30 min
ugljični monoksid	10,000	30,000	30 min
anorg. spojevi fluora (F)	0,001	0,003	30 min
klor	0,100	0,300	30 min
anorg. spojevi klora (Cl)	0,100	0,200	30 min
dim	0,060	0,160	24 h
lebdeće čestice	0,110	0,300	24 h

će zagađenosti, smatra se da je kvaliteta zraka ispitivanog područja ugrožena kod pojedinačne vrijednosti zagađenja barem na dvije mjerne stanice koje su na međusobnoj udaljenosti 4 km, prekoračuju samo jedan dan u godini sljedeće vrijednosti:

SO_2	0,650 mg/m ³	(dnevni prosjek)
dim	0,350 mg/m ³	(dnevni prosjek)
lebdeće čestice	0,650 mg/m ³	(dnevni prosjek)

Prema Zaštiti atmosfere broj 15/79, u kojoj su objavljene granične vrijednosti zagađenja zraka, u obrazloženju se navodi da prikazani prijedlog, koji je usuglašen na nivou federacije, predstavlja osnovu normativne djelatnosti za ograničenje zagađenosti zraka u Jugoslaviji. Naglašeno je da granične vrijednosti predstavljaju prihvatljivi kompromis zahtjeva za kvalitetom zraka koji odgovara zahtjevima biološkog života i zahtjeva obavljanja određenih djelatnosti kojima se zrak zagađuje. U obrazloženju je kategoriziran zagađeni zrak prema graničnim vrijednostima u tri klase, i to:

- I — čist zrak, ako zadovoljava uvjete $SGVZ$
- II — malo do srednje zagađeni zrak, ako ne zadovoljava uvjete $SGVZ$ ali ne premašuje GVZ
- III — veoma zagađen zrak, ako ne zadovoljava ni uvjete GVZ

Prethodni podaci predstavljaju jugoslavenske norme koje nemaju karakter saveznog zakona jer je ta regulativa **spada** u nadležnosti republika.

Republičkim zakonom o prostornom planiranju i uređenju prostora (N.N. 54 od 31.12. 1980) definirana je obaveza donošenja republičkih i općinskih sustavnih planova u kojima trebaju biti definirane granice dopuštenog zagađivanja čovjekove okoline.

2.2. Propisi za kvalitetu zraka u SAD

A) Standard imisije SO_2

U SAD su propisani zahtjevi za kvalitetu zraka prema NAAQS* — standardu. Prema tim normama granične vrijednosti prizemnih koncentracija SO_2 iznose:

* NAAQS — National Ambient Air Quality Standards

- primarno $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,03 ppm) kao godišnja aritmetička srednja vrijednost
- 24-satna prosječna vrijednost $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ koja ne bi smjela biti premašena više od 1 puta godišnje
- sekundarno $1\,300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,5 ppm) za 3-satnu maksimalnu koncentraciju ne više od jedanput godišnje.

Prema [L 3] prizemne koncentracije sumpornog dioksida predmet su kontinuiranog monitoringa u SAD koji se provodi po određenim područjima. Promatrane lokacije su svrstane u tri kategorije zavisno od ukupne zagađenosti zraka:

- područja unutar radijusa 20 km od izvora zagađenja,
- urbana područja,
- cjelokupnog teritorija više država.

Prema obrađenim podacima prosječne godišnje vrijednosti koncentracija u udaljenim rubnim područjima iznose od $10,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $78,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u urbanim i industrijskim zonama. Najviše trenutne vrijednosti zabilježene su u područjima unutar 20 km udaljenosti od dominirajućih glavnih točkastih izvora zagađenja. Na tim lokacijama prosječne maksimalne kratkotrajne koncentracije iznose: 24-satna do $1\,040 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 3-satna do $3\,650 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 1-satna do $5\,996 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

U SAD je nivo prizemnih koncentracija znatno smanjen nakon donošenja federalnog propisa o ograničenju emisije SO_2 , prema kojem praktično sva postrojenja koja su u izgradnji ili puštena u rad poslije 1978. godine moraju imati ugrađena postrojenja za odsumporavanje.

B) Standardi emisije SO_2

Zamjena ugljena u urbanim područjima plinom i loživim uljem s niskim sadržajem sumpora i izgradnja visokih dimnjaka u rubnim perifernim područjima provedena je sistematski u SAD od 1970. godine.

Između 1964. i 1971. prosječne godišnje koncentracije SO_2 smanjene su za 50 % na 32 lokacije koje je studirala EPA*. Iako je na ovaj način postignuto smanjenje koncentracije SO_2 u urbanim sredinama, ukupna emisija SO_2 povećana je za 45 % od 1960. do 1970. god. [L 1] da bi zatim bila smanjena oko 8 % u razdoblju 1970–1976. godina. Približno 90 % povećane emisije SO_2 posljedica je rada novih termoelektrana na ugljen, iako u ukupnoj emisiji termoelektrane učestvuju sa 64 % (podaci EPA 1978. god.).

U sedamdesetim godinama u SAD glavnina dodatne emisije SO_2 iz termoelektrana ispuštena je u atmosferu preko visokih dimnjaka. Studiranjem svih osobitosti potencijalnih lokacija i selekcijom postignuti su izvanredni rezultati, tako da su povećane prizemne koncentracije u urbanim sredinama registrirane samo u području u smjeru niz vjetar ili u blizini industrijskih zona s pretežno nižim ispuštima.

U SAD je na snazi standard kojim je regulirana emisija SO_2 i ostalih zagađivača iz termoenergetskih ob-

jekata [L 4]. Ovaj standard se odnosi na objekte koji su u izgradnji nakon rujna 1978. godine, čije toplinski-kapacitet prelazi 73 MW za toplane, odnosno 25 MW_e za termoelektrane.

Propisana emisija izražena je u (ng/J) i predstavlja količinu zagađivača emitiranog po jedinici proizvedene energije. Granična vrijednost za emisiju SO_2 iz čvrstih goriva iznosi 520 (ng/J) proizvedene toplinske energije i 10 % od potencijalne koncentracije SO_2 (odgovara 90 % redukciji emisije) ili se zahtijeva minimalna redukcija od 70 % kada je emisija manja od 260 (ng/J). Za tekuća i plinovita goriva granična vrijednost emisije SO_2 iznosi 340 (ng/J), računato po jedinici proizvedene toplinske energije.

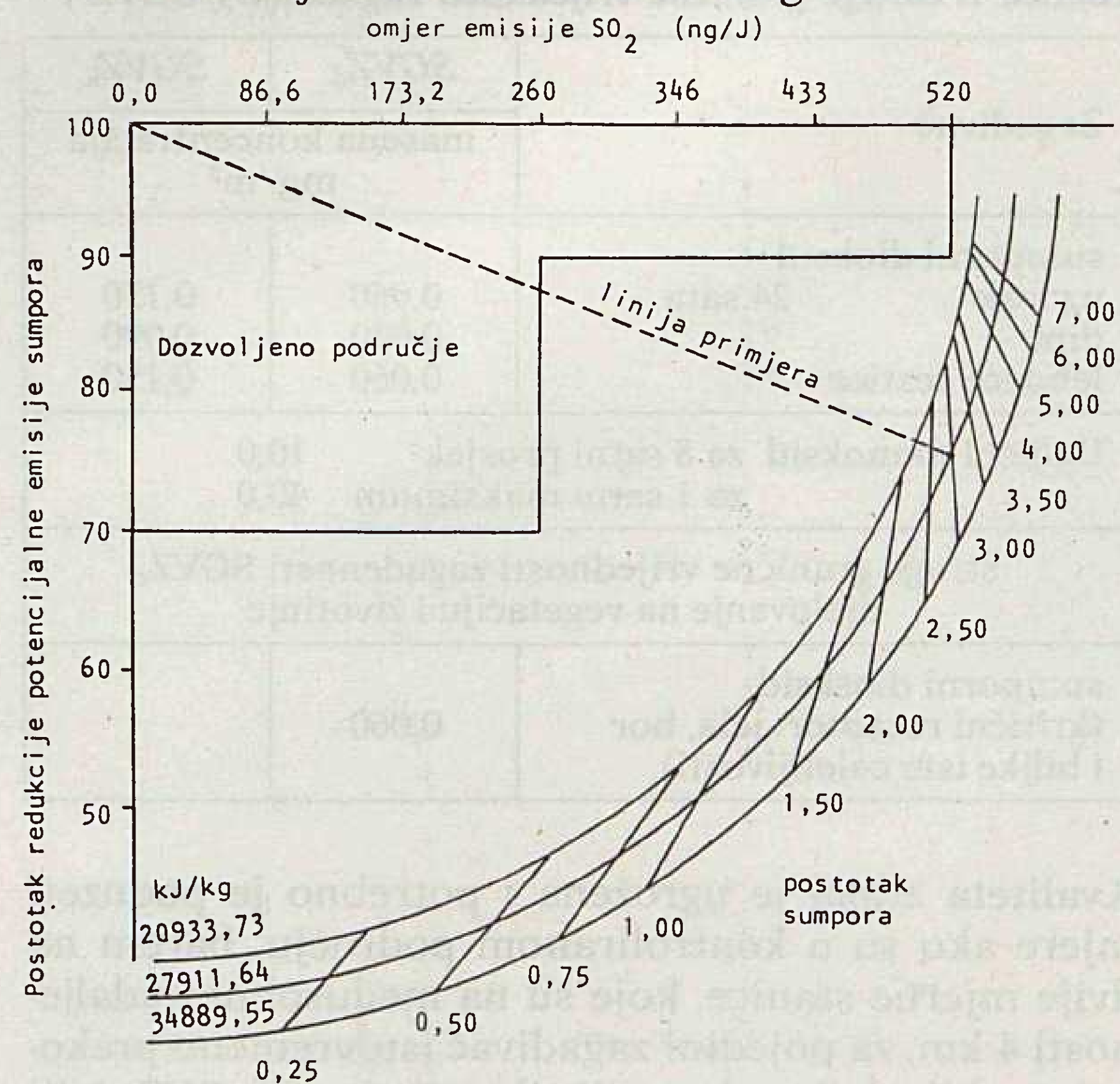
Problematika utvrđivanja emisijskih standarda i eventualno sniženje predmet je mnogih studija u SAD (EPA), tako da su novi emisijski standardi («NSPS* for Sulfur Dioxide») emisiju SO_2 definirali kompleksnije, uzevši u obzir toplinsku vrijednost i postotak sumpora u ugljenu. Ilustracija prethodnih navoda dana je na slici 2. [L 4].

2.3. Propisi za kvalitetu zraka za SR Njemačku

A) Standardi emisije

Standardi kvalitete zraka u SR Njemačkoj regulirani su mnogobrojnim zakonima i propisima na saveznom i pokrajinskim nivoima. Prema smjernicama [L 11] koje imaju snagu zakonskih propisa, koncentracije polutanata u prizemnom sloju atmosfere dane su u tablici 3.

Za granične vrijednosti iz tablice 3. potrebno je napomenuti da je GVZ_k za SO_2 od $0,40 \text{ mg}/\text{m}^3$ usporediva s rezultatima 30-minutnih uzoraka obzirom da se u SRNJ ne mjeri metodom 24-satnog uzorka. Prema



Slika 2. Grafički prikaz NSPS za sumporni dioksid

* EPA — Environmental Protection Agency

* NSPS — New Source Performance Standard

Tablica 3. Granične vrijednosti imisije zagađivača u cilju zaštite zdravlja (prema TA-Luft-1983.)

Zagađivač	Jedinica	GVZ _d *	GVZ _k **
leteće čestice (ne uzimajući u obzir sastav)	mg/m ³	0,150	0,30
olovo i anorganski spojevi olova kao sastojci letećih čestica — izraženo kao Pb	μg/m ³	2,0	—
kadmij i anorganski spojevi kadmija kao sastojci letećih čestica — izraženo kao Cd	μg/m ³	0,04	—
klor	mg/m ³	0,10	0,30
hidrogen-klor kao Cl	mg/m ³	0,10	0,30
ugljični monoksid (CO)	mg/m ³	10	30
sumporni dioksid (SO ₂)	mg/m ³	0,14	0,40
dušikov dioksid (NO ₂)	mg/m ³	0,08	0,30

* Granična vrijednost zagađenja dugotrajna — godišnji prosjek

** Granična vrijednost zagađenja kratkotrajna — 30 min

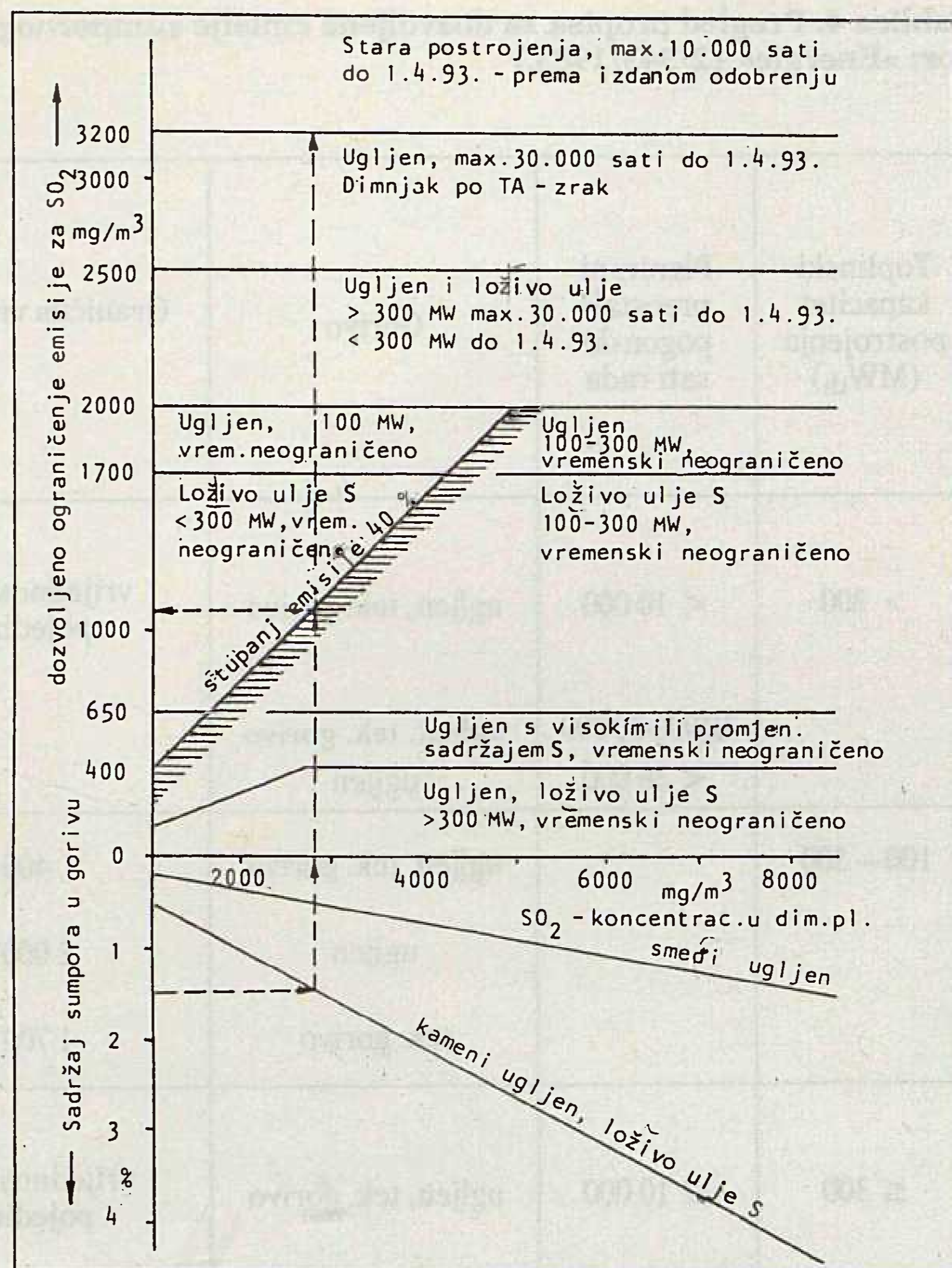
[L 5] također je propisana godišnja prosječna vrijednost 0,05 mg/m³ ili 0,06 mg/m³ za šira područja koja nisu direktno ugrožena, što je u skladu s dogovorom EEZ kojim je predviđena planirana godišnja granična vrijednost 0,04 — 0,06 mg/m³. U urbanim i industrijskim područjima propisana je GVZ_d od 0,140 mg/m³.

Ovdje je također potrebno napomenuti da se granične vrijednosti odnose na 98 percentil, što u odnosu na 95 percentil (prema prethodnim TA-Luft-1974) predstavlja bitno strože norme.

B) Standard emisije SO₂

Prema propisima kojima je ograničena emisija, uz upotrebu postrojenja za odsumporavanje, predviđeno je da se obavezno vrši odsumporavanje dimnih plinova termoenergetskih postrojenja s toplinskim kapacitetom preko 300 MW. Pri tome kvaliteta dimnih plinova mora zadovoljavati propis od 400 mg/m³ za emisiju SO₂ i približno 85 %-tnu efikasnost sistema odsumporavanja. Ovaj zahtjev mora se primijeniti za sva postrojenja preko 300 MW do 1.7.1988. Prema propisima za velika ložišta (GRAVO*) ograničenja emisije SO₂ propisana su zavisno od starosti postrojenja i planiranih preostalih pogonskih sati i prema veličini postrojenja kao što je prikazano u tablici 4.

Prema »TA-Luft« — 1983. emisije SO₂ u dimnim plinovima ložišta na ugljen toplinskog kapaciteta 4 TJ/h naviše ograničavaju se odsumporavanjem dimnih plinova. Odsumporavanje dimnih plinova može iznositi preko 80%. Prilikom odsumporavanja može se dozvoliti da postrojenja radi s maksimalnim kapacitetom i bez odsumporavanja, ali ne duže od 3 godine u slučaju kada postoje smetnje u radu postrojenja za odsumporavanje.

**Slika 3. Ograničenje emisije SO₂ kod starih postrojenja**

Prema nomogramu na slici 3. prikazane su propisane vrijednosti emisije za različite količine sumpora u gorivu i vrste goriva, zavisno od duljine eksploatacije postrojenja**. Prema slici 3. može se zaključiti da je propis uzeo u obzir starost postrojenja i ukupnu emisiju kao ukupni radni vijek postrojenja.

Ove revidirane vrijednosti emisije kompromis su između utjecaja na emisiju odnosno štetnost za okolinu i stanja tehnologije kao i snage nacionalne ekonomije da podnese troškove skuplje energije. Izbjegavanjem linearno propisane granice emisije djelomično je amortiziran nagli skok u dodatnim investicijama za zaštitna postrojenja, čime je stvoren prostor za lakše kompenziranje viših troškova proizvedene energije.

Predviđeno je da se 1993. završi prijelazno razdoblje za instaliranje uređaja za kontrolu emisije, iz čega se može zaključiti da je uzet u obzir i paralelni razvoj i usavršavanje tehnologije kontrole zagađivača. Spomenuta godine odnosi se ujedno i na sve zemlje EEZ.

2.4. Propisi za kvalitetu zraka u zemljama članicama Evropske ekonomske zajednice (EEZ)

A) Granične vrijednosti imisije

Prve smjernice za granične vrijednosti prizemnih koncentracija zagađivača atmosfere donesene su na

* GFAVO — Grossfeuerungsanlagen verordnung

** Izvor »Energie« 14/345/1983. (»GFAVO«) — SRNJ

Tablica 4. Pregled propisa za dozvoljene emisije sumpornog dioksida za postojeća postrojenja (GFAVO) u SR Njemačkoj (Izvor: »Energie« 12/343/1983.)

Toplinski kapacitet postrojenja (MW _{th})	Planirani preostali pogonski sati rada	Gorivo	Granična vrijednost emisije SO ₂ (mg/m ³)	Termini			
				Početak za preostale pog. sate	Rok za definiranje i raz. problema	Rok ispunjavanja propisanih ograničenja	Zatvaranje postr. najkasnije do
> 300	< 10 000	ugljen, tek. gorivo	vrijednost određena prema pojedinim dozvolama	1.7.1984.	30.6.1984.	prema pojedinim dozvolama	1.4.1993.
	10 000-30 000	ugljen, tek. gorivo	2 500	1.7.1984.	30.6.1984.	1.7.1985.	1.4.1993.
	< 30 000	ugljen	3 200*	1.7.1984.	30.6.1984.	1.7.1985.	1.4.1993.
100 – 300		ugljen, tek. gorivo	400 (15% emisije)	—	—	1.7.1988.	nije određen
		ugljen	2 000 (40% emisije)	—	—	1.7.1988.	nije određen
		tek. gorivo	1 700 (40% emisije)	—	—	1.7.1988.	nije određen
≤ 300	≤ 10 000	ugljen, tek. gorivo	vrijednost određena prema pojedinim dozvolama	1.7.1984.	30.6.1984.	prema pojedinim dozvolama	1.4.1993.
	> 10 000	ugljen, tek. gorivo	2 500	—	—	1.7.1985.	1.4.1993.
	< 30 000	ugljen	3 200*	1.7.1984.	30.6.1984.	1.7.1985.	1.4.1993.
< 100	—	ugljen	2 000	—	—	1.7.1985.	nije određen
	—	tek. gorivo	1 700	—	—	1.7.1988.	nije određen

* Dimnjak dimenzioniran prema »TA-Luft« — zakonskim propisima

nivou EEZ 17.12.1979. godine. Smjernice sadrže višestupnjeviti sistem planskih i graničnih vrijednosti za SO₂ i leteće čestice, koje se moraju postići u zemljama članicama najkasnije 1993. godine. Za područja u kojima bi moglo doći do prekoračenja propisanih vrijednosti potrebno je izraditi program smanjenja emisije i podnijeti ga do 1992. odgovarajućoj komisiji.

U tablici 5. prikazane su granične vrijednosti GVZ za sumporni dioksid zavisno od zacrnjenja filtra zbog letećih čestica prašine u zraku. Može se uočiti da za veće zacrnjenje vrijede niže granične vrijednosti koncentracija sumpornog dioksida. Ovaj sistem graničnih vrijednosti predstavlja alternativu »A« u kojoj su propisane vrijednosti slične preporukama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). Prema alternativu »B« usvojene su vrijednosti koje su identične s propisima »TA-Luft« (SRNJ) prikazane u tablici 6.

Prema planiranim vrijednostima kvaliteta zraka koje bi trebale biti postignute u zemljama EEZ iz tablice 1.12-b. granične vrijednosti su zacrtane u prikazanom rasponu.

Tablica 5. Sistem graničnih vrijednosti EEZ za SO₂ i leteće čestice

Alternativa »A«: Vrednovanje srednjih dnevnih vrijednosti; granične vrijednosti zavise od zacrnjenja sitnim letećim česticama

Period vrednovanja	Utvrđena kvaliteta zraka (zacrnjenje sitnim letećim česticama (μg/m ³))	Zahtjevi za održavanje graničnih vrijednosti	
		sumporni dioksid (μg/m ³)	zacrnjenje česticama (μg/m ³)
godina	preko 40*	ispod 80*	ispod 80
godina zima (1.10. – 31.3.)	ispod 40*	ispod 120*	zadovoljeno
godina zima (1.10. – 31.3.)	preko 60*	ispod 130*	ispod 130
godina	ispod 60*	ispod 180*	zadovoljeno
godina	preko 100**	ispod 250**	ispod 250
godina	ispod 150**	ispod 350**	zadovoljeno

* Kod 50% dana perioda vrednovanja (C₅₀ = median)

** Kod 98% dana perioda vrednovanja (ne smiju biti prekoračene za više od 3 uzastopna dana godišnje)

Tablica 6-a. Sistem graničnih vrijednosti u zemljama EEZ za SO₂ i leteće čestice

Alternativa »B«: Vrednovanje 30-minutnih vrijednosti za SO₂ i srednjih dnevnih vrijednosti za leteće čestice, pri čemu se ukupne leteće čestice vrednuju prema težini

Period vrednovanja	Zahtjevi za održavanje graničnih vrijednosti	
	sumporni dioksid (μg/m ³)	leteće čestice (μg/m ³)
godina godina	ispod 140* ispod 400**	100 do 150 ispod 300***

* srednja godišnja vrijednost

** kod 95% 30-minutnih vrijednosti

*** kod 95% srednjih dnevnih vrijednosti

Tablica 6-b. Planske vrijednosti za SO₂ i leteće čestice za zemlje članice EEZ

Period vrednovanja	Srednje vrijednosti	
	sumpor. dioksid – koncentrac. (μg/m ³)	leteće čestice (μg/m ³)
godina 24-satni	40 – 60 100 – 150	40 – 60 100 – 150

2.5. Propisi za kvalitetu zraka u SSSR**A) Propisane vrijednosti imisije — određivanje fonskih koncentracija [L 6]**

Radi postizanja propisanih vrijednosti prizemnih koncentracija u SSSR-u primjenjuje se Privremena uputa za određivanje fonskih koncentracija zagađujućih materija u atmosferskom zraku radi normiranja emisije i određivanja granične dozvoljene emisije. Ovakvim postupkom kontrole kvaliteta zraka i redukcije emisije vrlo je značajno odrediti postojeće stanje zagađenja. Propisano je da se odredi fonska koncentracija kao sumarna koncentracija zagađivača koja je izazvana emisijom svih izvora osim promatranog, a određuje se za cijeli teritorij koji dolazi u zonu djelovanja razmatranog izvora zagađenja.

Fonska koncentracija računa se za svaku zagađujuću materiju na osnovi izmjerenih podataka, a ako nedostaju, određuju se računski. Prema normama proračuna maksimalnih kratkotrajnih koncentracija u atmosferi za fonsku koncentraciju se uzima, kao statistički vjerodostojna, maksimalna kratkotrajna koncentracija (dvadeset minutni prosjek).

Fonska koncentracija se, na osnovi mjerenja, određuje kao koncentracija koja je premašena ne više nego u 5% slučajeva od ukupnog broja mjerenja. Za određivanje fonske koncentracije služe podaci mjerenja za zadnjih 5 godina, ako ispunjavaju propisane uvjete. Iznimno se mogu odrediti i na osnovi mjerenja od 2 godine. Broj mjerenja za svaku godinu i svaku materiju ne smije biti manji od 200, pri čemu ukupni broj mjerenja za razmatrano razdoblje ne smije biti manji od 800.

Prilikom obrade po potrebi se uzimaju u obzir brzine i smjer vjetra, tako da brzina C_f iznosi za tišine 0–2 m/s, a C_f za sve četiri strane svijeta i vjetar 3– n_m , pri čemu je n_m brzina vjetra od koje je 5% mjerenja imalo veću brzinu. Brzine i smjerovi vjetra uzimaju se sa stanice koja je karakteristična za promatrano područje.

Ako nema podataka mjerenja, fonske koncentracije se mogu dati i paušalno. Tako za gradove do 250 000 stanovnika bez posebnih zagađivača iznose: za SO₂ 0,1 mg/m³, NO₂ 0,03 mg/m³, CO 1,5 mg/m³ i leteće čestice 0,2 mg/m³.

Prema publiciranim rezultatima istraživanja [L 6]*, koji su službeni stav nadležnih zdravstvenih organa, za ocjenu između srednje godišnje, najviše dnevne i najviše 20 – 30 minutne koncentracije upotrebljava se odnos 1 : 4 : 10, tako da se na osnovi kontinuiranih mjerenja mogu ocijeniti i kratkotrajne koncentracije. Sve zagađujuće materije svrstane su u klase opasnosti 1–4, prema čemu se granična prizemna koncentracija zagađivača (*PDK*) može za npr. 4-tu klasu opasnosti povećati za 7–10 puta u odnosu na 1. klasu opasnosti.

Ovdje treba napomenuti da se *PDK* prizemne granične vrijednosti zagađenja ne smatraju maksimalnim dozvoljenim koncentracijama, već se u praksi računa s tim da se *PDK* vrijednosti mogu i prelaziti, ali se tada utvrđuju stupnjevi opasnosti za nastalu zagađenost u naseljenim područjima. Nomogrami za ocjenu stupnja zagađenosti prikazani su na slici 4.

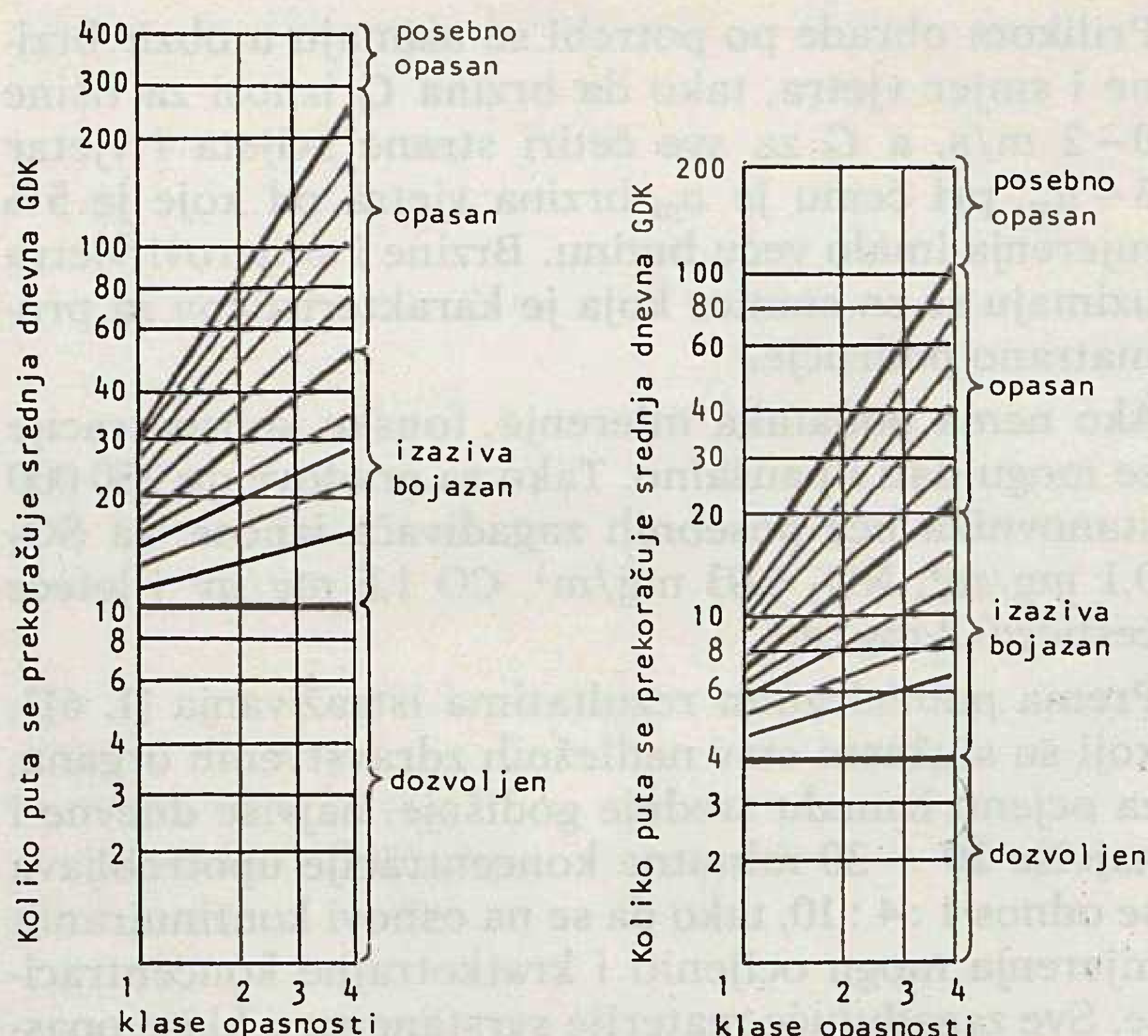
Ovdje je važno naglasiti da srednja dnevna *PDK* ima drugačije tumačenje nego u našim propisima. Tako npr. prema [L 6] za sumporni dioksid srednja dnevna koncentracija predstavlja »srednjodnevnu *PDK*« za SO₂ pomnoženu s 4 što daje 0,05 x 4 = 0,200 mg/m³. Ranija vrijednost *PDK* za SO₂ od 0,150 mg/m³ zamijenjena je u SSSR-u sa 0,050 mg/m³. Kratkotrajna koncentracija, tj. uzorak 20 – 30 minuta predstavlja deseterostruku vrijednost »srednje dnevne *PDK*« i za SO₂ iznosi 10 x 0,5 = 0,500 mg/m³.

Ako se uzmu u obzir različitosti u definiranju *PDK*, uspoređivanjem sa SGVZ (iz domaće regulative) prema [L 6] može se zaključiti da se naše vrijednosti SGVZ neznatno razlikuju.

B) Granične vrijednosti emisije

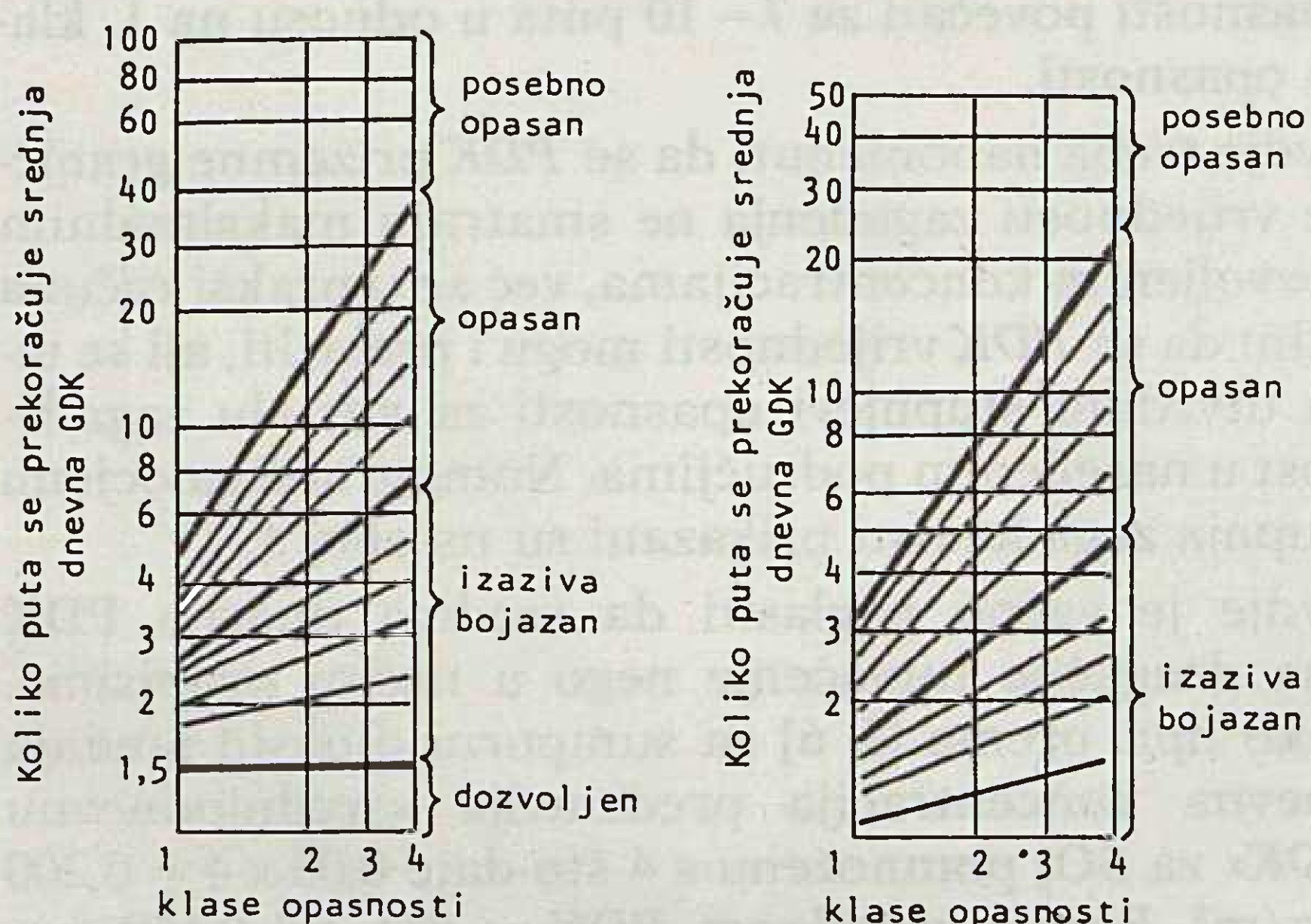
Prema propisima u SSSR-u, emisija nije ograničena univerzalnim propisima, već se granične vrijednosti emisije donose od slučaja do slučaja, zavisno od postignutih prizemnih koncentracija. Takav pristup omogućava znatne investicijske uštede u mjerama za smanjenje emisije. Norme kojima je općenito regulirana emisija sadržane su u GOST 17.2.3.02. – 78, prema kojima se predviđa tzv. granična vrijednost emisije ili PDV.

* Komitet po naučno-tehničkom satrdničestvu; Postojanaja komisija po sotrudenstvu v oblasti zdravohranenija, Sekretarijat SEV — Moskva 1981.; dr. »Ocjenjena stupnja zagađenosti zraka«, prijevod »Zaštita atmosfere« 10 (2) 1982.



Bazirano na kratkotrajnim koncentracijama

Bazirano na srednjim dnevnim koncentracijama



Bazirano na srednjem mjesečnim koncentracijama

Bazirano na srednjim godišnjim koncentracijama

Slika 4. Nomogrami za ocjenu stupnja zagađenosti zraka (SSSR) — prema »Zašt. atm.« 10 (2), 80 — 82 (1982)

*GDK — Granična dozvoljena koncentracija

Državni komitet za meteorologiju i kontrolu prirodne sredine izdao je 10.3.1981. Privremenu metodiku za normiranje emisije u atmosferu. Prema ovoj metodologiji PDV je baziran na graničnim dozvoljenim vrijednostima za naselje tzv. PDK, pri čemu će u daljoj razradi biti uzeti u obzir dodatni faktori promjene zagađujućih materija, način ulaska u organizam, a također i normativi kvalitete zraka za biljke i životinje.

Vrijednosti PDV propisane su u tonama godišnje i u g/s i ne bi smjele biti premašene u bilo kojem 20-minutnom intervalu.

Povećanje visine dimnjaka u svrhu raspršivanja, da bi se postigla norma PDK u prizemnom sloju atmosfere, dozvoljeno je tek pošto su upotrijebljene sve mjere suvremene tehnike za smanjenje emisije, što je analogno praksi u Engleskoj. Pri tome se upotreba dimnjaka za TE preko 250 metara, a u industriji preko 200 metara, dopušta tek ako obrazloženje prihvate nadležni organi.

Propisano je da mora biti zadovoljen uvjet kako slijedi:

$$\frac{K_1}{PDK_1} + \frac{K_2}{PDK_2} + \dots + \frac{K_i}{PDK_i} + \dots + \frac{K_n}{PDK_n} \leq 1 \quad (0,8)$$

gdje je K_n — računski koncentracija zagađujuće materije n u prizemnom sloju atmosfere od svih izvora emisije.

Proračun K se izvodi za kratkotrajnu koncentraciju, 20 — 30 minutni uzorak, a PDK se također odnosi na maksimalnu kratkotrajnu koncentraciju za 20 — 30 minutni interval. Za rekreacijska područja predviđen je uvjet da je suma $K_n / PDK_n \leq 0,8$.

U propisanoj metodologiji posebno je predviđen način proračuna PDK u slučaju da se odnosi na pojedinačni izvor, a posebno za slučaj kada se radi o grupi izvora.

2.6. Propisi kvalitete zraka u Kanadi

A) Propisane vrijednosti imisije

Kvaliteta prizemnih slojeva zraka na nacionalnom nivou propisana je u »The Clean Air Act« (1971), kojim su određene granične vrijednosti zagađenja za šest glavnih zagađivača: leteće čestice, prašina, SO₂, ozon, ugljični monoksid i dušikov oksid.

Uz poštivanje propisanih vrijednosti danih u tablici 7. svaka je provincija nadležna za propisivanje emisijskih standarda, zavisno od utjecaja i doprinosa zagađenju razmatranih izvora.

Tablica 7. Propisane prizemne koncentracije SO₂ i letećih čestica u Kanadi (μg/m³) [L 22]

Zagađivač	Vrijeme vrednovanja uzorka	Maksimalna planirana koncentracija (poželjna)	Maksimalna prihvatljiva koncentracija	Maksimalna dozvoljena koncentracija
sumporni dioksid	prosj. god.	29,37	61,41	—
	24-h	165,60	293,70	827,70
	1-h	453,90	907,80	—
leteće čestice	prosj. god.	60	70	—
	24-h	—	120	400

2.7. Propisi kvalitete zraka u Japanu

A) Ograničenja imisije SO₂ [L 7]

Kvaliteta zraka propisana je posebnim Zakonom za kontrolu zagađenja okoline. Standard kvalitete za SO₂ ustanovljen je 1969. i njime je predviđeno da dnevna prosječna satna vrijednost ne smije prijeći 133,5 μg/m³, a satne vrijednosti ne smiju prijeći oko 534 μg/m³ (0,2 ppm). Na osnovi rezultata istraživanja zdravstvenih efekata SO_x, ovaj standard je revidiran 1973. godine, tako da sadašnje granične vrijednosti definirane kao dnevne prosječne satne vrijednosti ne smiju prijeći 106,8 μg/m³ (0,04 ppm), a satne vrijednosti ne smiju prijeći vrijednost od 267 μg/m³ (0,1 ppm). Kompletni standardi imisije prikazani su u tablici 8.

Mjerenja prizemnih koncentracija SO_2 započela su 1965. godine uz neprekidan porast broja mjernih stanica, tako da su 1979. godine izvršena mjerenja na 1 532 stanice u 590 naselja. Promjene u godišnjim prosjecima, maksimalne i minimalne koncentracije SO_2 kontinuirano su praćene na 15 monitoring stanica, koje su locirane u vrlo zagađenim industrijskim područjima. Najveća prosječna godišnja vrijednost zagađenja izmjerena je 1967. godine, a iznosila je $157,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,059 ppm) i od tada se postepeno smanjuje do najniže vrijednosti od $42,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,016 ppm) 1979. godine.

To smanjenje prizemnih koncentracija može se u najvećoj mjeri pripisati sistemima efikasne kontrole emisije koji su izgrađivani prema zahtjevima iz propisanih emisijskih standarda.

B) Ograničenja emisije SO_2 u Japanu

Ograničenje emisije u Japanu vrši se na osnovi Zakona o zaštiti zraka od zagađenja od 1968. godine (i dopuna 1970. i 1974). Standardi emisije se odnose za sumporne i dušikove okside na ukupnu dozvoljenu masenu emisiju. Standardi za emisiju sumpornog dioksida dobiveni su prema izrazu:

$$q = K \cdot 10^{-3} \cdot H_e^2 \quad (\text{ppm})^*$$

gdje je:

H_e — visina dimnjaka u metrima, s uzimanjem u obzir visine nadvišenja dimne perjanice

K — konstante utvrđene za više od 100 oblasti svrstanih u 8 grupa; ima vrijednosti od 3 do 17,5. Npr., u područjima velikih gradova ova konstanta iznosi (za Tokio) 1,17, tako da se u industrijskim i urbanim centrima zahtjeva ugljen ispod 0,8% sumpora i uz 90% odsumporavanja. Nasuprot tome u relativno nezagađenim područjima s $K = 17,5$ granica emisije iznosi približno $3\,300 \text{ mg}/\text{m}^3$, što se jednostavno

postiže i bez uređaja za odsumporavanje uz potrebu npr. ugljena sa 1,5% sumpora.

Standardi emisije za čestice, zavisno od vrste goriva vrlo su strogi i postižu se za veće kotlovske jedinice ugradnjom elektrostatskih filtara.

Prema podacima iz [L 7] reduciranje emisije SO_2 u Japanu iznosilo je oko 75% od ukupnog sumpora.

2.8. Preporuke i kriteriji za ocjenu kvalitete zraka prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO*) [L 8]

Izvori zagađenja okoline sumpornim dioksidom i letećim česticama svrstani su u tri trupe:

- kućna ložišta gdje se ugljen upotrebljava za kuhanje i grijanje
- industrijska postrojenja
- motorna vozila.

Smatra se da kućna ložišta i motorna vozila imaju dominantan utjecaj na prizemne koncentracije s obzirom da emitiraju zagađivače u neposrednoj zoni boravka.

Prema provedenim mjerenjima sumpornog dioksida i suspendiranih letećih čestica koje se kontinuirano provodi u većini gradova u svijetu zabilježene su različite vrijednosti koje svakako ovise i o klimatskim faktorima. Kao svjetski prosjek prema [L 8] navode se tipične prizemne koncentracije SO_2 u urbanim sredinama kao godišnje srednje vrijednosti u iznosu $100 - 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, s najvišim srednjim dnevnim vrijednostima $300 - 900 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Odgovarajuće vrijednosti za dim iznose $30 - 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $150 - 900 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a za suspendirane čestice godišnji aritmetički prosjek od $60 - 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, uz maksimalne dnevne koncentracije od $150 - 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Prema istraživanjima provedenim uz pomoć Svjetske zdravstvene organizacije, izloženost utjecaju podijeljena je na tri stupnja:

- kontroliranu izloženost (eksperimentalna)
- industrijsku (profesionalna) izloženost
- izloženost stanovništva

* 1 ppm $\text{SO}_2 = 2670 \mu\text{g}/\text{m}^3$

* WHO — World Health Organisation

Tablica 8. Propisane granične vrijednosti zagađenja prizemnih slojeva atmosfere u Japanu [L 7]

Zagađujuća materija	Sumporni dioksid	Ugljični monoksid	Leteće čestice prašine	Dušikov oksid	Fotokemijski oksidanti (ox)
Granične vrijednosti	Dnevni prosjek satnih vrijednosti ne smije prijeći $\sim 106,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,04 ppm), a satne vrijednosti ne smiju prijeći $267 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,1 ppm).	Dnevni prosjek satnih vrijednosti ne smije prijeći $12,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (10 ppm) i prosjek satnih vrijednosti za uzastopnih 8 sati ne više od $25 \text{ mg}/\text{m}^3$ (20 ppm).	Dnevni prosjek satnih vrijednosti ne više od $0,10 \text{ mg}/\text{m}^3$ i satne vrijednosti ne više od $0,20 \text{ mg}/\text{m}^3$ (manje od $10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ u promjeru).	Dnevni prosjek satnih vrijednosti u rasponu od 0,04 ppm do 0,06 ppm ili niže.	Satne vrijednosti ne više od $128,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,06 ppm) — ozon, NO_x , peroksiacetil, nitrati, aldehidi
Metode mjerenja	Konduktometrijska metoda	Nedisperzijski infracrveni analizer	Mjerenje težinske koncentracije na bazi filtracije ili lomna svjetlosti	Kolorometrijska metoda sa Salzmanovim reagensom (S koef. 0,84)	Apsorpcijska metoda s neutralnom otop. kalijeva jodida

i prema takvoj podjeli analiziran je zdravstveni utjecaj. Rezultati evaluacije zdravstvenog rizika provedeni su za različite kategorije i prikazani su u tablici 9.

Tablica 9. Očekivani efekti u određenim kategorijama stanovništva izazvani kratkotrajnom izloženosti i granične vrijednosti (WHO [L 5])

Zdravstveni efekat	24-satna srednja koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Sumporni dioksid	Dim
povećana smrtnost između starijih osoba ili kroničnih bolesnika	500	500
pogoršanje stanja bolesnika s već izraženim respiratornim smetnjama	250	250
porast respiratornih simptoma u uzorcima opće populacije, povećana frekvencija respiratornih oboljenja kod djece	Prosječna godišnja	koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	100	100
Granične vrijednosti koncentracija kod kojih nema utjecaja na zdravlje stanovništva		
Trajanje izloženosti	koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
24-satna srednja	100 – 150	100 – 150
Godišnja aritmetička sredina	40 – 60	40 – 60

3. EMISIJA SUMPORNOG DIOKSIDA (SO_2)

Danas se procjenjuje da je emisija SO_2 iz prirodnih izvora za cijelu zemaljsku kuglu istog reda veličine kao i emisija iz privrednih izvora (~100 000 000 t/god.) Također, prema nekim procjenama oko 80 % od ukupne globalne prirodne emisije SO_2 emitira se u Evropi i SAD, tj. na dijelu sjeverne Zemljine polukugle. Ovdje treba spomenuti da je upravo u ovom dijelu Zemljine polukugle najveća gustoća emisije iz privrednih izvora.

3.1. Emisija SO_2 u Evropi

Navedene pretpostavke dovele su do intenzivnog praćenja prekoračenog prekograničnog transporta sumpornih spojeva u atmosferi Evrope i potpisivanja Konvencije o prekograničnom zagađenju zraka [L 10].

Spomenuti razlozi bili su poticaj za istraživanja emisija SO_2 u svakoj pojedinoj zemlji Evrope. U tabl. 10. sistematizirani su podaci o procjenjenim emisijama u pojedinim zemljama Evrope u 1978. god. [L 11, 12, 13]. Također, u istoj tablici, radi komparacije i ocjene gustoće emisije, dani su podaci o emisiji SO_2 po km^2 površine kao i podaci o emisiji SO_2 po glavi stanovnika svake pojedine evropske zemlje.

U tabl. 11. dana je bilanca SO_2 na teritoriju Evrope u 1980. god. [L 14]. Usporede li se podaci o emisiji SO_2

u Jugoslaviji koji su dani u ove dvije tablice, uočava se znatna razlika u ove dvije procjene. To neminovno dovodi do pitanja: Kolika je emisija SO_2 u Jugoslaviji?

U [L 12] pokušalo se odgovoriti na ovo pitanje.

Tablica 10. Podaci o emisiji SO_2 (1978.) u evropskim zemljama prema [L 11, 12, 13]

Zemlja	Površina 1000 km^2	Emisija SO_2 (1000 t/god)	Broj stanovnika 10^6	Emisija SO_2 (kg/km^2)	Emisija po glavi stanovnika
Albanija	28,7	100	2,7	3 500	37
Austrija	83,9	380	7,6	4 530	50
Belgija	30,5	760	9,8	24 900	78
Bugarska	110,9	1 000	8,9	9 017	112
Čehoslovačka	127,9	3 000	14,6	23 460	206
Danska	43,1	456	5,1	10 580	89
Finska	337,1	540	4,8	1 600	113
Francuska	544,0	3 600	52,6	6 617	68
Grčka	132,0	704	9,6	5 333	73
Nizozemska	41,0	480	13,7	11 700	36
Irska	68,9	174	3,4	2 525	51
Island	60,7	12	0,2	1 980	60
Italija	301,2	4 400	55,8	14 600	78
Jugoslavija	255,8	1 250	22,3	4 890	56
Luksemburg	5,2	48	0,36	9 230	134
Mađarska	93,0	1 500	10,7	16 130	140
Norveška	323,9	150	4,1	463	37
DR Njemačka	108,2	4 000	16,9	37 000	236
SR Njemačka	249,6	3 600	61,8	14 425	58
Poljska	312,7	3 000	34,0	3 290	88
Portugal	76,7	168	9,9	2 190	17
Rumunjska	237,5	2 000	22,3	8 421	90
SSSR — dio	3 363,4	16 200		4 820	
Španjolska	500,0	2 000	35,5	4 000	56
Švedska	450,0	550	8,1	1 222	68
Švicarska	41,3	116	6,4	2 810	18
Turska	460,8	1 000	44,9	2 170	22
Velika Britanija	244,0	4 980	56,0	20 410	88

3.2. Emisija SO_2 u Jugoslaviji

Prema [L 12] prva procjena emisije SO_2 u Jugoslaviji napravljena je 1976. god. za potrebe Savjeta za čovjekovu sredinu i prostorno uređenje. Emisija je određena proračunom na osnovu statističkih podataka o potrošnji goriva, te literaturnih podataka o sadržaju sumpora u gorivima. Dobiveni su rezultati prema vrsti izvora zagađenja zraka kako slijedi:

— grijanje	150 000	t/god.
— industrija	950 000	t/god.
— termoelektrane	400 000	t/god.

Ukupno: 1 500 000 t/god.

Također, u literaturi se susreću i dvije procjene za koje se pouzdano ne zna tko ih je napravio, i to 2 950 000 t/god. za 1978. godinu i 830 000 t/god. za 1982. godinu [L 12, 13, 14].

Poznato je da do danas na ukupnom području Jugoslavije nije napravljen katastar zagađivača, pa je vrlo teško govoriti o točnosti navedenih procjena emisije SO_2 u atmosferu.

Tablica 11. Bilanca SO₂ na teritoriju Evrope u 1980. god. (10³ t/god.) [L 14]

PRIMITAK PREDAJA	PRIMITAK																					UKUPNA EMISIJA 1980. god.	DIO EMISIJE KOJA ODLAZI IZ GRANICA								
	AUSTRIJA	BELGIJA	BUGARSKA	ČEHOSLOVAČKA	DANSKA	SR NJEMAČKA	FINSKA	FRANCUSKA	DR NJEMAČKA	GRČKA	MADJARSKA	IRSKA	ITALIJA	LUKSEMBURG	NIZOZEMSKA	NORVEŠKA	POLJSKA	PORTUGAL	ROMUNJSKA	ŠPANIJSKA	ŠVEDSKA			ŠVICARSKA	TURSKA	SSSR	VEL. BRITANIJA	JUGOSLAVIJA	OSTALE TERIT.		
AUSTRIJA	151	-	-	64	-	23	-	-	-	-	25	-	17	-	-	-	20	-	10	-	-	-	-	41	-	41	38	430	279		
BELGIJA	9	198	-	30	-	110	6	97	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	20	6	149	810	612		
BUGARSKA	-	-	270	4	-	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-	5	-	53	-	-	-	49	122	-	57	150	770	500		
ČEHOSLOVAČKA	92	-	21	1255	8	126	22	21	146	90	120	-	32	-	5	21	356	-	97	-	-	4	-	-	-	-	144	450	341		
DANSKA	-	-	-	6	109	12	8	-	8	12	-	-	-	-	-	16	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	144	3510	2350		
SR NJEMAČKA	56	50	9	223	23	1160	31	203	176	6	27	-	46	4	93	41	165	-	33	41	72	27	10	393	43	46	522	570	310		
FINSKA	-	-	-	-	-	-	260	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	168	2890	1658		
FRANCUSKA	39	55	4	88	6	211	10	1232	41	6	14	4	104	6	29	21	51	-	14	74	29	45	6	131	53	39	578	4000	2883		
DR NJEMAČKA	54	5	14	438	28	265	43	45	1117	7	40	-	24	-	13	50	478	-	58	9	95	7	13	636	24	56	481	4000	2883		
GRČKA	-	-	10	-	-	-	-	-	-	137	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	29	32	-	9	117	340	203	
MADJARSKA	33	-	29	157	-	14	7	-	10	12	448	-	25	-	-	5	99	-	164	-	12	-	16	367	-	166	156	1720	1272		
IRSKA	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	36	-	106	260	164	
ITALIJA	96	-	14	67	-	41	4	70	6	24	46	-	1357	-	-	-	31	-	46	4	7	81	22	161	4	224	765	3070	1713		
LUKSEMBURG	-	-	-	-	-	7	-	6	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	9	30	26
NIZOZEMSKA	5	10	-	18	-	57	5	30	16	-	-	-	-	-	99	7	17	-	-	7	12	-	-	-	57	12	5	133	490	391	
NORVEŠKA	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	61	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	34	140	79	
POLJSKA	23	-	13	170	7	32	27	7	41	4	37	-	10	-	-	18	1012	-	68	-	55	-	9	691	4	37	235	2500	1488		
PORTUGAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72	-	35	-	-	-	-	-	-	-	33	140	66	
RU. UNJSKA	-	-	98	41	-	-	6	-	-	23	45	-	8	-	-	-	37	-	822	-	8	-	35	587	-	74	216	2000	1178		
ŠPANIJSKA	6	-	-	13	-	19	-	201	-	6	-	-	52	-	-	6	52	-	1121	-	6	9	31	11	20	537	2090	969			
ŠVEDSKA	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	26	10	-	-	-	28	-	-	-	-	-	119	510	292		
ŠVICARSKA	7	-	-	5	-	14	-	18	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	21	120	88		
TURSKA	-	-	6	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	174	650	290		
SSSR	-	-	79	89	-	18	270	-	18	24	24	-	13	-	-	50	215	-	301	-	152	-	107	22674	-	50	1416	25500	2826		
VELIKA BRIT.	18	41	5	73	25	165	32	226	51	-	7	28	20	-	62	92	73	-	13	34	80	11	-	236	1545	15	1398	4250	2705		
JUGOSLAVIJA	19	-	25	29	-	8	2	3	3	15	42	-	36	-	-	1	22	-	64	-	4	2	12	115	-	308	120	830	522		
OSTALE TERIT.	72	21	70	218	26	192	132	398	62	84	48	62	223	-	26	178	185	70	144	266	271	41	190	264	173	209	281	3906	3625		
UKUPNI PRIMITAK	690	380	667	2999	232	2474	908	2568	1720	519	923	190	1989	14	374	606	2825	194	1902	1597	1179	257	880	27553	1936	1461	6309	65346	28936/		
PRIMITAK DOSPLO IZVANJA	539	182	397	1733	123	1314	648	1336	603	382	475	94	632	10	275	545	1813	122	1080	476	961	225	520	4879	391	1153	8028	28936/			

Tablica 12. Emisija SO₂ u republikama i autonomnim pokrajinama 1980. god. [L 15]

Republika ili autonomna pokrajina	Emisija SO ₂ (t/god.)	Udio u ukupnoj emisiji u SFRJ (%)
Srbija	395 400	31,5
Bosna i Hercegovina	264 700	21,2
Slovenija	231 500	18,5
Hrvatska	181 900	14,5
Makedonija	55 600	4,5
Vojvodina	54 600	4,4
Kosovo	47 200	3,8
Crna Gora	20 300	1,6
Ukupno	1 250 000	100

U radu »Ocjena značaja emisije SO₂ iz velikih energetskih postrojenja kroz analizu gustine emisije« [L 15] dana je procjena emisije SO₂ za cijelu Jugoslaviju u 1980. god. od 1 250 000 t/god. Raspored emisije po republikama i autonomnim pokrajinama dan je u tabl. 12. [L 15]. Iz navedene tablice vidi se da SR Srbija emitira najviše (395 400 t/god., odnosno 31,5 %) te Crna Gora koje emitira najmanje (20 300 t/god., odnosno 1,6 %). U [L 15] također se daje procjena emisije SO₂ iz termoelektrana na ugljen i ona iznosi 438 000 t/god.

4. EMISIJA SO₂ IZ TERMoeLEKTRANA NA UGLJEN

U [L 16] napravljena je procjena emisije SO₂ iz termoelektrana u Jugoslaviji za 1980, 1985. i 1990. god.

Prema ovom izvoru, emisija SO₂ u Jugoslaviji za 1980. godinu iznosi 521 000 t/god. Ako se usporede te dvije procjene [L15, 16] vidi se da postoji razlika u gotovo 100 000 t/god. Podaci o emisiji SO₂ iz termoelektrana na ugljen [L 16] dobiveni su na bazi instalirane snage i 6 000 sati korištenja instalirane snage na godinu. Svakom energetičaru je jasno na prvi pogled da ti uvjeti ne mogu biti niti približno identični realnim uvjetima. Da bi se pobliže pojasnila navedena konstatacija, u nastavku se daju neke osnovne karakteristike Jugoslavenkog elektroenergetskog sistema.

Prema [L 17] krajem 1985. god. ukupna instalirana snaga elektrana u Jugoslaviji iznosila je 19 970 MW, od čega 19 035 MW ili 95,3 % u udruženoj elektroprivredi i oko 935 MW ili 4,7 % u industrijskim hidroelektranama i termoelektranama. U toku 1985. godine ušlo je u pogon šest novih agregata instalirane snage 1 026 MW, od toga 108 MW u hidroelektranama i 918 MW u termoelektranama na ugljen. Ostvarena ukupna proizvodnja električne energije u zemlji u 1985. godini iznosila je 74 851 GWh, od čega 24 270 GWh ili 32,4 % u udruženim hidroelektranama, 40 703 GWh ili 54,4 % u termoelektranama na ugljen, 2 902 GWh ili 3,9 % u termoelektranama na tekuće i plinsko gorivo, 4 055 GWh ili 5,4 % u NE Krško i 2 921 GWh ili 3,9 % u industrijskim hidroelektranama.

U tabl. 13. dana je instalirana snaga TE na ugljen od 1981. do 1985. godine. Iz navedenih podataka može se vidjeti da se instalirana snaga termoelektrana na ugljen povećala s 5 582 MW 1981. god. na 8 772 MW u

Tablica 13.

Termoelektrana	Instalirano snaga TE (MW)					Proizvedena energija (MWh)					Iskorištenje instalirane snage (h)					Prosječ. emisija SO ₂ (t/god)	Prosječ. emisija SO ₂ (kg/MWh)	Potrošnja ugljena (t/MWh)	
	81.	82.	83.	84.	85.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.				81-85.
	125	745	125	125	300	520 176	204 900	488 750	356 602	906 000	0	1 620	3 879	0	0				3 020	604
Ugljevik	125	745	125	125	300	3 751 520	3 801 816	4 076 732	3 600 512	541 052	0	5 035	5 472	0	0	4 328	3 366		
Plomin	745	64	745	745	1 25	24 477	246 896	285 097	302 465	3 354 000	2 853	4 989	5 472	2 853	4 328	4 328	28 454		
Soštarj	64	348	348	348	114	1 655 347	1 710 559	1 641 625	1 796 586	17 69 000	4 833	3 858	4 915	4 833	4 502	4 502	102 958		
Ljubljana	348	245	348	348	348	432 086	502 312	552 074	575 810	322 000	3 523	4 455	4 717	3 523	4 502	4 502	27 7		
Kakarj	245	310	310	310	245	1 383 162	1 421 955	1 682 988	1 442 916	17 69 000	5 083	4 977	4 915	5 083	5 083	5 083	23 6		
Trbovlje	310	120	120	120	310	625 739	721 988	655 254	587 731	454 000	2 054	2 050	2 253	2 054	1 853	1 853	38 751		
Kostolovac	120	1650	1650	1650	120	8 943 621	9 400 005	10 669 754	13 376 298	14 480 000	4 655	4 587	5 429	4 655	4 361	4 361	39 979		
Morava	1650	271	271	271	2887	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	381 000	4 863	5 776	4 702	4 863	3 175	3 175	9 813		
N. Tesla	271	210	210	210	271	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	14 480 000	5 346	5 697	4 702	5 346	5 016	5 016	23 160		
Kolubara	210	210	210	210	210	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	14 480 000	4 674	5 121	4 785	4 674	3 613	3 613	15 9		
Pilevja	210	210	210	210	210	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	979 000	5 407	5 121	4 785	5 407	4 445	4 445	14 9		
Bitola 1 i 2	210	210	210	210	210	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	979 000	5 407	5 121	4 785	5 407	4 445	4 445	13 9		
Oslomej	210	210	210	210	210	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	1 241 000	3 030	4 191	4 191	3 030	5 910	5 910	17 608		
Cracko	210	210	210	210	210	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	1 764 000	2 564	3 19	4 417	2 564	4 200	4 200	13 9		
Tuzlo	210	210	210	210	210	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	343 000	3 834	4 400	3 472	3 834	2 858	2 858	7 826		
Kosovo	210	210	210	210	210	1 465 261	1 387 659	1 296 864	1 204 496	844 000	5 607	5 400	4 447	5 607	3 876	3 876	9 918		
Ukupno	5 582	6 002	7 255	7 854	8 772	26 479 915	26 637 925	31 178 549	34 582 399	36 997 000	53 344	51 888	62 661	61 456	61 297	61 297	487 442		
											422 746	411 734	485 360	513 442	603 929	603 929			

1985. god., odnosno za 63,6 %. Ako se stavi u isti odnos proizvedena energija, proizlazi da je 1981. god u termoelektranama na ugljen proizvedeno 26 479 915 MWh, a 1985. godine 36 997 000 MWh što čini povećanje od 39,72 % (usp. tabl. 13). Jedan od bitnih pokazatelja emisije je iskorištenje instalirane snage. Podaci za razdoblje 1981 – 1985. god. za iskorištenje instalirane snage dani su u tabl. 13. Iz tih podataka slijedi da je iskorištenje instalirane snage iznosilo

- 1981. god. 52 798 sati odnosno 4 400 sati po termoelektrani
- 1982. god. 51 888 sati odnosno 3 991 sat po termoelektrani
- 1983. god. 62 661 sati odnosno 4 177 sati po termoelektrani
- 1984. god. 61 456 sati odnosno 4 097 sati po termoelektrani
- 1985. god. 61 297 sati odnosno 3 831 sati po termoelektrani.

Iz navedenih podataka vidi se da se prosječno iskorištenje instalirane snage kreće u rasponu od 3 831 do 4 400 sati po termoelektrani. Na temelju takvih podataka lako se može zaključiti da je pri procjeni emisije iz termoelektrana potrebno uvažavati približno njihove stvarne uvjete rada da bi se dobili što kvalitetniji podaci o količini emisije polutanata u atmosferu. Iz navedenih razloga pretpostavka [L 16] da je iskorištenje snage u termoelektranama 6 000 sati na godinu nema realnu osnovu.

U tabl. 13. također se daje emisija SO₂ po svim termoelektranama na ugljen za razdoblje 1981 – 1985. Iz podataka o emisiji SO₂ vidi se da je ona 1981. god. iznosila 663 333 t/god., a 1985. god. 769.659 t/god. U [L 16] procijenjena emisija u 1985. godini iznosila je 1 037 000 t/god., odnosno 35 % više od proračunate emisije za 1985. godinu.

5. EMISIJA SO₂ IZ TE PLOMIN

TE Plomin 1 ostvarila je u razdoblju od 1981. do 1985. godine najviše iskorištenje instalirane snage u 1985. godini koje je iznosilo 4 328 sati (tabl. 13). U istoj godini ostvarena je proizvodnja energije 541 052 MWh. Na temelju niza mjerenja koja su provedena na TE Plomin 1 utvrđena je prosječna emisija SO₂ od 66,17 kg-/MWh. Iz navedenih podataka slijedi da je emisija SO₂ u TE Plomin 1 u toku 1985. godine iznosila 35 801 t.

U investicijskoj dokumentaciji predviđeno je da će u TE Plomin 2 biti iskorištenje instalirane snage 5 500 sati/god. Instalirana snaga TE Plomin 2 bit će 210 MW, pa slijedi projektirana proizvodnja energije od 1155 GWh. Emisija SO₂ iz TE Plomin 2 trebala bi biti 61 340 t/god. uz uvjet da se realiziraju iznesene pretpostavke.

Dakle, ukupna emisija SO₂, koja se može očekivati iz TE Plomin 1 i 2, iznosi 97 141 t/god. U [L 16] procijenjena je emisija SO₂ iz TE Plomin 1 i 2 od 148 000 t/god., tj. 34,4 % više nego što je procijenjeno u ovom radu.

6. ZAKLJUČAK

Iz iznesenih podataka može se konstatirati da će ukupna emisija iz TE Plomin 1 i 2 iznositi oko 6,4% emisije u Jugoslaviji iz termoelektrana na ugljen u 1990. god. [L 16]. Prema [L 15] ukupna emisija SO₂ u Jugoslaviji 1990. godine trebala bi iznositi 2 150 000 t/god., što znači da će TE Plomin 1 i 2 sudjelovati sa 4,5 % u ukupnoj emisiji na tlu Jugoslavije.

S druge strane, iz tabl. 11. može se konstatirati da je Jugoslavija u 1980. godini primila iz drugih evropskih zemalja 1 153 000 t SO₂, dok je istovremeno predala drugim zemljama Evrope 522 000 t SO₂. Dakle, ukupna bilanca SO₂ u 1980. godini na tlu Jugoslavije iznosila je 1 461 000 t/god.

Uzimajući u obzir sve iznesene procjene, može se zaključiti da se neće ništa postići ako se izgradi postrojenje za odsumporavanje samo u TE Plomin, nego bi akciju za »čisti zrak« trebalo pokrenuti na cijelom teritoriju Jugoslavije i učiniti napore da se smanji doprinos bilanci SO₂ na tlu Jugoslavije iz drugih evropskih zemalja.

LITERATURA

- [1] WILSON R., COLOME i dr.: »Health effects of fossil fuel burning«, Cambridge, Massachusetts
- [2] WHYTE A., BURTON I.: »Environmental Risk Assessment«, Institute for Environmental Studies, University of Toronto, Canada 1980.
- [3] OECD, The Costs and Benefits of Sulphur oxide control, A Methodological Study, Paris, 1981.
- [4] The Bureau of National Affairs, INC, Washington D. C., Federal Regulations: Standards of Performance for Electric Utility Steam Generating Units for Which Construction is Commenced after, September 18, 1978., Environmental Report, 3 — 25 — 83.
- [5] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes — Immissionschutzgesetz, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft-TA-Luft, Bonn, 1983.
- [6] M. KRSTIĆ: »Normiranje emisije i kvaliteta vazduha u SSSR-u«, Zaštita atmosfere, 10/1982.
- [7] NISHIWAKI, SHAH i dr.: »Studies on the Effects of Atmospheric Contamination Due to fossil-fuel combustion in Japan«, IAEA-SM-254/61, Health Impacts of Different Sources of Energy, Presented in Nashville, 1982.
- [8] World Health Organisation: Sulphur Oxides and Suspended Particulate Matter, Published in Environmental Health Criteria 8, Geneva 1979.
- [9] Savjet za čovjekovu sredinu i prostorno uređenje SIV-a: Granične vrijednosti zagađenosti zraka, Zaštita atmosfere, 15/1979.
- [10] Konvencija i rezolucija o prekograničnom zagađivanju vazduha na velikim udaljenostima, Zaštita atmosfere 9/1980.
- [11] G. BUCHNER: »Möglichkeiten der reduktion von SO_x emissionen, Vorgetragen anlässlich der Technisch — Wissenschaftlichen Woche«, Moskau, 16 — 25. September 1981.
- [12] A. KNEŽEVIĆ: »Kolika je emisija SO₂ u Jugoslaviji?« Zaštita atmosfere, 11/1983.
- [13] Genzüberschreitender und weitraumiger transport von Luftverunreinigungen. Umwelt 8/1982.
- [14] N. H. HIGTON, M. J. CHANDWICH: »The Effects of changing Patterns of Energy Use on Sulphur Emissions and Depositions in Europe«, AMBIO, Vol. XI, No.6, Stockholm 1980.
- [15] A. KNEŽEVIĆ: »Ocjena značaja emisije SO₂ iz velikih energetskih postrojenja kroz analizu gustine emisije«, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Ljubljana 5 — 6. 12. 1981.
- [16] M. KRSTIĆ, A. PAPO, M. ŠOĆ: »Neophodnost odsumporavanja dimnih gasova nekih termoelektrana«, Zaštita atmosfere, 9/1981.
- [17] Zajednica jugoslavenske elektroprivrede — Dispečerski izvještaj o radu Jugoslavenskog elektroenergetskog sistema u 1985. godini, Beograd 1986.
- [18] ECO Northwest: Economic Analysis of the Environmental Effects of Coal-fired Electric Generator at Bordman Oregon, Bonneville Power Administration, U. S. Dept. of Energy, 12/1983.
- [19] STAUDINGER G.: »Technische Möglichkeiten der Emissions Minderung«, Technische Universität Graz, Vortneg zum Waldschutz symposium der ARGE ALPEN-ADRIA, 12. 04. 1985.
- [20] K. H. KRIEB: »Costs of Dust and Sulphur Removal from Flue Gases in Coal-fired Power Stations«, Steag Ag., 1982.
- [21] F. VANČINA: »Zaštita zraka od onečišćenja u SR Hrvatskoj«, Zaštita atmosfere, 10/1982.
- [22] KREWSKI, SOMERS, WINTHROP: »Environmental Health Risk Assessment: Energy Systems, Environmental Health Directorate«, Ottawa, Canada, 1983., IAEA-SM-273/2, Presented in Jülich, W. G., 1984.
- [23] F. SAWICKI: »Chemical composition and potential genotoxic aspects of polluted atmosphere, Air pollution and Cancer in Man«, WHO, 1977., IARC Scientific Publications No.16.
- [24] Air Pollution Control Association, A Graphical Representation of the New NSPS for Sulphur Dioxide, Journal of APCA, vol. 30/1980.
- [25] RHMZ SR Hrvatske — Centar za meteorološka istraživanja: Model rasprostiranja SO₂ oko TE Plomin I i II, Zagreb, svibanj 1984.
- [26] RO Elektroprivreda Rijeka — RZ za izgradnju TE Plomin 2: Projektni zadatak za izradu tehničke i ostale dokumentacije za izgradnju TE Plomin 2 (1 × 210 MW), Plomin 1982.
- [27] Elektroprojekt — Zagreb: Idejni projekt TE Plomin — 210 MW, Zagreb, 1983.

REVIEW AND COMPARISON OF UP-TO-DAY STANDARDS FOR EMISSION AND IMISSION OF SO₂ IN THE WORLD AND BY US WITH HIGHLIGHT ON TPP PLOMIN

In the article are presented requirements for air quality and emission of SO₂ in Europe and Yugoslavia. For illustration of TPP Plomin 1,2 to air pollution it is presented SO₂ pollution in Europe, total SO₂ pollution in Yugoslavia, emission SO₂ in republics as well as SO₂ emission from TPP on coal. Analysis shows contribution of TPP Plomin 1,2 in amount of 4.5% of total SO₂ in Yugoslavia in 1990 year.

ÜBERSICHT UND VERGLEICH DER VORHANDENEN STANDARDS DER EMISSION UND IMISSION SO₂ IM AUSLAND UND BEI UNS MIT EINEM BESONDEREN RÜCKBLICK AUF TE PLOMIN

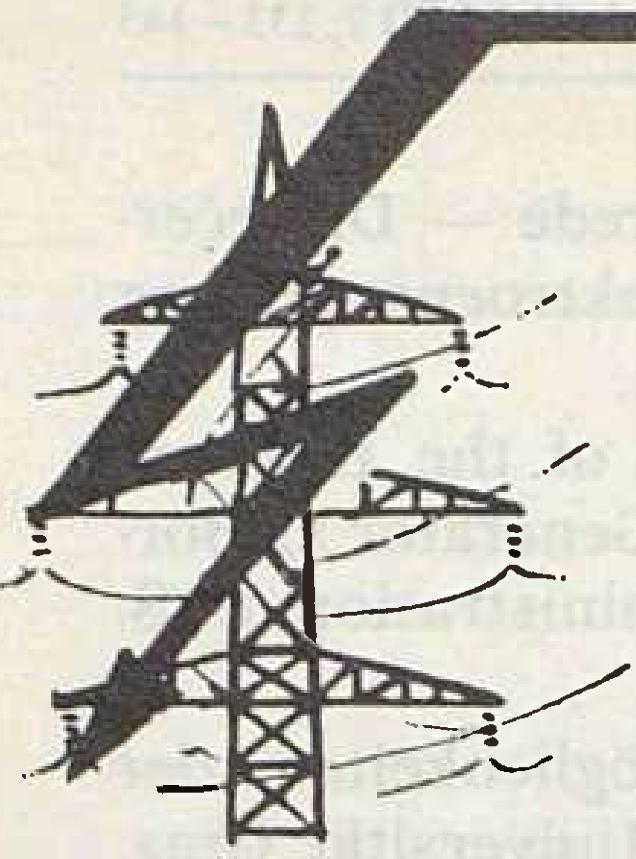
In der Arbeit werden Vorschriften für die Luftqualität und Emission des SO₂ in Europa und Jugoslawien gegeben. Zur Veranschaulichung der Luftverschmutzung aus TE Plomin 1 und 2, wurde eine SO₂ Bilanz auf europäischem Territorium gegeben; die ganze SO₂ Emission in Jugoslawien, Emission SO₂ nach den, Republiken und autonomen Gebieten sowie die SO₂ Emissionen aus den mit Kohle beheizten TE. Die durchgeführte Analyse zeigte, daß das TE Plomin I und II 4,5% zur ganzen Emission in Jugoslawien 1990 beitragen wird.

РАССМОТРЕНИЕ СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ ВЫБРОСОВ И ВСАСЫВАНИЯ СО₂ В МИРЕ И У НАС С ОСОБЫМ ВНИМАНИЕМ К ТЭС ПЛОМИН

В работе приводятся правила, касающиеся качества воздуха и выбросов двуокиси серы в Европе и Югославии. С целью иллюстрации величины участия ТЭС Пломин 1 и 2 в загрязнении воздуха приводится баланс двуокиси серы на территории Европы, итоговые выбросы двуокиси серы в Югославии, выбросы двуокиси серы по республикам и автономным краям, а также выбросы двуокиси серы из тепловых электростанций на угле. Проведенный анализ показал, что ТЭС Пломин 1 и 2 повысят 4,5% общие выбросы двуокиси серы в Югославии в 1990 году

Naslov pisaca:

mr Jure Čurković, dipl. inž.
Zlatko Varaždinec, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37, Jugoslavija
Uredništvo primilo rukopis
1986 — 12 — 03



STRUJA

**ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P.O.
ZAGREB
GUNDULIĆEVA16**

Poslovno-proizvodni program:

- pribor za kućne priključke
- pribor za telefonske priključke
- oprema za javne električne mreže
- zatezne spone niskonaponskih mreža
- obujmice nogara, sidra i sidreni vijci za stupove javnih električnih mreža
- pribor za gromobranksu opremu
- elektroinstalacioni pomoćni materijal (poklop-
ci, obujmice, kutije)
- tavanski kućni osigurač
- elektronički sklopovi i oprema za vatrodojavu
- elektronički dijelovi opreme za signale uređaje
- izvođenje svih vrsta instalacija
- montaža trafostanica i polaganje kablova
- izrada alata i pomoćne opreme za termičko va-
renje
- pomoćni dijelovi opreme za električne lokomo-
tive
- termoregulatori i klima uređaji za elektronske
računske centre
- izrada elektromagnetskih filtera
- refleksni optički prekidači
- granični regulatorik temperature i tlaka



UNIVERZALNI OSIGURAČ ZA ELKALEX I OSTALE KABELE

Pojedine proizvode i dijelove opreme izrađujemo prema specijalnim zahtjevima naručioca.

Sve informacije, detaljnije upute i pobliza objašnjenja, katalogi, cjenici skice, nacrti i ostalo u vezi gore navedenog mogu se dobiti na telefon: 420-791, 420-786 i 273-909, odnosno na telex YU 22-383 »STRUJA«.

UKLJUČIVANJE EKOLOŠKIH CILJEVA U MATEMATIČKI MODEL ZA OPTIMIRANJE ENERGETSKE STRUKTURE URBANIH SREDINA

Mr. Vladimir Jelavić, Zagreb

UDK 620.9 : 628.4

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je dan opis postupka uključivanja ekoloških ciljeva u matematički model za optimiranje energetske strukture urbanih sredina. Ekološki ciljevi postavljaju se u model u obliku jednadžbi ograničenja prekoračenja graničnih vrijednosti emisije štetnih tvari u atmosferi. Cjelokupna metoda primijenjena je uspješno za usmjerenje energetske opskrbe grada Zagreba do 2000. godine.

Ključne riječi: ekološki ciljevi, energetska opskrba, onečišćenje zraka.

1. UVOD

Teškoće uzrokovane sve većim onečišćenjem čovjekove okoline imaju opće društveno značenje. Potrebe za energijom neprestano rastu, dok je kapacitet prirodne sredine u smislu prihvata i prirodne razgradnje zagađujućih sastojaka ograničen. Kao posljedica koncentrirane energetske potrošnje i povećane gustoće naseljenosti, urbana su područja potencijalno najugroženija s ekološkog stajališta. Zbog toga svako energetske planiranje urbanih sredina nedopustivo je provoditi bez cjelokupnog sagledavanja koje uz tehnokonomске kriterije uključuje i ekološke ciljeve.

U proteklom razdoblju u našoj zemlji dano je više prijedloga modela za rješavanje problema energetike i ekologije, uglavnom s regionalnog ili nacionalnog nivoa (lit. 1 i lit. 2). U ovom radu dat će se prikaz postupka uključivanja problema onečišćenja okoline u složeni matematički model za optimizaciju energetske strukture urbanih sredina razvijen u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu [L. 3].

Cjelokupna metoda za nalaženje tehno-ekonomski optimalnog rješenja uz zadovoljavanje ekoloških ciljeva uspješno je primijenjena za usmjerenje energetske opskrbe grada Zagreba do 2000. godine [L. 3]. Metodom je obuhvaćeno onečišćenje atmosfere kao potencijalno najugroženiji oblik degradacije okoline energetske izvora na urbanom području.

2. MATEMATIČKI MODEL ZA OPTIMIRANJE ENERGETSKE STRUKTURE

Pod utvrđivanjem optimalne energetske strukture misli se na određivanje optimalne strukture primarnih i sekundarnih oblika energije, određivanje postrojenja za energetske transformacije i odgovarajućih sistema za prijenos i distribuciju energetske oblika, a uz zadovoljenje ograničenja koja se mogu pojaviti na promatranom području (ograničene investi-

cijske mogućnosti, izgrađena energetska infrastruktura, ograničenje količine i pojedinih energetske oblika, ograničenja zbog onečišćenja zraka i slično). Drugim riječima, za svakog energetske potrošača, bio on iz sektora opće potrošnje ili industrije, potrebno je utvrditi energent i sistem za snabdijevanje energijom tako da uz zadovoljenje ograničenja ukupni troškovi opskrbe energijom budu minimalni.

Određivanje minimalnih ukupnih troškova energetske opskrbe za osnovni kriterij optimiranja kvantificira zahtjev racionalizacije pri rješavanju energetske opskrbe urbanih sredina. Navedeni kriterij podrazumijeva ekonomsku efikasnost koja u području opskrbe energijom, uz zadovoljenje sigurnosti opskrbe, ima presudan značaj. U širem smislu takvim postupkom ostvaruju se osnovni preduvjeti za maksimiziranje dohotka u skladu s planiranim društveno-ekonomskim razvojem.

Sam model zasniva se na činjenici da se mogući broj međusobnih odnosa između primarnih, transformiranih korisnih oblika energije može prikazati u obliku linearnih jednadžbi. Postavljanjem jednadžbi zadovoljenja potreba za različite namjene koje se pojavljuju (grijanje, kuhanje, topla voda, para itd.), uzimajući u obzir sve tehničke mogućnosti kojima raspolaže za zadovoljenje potreba te sve oblike energije koji se mogu koristiti na promatranom području, dolazi se do sistema linearnih jednadžbi. Osim jednadžbi potreba nužno je postaviti sistem jednadžbi i nejednadžbi kojima su definirana ograničenja. Postavi li se jednadžba troškova kao funkcija cilja koju treba minimizirati, dobiva se sistem formiran u oblik pogodan za rješavanje metodom linearnog programiranja.

Matematički izražen problem se, prema tome, može zadati na sljedeći način:

Treba odrediti vrijednost varijabla x_1, \dots, x_s koje odgovaraju uvjetima nenegativnosti:

$$x_1 > 0, \dots, x_s > 0,$$

uvjetnim linearnim jednadžbama energetske potreba:

$$\begin{aligned} a_{11} x_1 + \dots + a_{1s} x_s &= b_1 \\ \dots & \\ a_{m1} x_1 + \dots + a_{ms} x_s &= b_m, \end{aligned}$$

uvjetnim linearnim jednadžbama ograničenja:

$$\begin{aligned} a_{m+1,1} x_1 + \dots + a_{m+1,s} x_s &> b_{m+1} \\ \dots & \\ a_{n,1} x_1 + \dots + a_{n,s} x_s &> b_n, \end{aligned}$$

tako da funkcija cilja koja predstavlja troškove energetske opskrbe:

$$f(x_1, \dots, x_s) = c_1 x_1 + \dots + c_s x_s$$

ima ekstrem, tj. minimum.

Pri tome,

varijable x_1, \dots, x_s predstavljaju količine pojedinih oblika energije, a simboliziraju pojedine načine energetske opskrbe;

koeficijenti a_{11}, \dots, a_{ms} su faktori kojima se utvrđuje transformacija oblika energije u korisnu energiju;

konstante b_1, \dots, b_m predstavljaju energetske potrebe izražene kao korisna energija;

koeficijenti $a_{m+1,1}, \dots, a_{n,s}$ su pretvorbeni faktori u jednadžbi ograničenja ovisno o vrsti ograničenja (investicijske mogućnosti, faktori istovremenosti, koeficijenti emisije itd.);

konstante b_{m+1}, \dots, b_n predstavljaju granične vrijednosti (raspoložive količine goriva, snaga dobave, granične vrijednosti onečišćenja itd.);

koeficijenti c_1, \dots, c_s predstavljaju ekvivalentne godišnje troškove pojedinih načina energetske opskrbe.

Za primjenu navedenog modela gradsko područje je prethodno potrebno podijeliti na manje konzumne cjeline — građevinske kazete (stanovanje i zajednički sadržaji) i industrijske kazete, tako da svaka od njih predstavlja homogenu cjelinu s obzirom na karakteristike mjerodavne za način opskrbe energijom. Jednadžbe energetske potreba postavljaju se za svaku građevinsku i industrijsku kazetu, dok se jednadžbe ograničenja po potrebi postavljaju za jednu kazetu, više kazeta ili čitavo urbano područje.

U građevinskim kazetama promatraju se potrebe energije za grijanje, pripremu potrošne tople vode, kuhanje i potrebe električne energije, a u industriji potrebe energije za grijanje, tehnološku paru različitih temperaturnih nivoa i toplinu visokih temperatura.

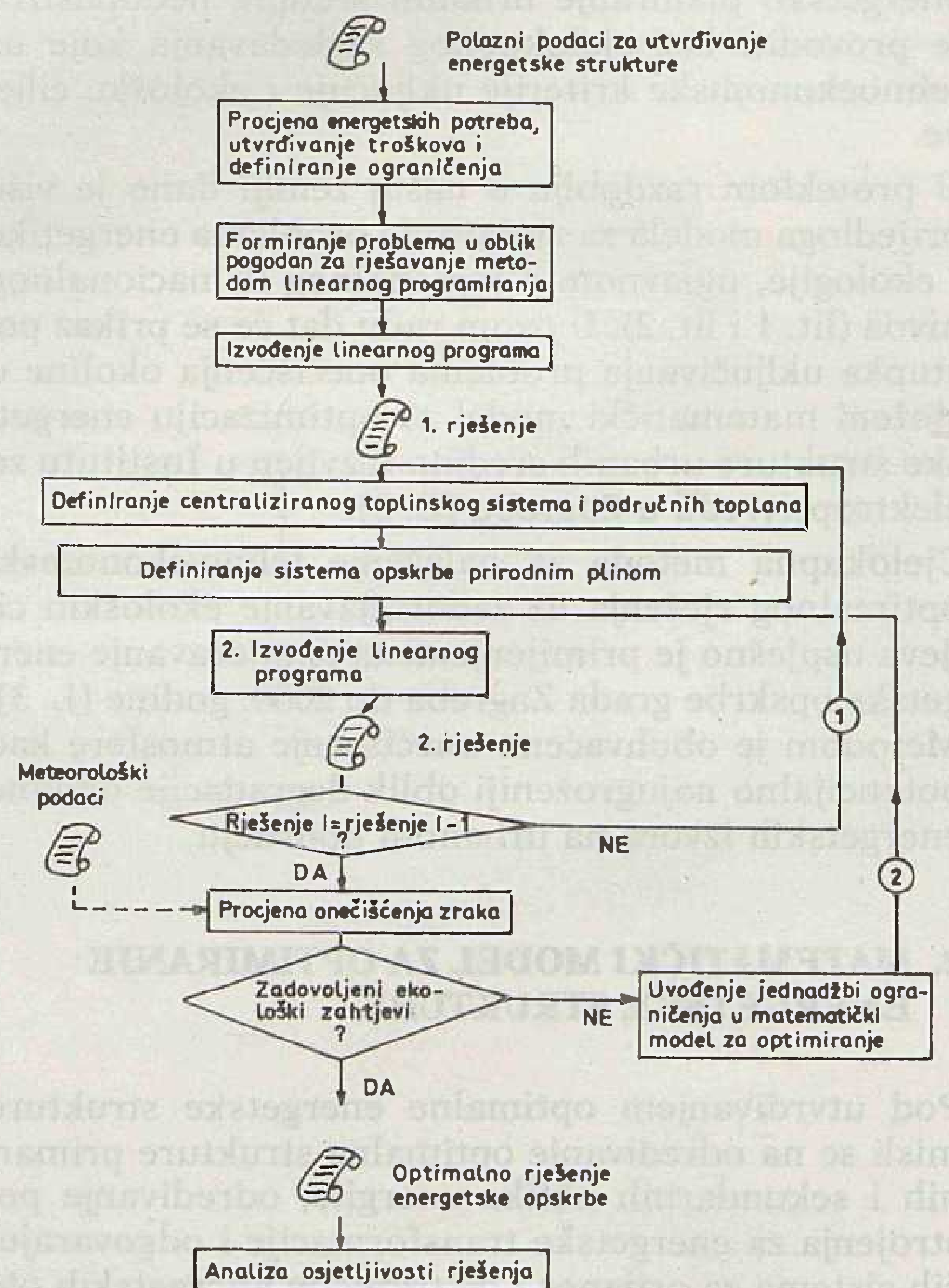
Funkcija cilja u ovisnosti o opredjeljenju u danom trenutku može izražavati i druge vrijednosti od ekvivalentnih godišnjih troškova, primjerice samo investicijske izdatke.

3. POSTUPAK OPTIMIRANJA

Nakon što su procijenjene energetske potrebe, definirani načini energetske opskrbe, pripadni troškovi i ograničenja, te pošto je sve iskazano u formi pogodnoj za rješavanje linearnim programiranjem, može se pristupiti optimiranju energetske strukture.

Sam postupak optimiranja provodi se u nekoliko iteracijskih koraka, čime se prevladavaju nelinearnosti među određenim veličinama. Takav slučaj se pojavljuje uvođenjem ograničenja onečišćenja zraka, definiranjem konzuma i sistema opskrbe plinom te pri uključivanju u razmatranje opskrbe iz centralne ili područne toplane. Model za utvrđivanje optimalnog rasporeda toplinskih jedinica unutar elektroenergetskog i toplinskog sistema i model za simuliranje onečišćenja koriste se tom prilikom kao pomoćni segmenti za redefiniranje ulaznih veličina u iteracijama.

Na slici 1. prikazan je blok-dijagram potrebnih koraka u procesu optimizacije energetske opskrbe urbane sredine. Čitav postupak optimiranja provodi se uz pomoć elektroničkog računala korištenjem za tu svrhu razvijenog programskog sistema ENOP. Na taj način postupak, po sebi prilično složen, do te mjere je operativno primjenjiv da ga se može višekратно ponavljati i tako ispitivati inertnost rješenja variranjem ulaznih podataka. Ovo je osobito važno jer je moguće utvrditi optimalnu strukturu s više različitih scenarija polaznih relevantnih veličina (stope rasta društvenog proizvoda, demografske stope rasta, odnos cijena goriva, ograničenja itd.).



Slika 1. Shematski prikaz postupka optimiranja energetske strukture urbanog područja

4. UKLJUČIVANJE OGRANIČENJA USLIJED ONEČIŠĆENJA ZRAKA U MATEMATIČKI MODEL OPTIMIRANJA

4.1. Model za simulaciju onečišćenja zraka

Matematički model kojim se procjenjuje onečišćenje treba da dovoljno vjerno opisuje rasprostiranje zagađujućih tvari u atmosferi urbanog područja. Potrebno je ponajprije da omogućava računanje dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) koncentracija onečišćivača koji su rezultat emisije iz više točakstih (visokih) i plošnih (niskih) raspodijeljenih stacionarnih izvora. Dodatno, potrebno je omogućiti podešavanje (kalibriranje) modela, iskazivanje pojedinačnog doprinosa pojedinih izvora onečišćenja na bilo kojoj lokaciji, te računanje maksimalnih kratkotrajnih prizemnih koncentracija.

Postoji više postupaka za sagledavanje problema rasprostiranja zagađujućih tvari u atmosferi, i to: gradijent — transportna teorija ili k-teorija, statistički pristup i dimenzionalna analiza. Svaki do pristupa u izvjesnom je smislu ograničen. Razvojem komputera omogućeno je korištenje numeričkih metoda, uglavnom baziranih na k-teoriji. Ove metode uzimaju u obzir vremensko-prostorne varijacije vjetra, stabilnosti atmosfere, uključujući sve kompleksnosti terena okoline, kao i ostale faktore koji utječu na koncentracije (suho i mokro taloženje, transformacija, radioaktivni raspad itd.). Premda obećavaju, ovi modeli još ne mogu naći svoju potpunu praktičnu primjenu, uglavnom zbog nedostatka jedinstvenosti u području teorije difuzije koja bi trebala dati empiričke koeficijente za proračun. Metode, također, postavljaju relativno velike zahtjeve u pogledu kapaciteta elektroničkog računala s obzirom na masu ulaznih podataka. U praksi se zbog toga koristi tzv. dvodimenzionalna Gaussova disperzijska jednadžba zasnovana na teoriji statičkog pristupa koja je vrlo jednostavna za primjenu, a daje rezultate vrlo bliske izmjerenim vrijednostima.

Izrazi temeljeni na jednadžbi Gaussa izražavaju u prvoj aproksimaciji linearnu ovisnost prizemne koncentracije onečišćivača od veličine emisije, što omogućuje uključivanje problema onečišćenja zraka u matematički model za optimiranje.

Za točkasti visoki izvor stacionarne snage emisije izraz za izračunavanje prizemne koncentracije onečišćivača glasi:

$$X_{T(x,y)} = G_T \frac{e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y(x)} \right)}}{\sigma_y(x) \sqrt{2\pi}} \cdot S(x), \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad (1)$$

gdje je:

$$S(x) = \frac{1}{u \sigma_z(x) \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} (H_{ef}/\sigma_z)^2} \quad (2)$$

G_T — snaga emisije, $\mu\text{g}/\text{s}$
 $\sigma_y(x)$, $\sigma_z(x)$ — horizontalni i vertikalni koeficijenti disperzije koji predstavlja-

ju standardne devijacije Gaussove razdiobe koncentracija na udaljenosti x niz vjetar. σ_y i σ_z su ovisni o meteorološkom stanju atmosfere (stabilnosti, brzini vjetra itd.),

u — brzina vjetra na visini ispuštanja, m/s
 H_{ef} — efektivna visina ispuštanja, m
 x, y — koordinate u pravkolutnom koordinatnom sistemu čije je ishodište u bazi dimnjaka, m

Jednadžba 1. vrijedi prilikom promatranja koncentracija uz uvjet nepromjenljivosti meteoroloških parametara, odnosno za kraća vremenska razdoblja. Proračun dugotrajnih vrijednosti koncentracija zasnovan se na logici da se promatrani vremenski period (sezona ili godina) raspodijeli u periode u kojima su relevantni meteorološki parametri (brzina vjetra, smjer vjetra, stabilnost atmosfere) konstantni. Položaj receptora definira se udaljenošću od izvora i indeksom koji označava smjer receptora u odnosu na izvor (promatra se najčešće 16 smjerova u skladu s meteorološkom ružom vjetra):

Uz navedene pretpostavke dugotrajne koncentracije u nekom sektoru k i na udaljenosti p izračunavaju se izrazom:

$$\bar{X}_T(p, j) = G_T \frac{16}{2\pi} \sum_k \sum_l \sum_m \frac{S(p, l, m)}{p} \Phi(k, l, m), \text{g}/\text{m}^3 \quad (3)$$

gdje je:

p — udaljenost receptora od izvora, m
 k — indeks smjera vjetra
 l — indeks meteorološkog stanja atmosfere (stabilnosti)
 m — indeks brzine vjetra

Funkcija Φ predstavlja vjerojatnost pojave određenim meteoroloških stanja atmosfere u toku promatranog perioda (sezona, godina, itd.), tj. vjerojatnost da se pojavi ta stabilnost atmosfere s vjetrom koji puše m -tom brzom u k -tom smjeru (predstavlja se da je distribucija smjera vjetra unutar jednog isječka konstantna). Brzine, stabilnosti i ostali meteorološki parametri razvrstani su u klase. Pri tome je nužno da vrijedi

$$\sum_k \sum_l \sum_m \Phi(k, l, m) = 1. \quad (4)$$

Kad se promatraju niski plošni izvori koji su karakteristični za urbana područja i čiji doprinos koncentraciji onečišćivača zbog male efektivne visine ispuštanja onečišćivača često dominira, proračun je nešto složeniji. Položaj izvora u odnosu na receptor izražava se u polarnom koordinatnom sistemu s ishodištem kod receptora. Ukupna prosječna koncentracija zbog emisije iz površinskog izvora, uvažavajući podjelu meteoroloških stanja na klase, može se izračunati na sljedeći način:

$$\bar{X}_p = \frac{16}{2\pi} \sum_{k=1}^{16} \sum_l \sum_m \Phi(k, l, m) \int_{\Phi} \frac{S(p, l, m)}{p} \left\{ \int_{\text{sektor}} G_p(p, \theta) p d\theta \right\} dp, \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad (5)$$

gdje je:

$G_p(p, \theta)$ – snaga površinskog izvora na udaljenost p od izvora pod kutem θ u odnosu na izvor, $\mu\text{g}/\text{m}^2$

Označivši $\int_{\text{sektor}} G_p(p, \theta) d\theta = q_k(p, \theta) d\theta = q_k(p)$ izraz (5) prelazi u:

$$\bar{X}(p, k) = \frac{16}{2\pi} \int \left\{ \sum_{k=1}^{16} q_k(p) \frac{\sum \Sigma}{lm} \Phi(k, l, m) \right\} \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad (6)$$

U praktičnoj primjeni na računalu ovaj izraz se integrira koristeći trapeznu integraciju sa po volji zadanim parametrima za korak luka θ i dužinu intervala p .

Prethodno navedeni izraz predstavljaju osnovne izraze za utvrđivanje doprinosa točkastih i plošnih izvora koncentraciji u nekoj receptorskoj točki. Često su oni prošireni s namjerom da se obuhvati utjecaj orografije terena, suho i mokro taloženje, prirodni raspad te širenje dimne perjanice unutar sloja miješanja. Ukupna koncentracija štetnih sastojaka u nekoj točki izračunava se superponiranjem doprinosa svih izvora na urbanom području

$$X_{\text{UK}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{TO}}} X_{\text{IT}} + \sum_{i=1}^{N_{\text{PO}}} X_{\text{IP}}, \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad (7)$$

gdje je:

$X_{\text{IT}}, X_{\text{IP}}$ – doprinos i -tog točkastog, odnosno površinskog izvora koncentraciji onečišćivača u promatranoj točki, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

N_{TO} – ukupan broj točkastih izvora

N_{PO} – ukupan broj površinskih izvora.

Izrazom (7) izračunat će se prosječna godišnja ili sezonska koncentracija onečišćivača na nekom receptorskom mjestu. Za usporedbu s граниčnim vrijednostima potrebno je izračunati i vrijednosti kratkotrajnih koncentracija (24-satne maksimalne, 95-percentila, 98-percentila, druga najveća vrijednost itd.). To je moguće izvršiti bez primjene modela zasnovanog na satnoj simulaciji zahvaljujući činjenici da se razdioba koncentracije štetnih sastojaka (posebno SO_2) u atmosferi urbanog područja može aproksimirati dovoljno točno lognormalnom razdiobom za sve periode uprosječivanja. Za preračunavanje, uz vrijednosti izračunate modelom, potrebne su tipične vrijednosti standardne geometrijske devijacije koncentracija bilo kojeg drugog perioda uprosječivanja s promatranog područja.

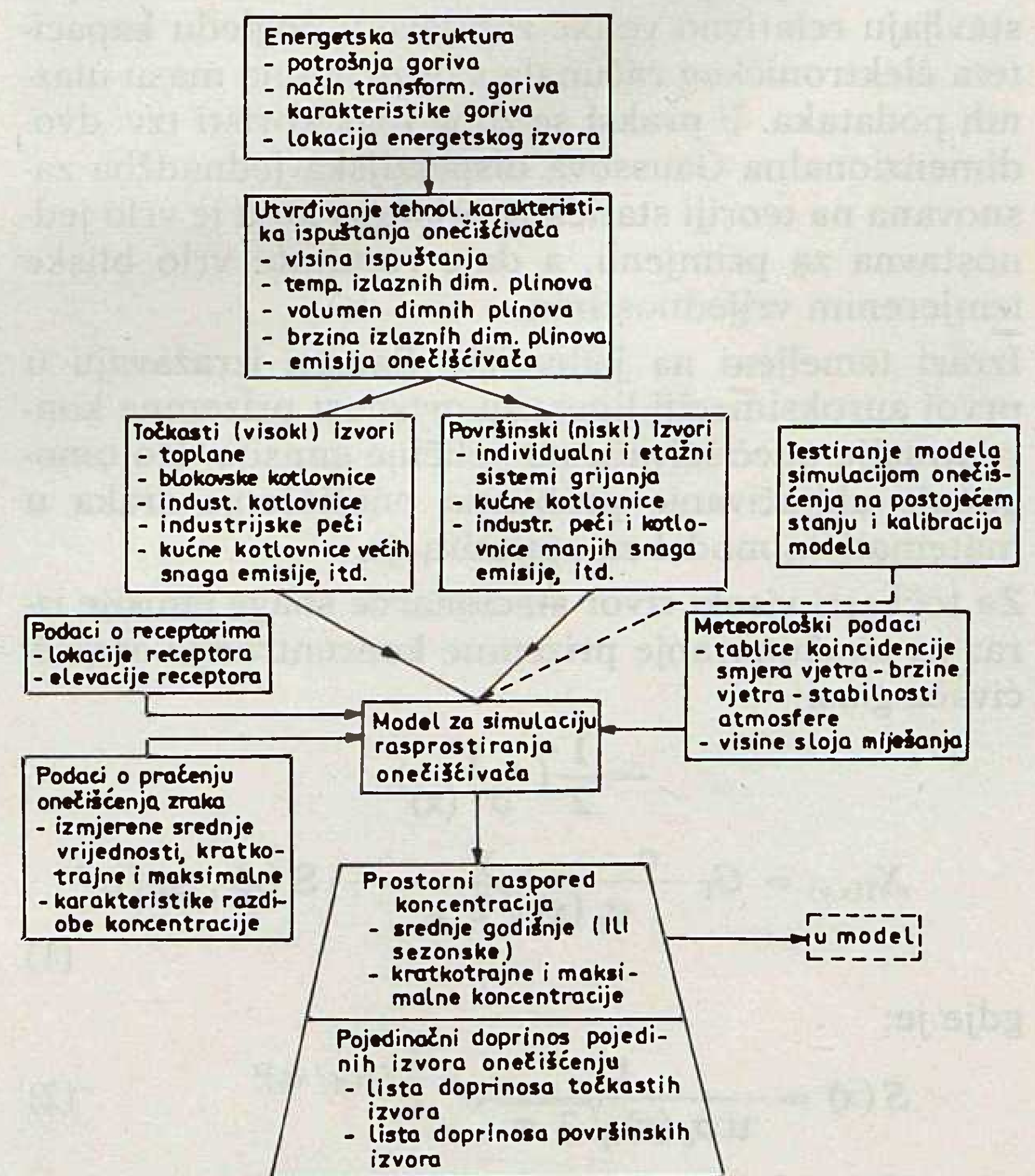
Radi provjere valjanosti matematičkog modela potrebno je prethodno izvršiti proračun za postojeće stanje. Provjera će se izvršiti komparacijom vrijednosti izračunatih modelom i stvarnih vrijednosti dobivenih mjerenjem promatrano u više točaka širom urbanog područja. U ovoj fazi moguća je i kalibracija modela. Osnovna kalibracije je određivanje koeficijenta regresijskog pravca koji povezuje mjerene i izračunate vrijednosti. Koeficijenti regresije će se odrediti standardnom regresijskom metodom najmanjih kvadrata. Pri postupku kalibriranja treba u račun uključiti samo koncentracije nastale zbog emisije

na području grada. Temeljni doprinos emisije onečišćivača nastao emisijom izvan gradskog područja mora se izdvojiti iz razmatranja. Kalibracija će se primijeniti tek pošto je statistički testirana pouzdanost regresijskog pravca uz usvajanje određenog nivoa signifikantnosti.

4.2. Faza provedbe analize onečišćenja

Pošto je definiran obuhvat centraliziranog toplinskog sistema i obuhvat sistema opskrbe prirodnim plinom, tj. nakon što je postignuto tehno-ekonomski optimalno rješenje, potrebno je utvrditi koliko takvo rješenje utječe na onečišćenje zraka urbanog područja. Na slici 2. shematski je prikazan tok operacija koji podrazumijeva ovakva analiza.

Energetskom strukturom definirana je potrošnja pojedinih goriva, način transformacije goriva lokacije energetskih izvora. Poznate su sve veličine za utvrđivanje tehnoloških karakteristika ispuštanja onečišćivača i količine emisije iz budućih izvora. Prilikom proračuna emisije, s obzirom na nepredvidive promjene u pogledu karakteristika goriva raspoloživih u budućnosti razložno je primijeniti nešto konzervativnije pretpostavke. Na osnovi katastra emisije prosudit će se da li je uz sumporni dioksid i krute čestice potrebno promatrati i onečišćenje drugim štetnim sastojcima. Izvori emisije razdvojiti će se na točkaste (visoke) i površinske (niske) izvore, te zatim izvršiti proračun prizemnih srednjih godišnjih i kratkotrajnih koncentracija štetnih tvari u skladu s postupkom opisanim u poglavlju 4.1.



Slika 2. Shematski dijagram postupka procjene utjecaja energetske strukture na onečišćenje zraka

Na području urbane sredine redovito se nalazi velik broj točkastih izvora, a površinski izvori nerijetko pokrivaju čitavo urbano područje. Za donošenje konačnog suda o zagađenju, tj. za usporedbu s usvojenim graničnim vrijednostima, potrebno je procijeniti onečišćenje u više desetaka receptorskih točaka prostorno raspoređenih širom i izvan urbanog područja.

Pokaže li se da prostorni raspored prizemnih koncentracija onečišćivača zadovoljava, odnosno da nije prekoračena granična vrijednost, moći će se konstatirati da je tehno-ekonomski optimalna struktura ujedno zadovoljila i zdravstveno-higijenske zahtjeve te da, s obzirom na postavljene kriterije, predstavlja **optimalnu energetska strukturu**.

U protivnom, postupak optimiranja bit će potrebno nastaviti. Za utvrđena »kritična mjesta« u kojima su premašene usvojene granične vrijednosti definirat će se jednadžba ograničenja.

Shematski gledano (slika 1) potrebno je vratiti se na početak i izvršiti optimiranje s problemom koji je proširen jednadžbama ograničenja onečišćenja. Ako rezultat pokaže da je zbog tih ograničenja došlo do promjene u strukturi, najčešće je to proširenje sistema opskrbe p. plinom ili sistema opskrbe toplinom iz CTS-a* (jer se tim sistemima smanjuje onečišćenje zraka), nužno je redefinirati obuhvat sistema opskrbe plinom i centraliziranog toplinskog sistema, te izvršiti ponovo proračun procjene onečišćenja zraka. Postupak se ponavlja sve dok se ne zadovolji postavljeni kriterij u pogledu očuvanja čistoće zraka (petlja 2, slika 1).

4.3. Postavljanje jednadžbi ograničenja onečišćenja zraka

Jednadžbe ograničenja onečišćenja zraka uvode se u model nakon što je analizom procjene onečišćenja utvrđeno onečišćenje preko usvojenih graničnih vrijednosti.

Koncentracije onečišćivača u atmosferi urbanog područja prostorno gledajući nemaju karakter izražajnih promjena, pa će, pokaže li se potrebno uvođenje jednadžbi ograničenja onečišćenja u matematički model za optimiranje, biti dovoljno uvesti nekoliko ili čak samo jednu jednadžbu ovog tipa. Naime, postignu li se zadovoljavajuće vrijednosti koncentracija u kritičnim točkama, automatski će se smanjiti koncentracija i u drugim, manje ugroženim zonama.

Pojednostavljeno prikazano, za neku točku R u kojoj je izračunato prekoračenje granične vrijednosti, jednadžba će imati sljedeći oblik:

$$\begin{aligned} \bar{X}_R > \sum_{K=1}^{NGR} \sum_{VUT} \sum_{VRG} k_i(VUT, R, K) \cdot k_e \\ (VRG, VUT) \cdot q_t \cdot VRG(KZP, VUT, K) \\ + \sum_{k=1}^N \sum_{VUTI} \sum_{VRG} k_i(VUTI, R, K) \cdot \\ k_e(VRG, VUTI) \cdot q_t \cdot VRG(KZPI, VUTI, K) \end{aligned} \quad (2)$$

* Centralizirani toplinski sistem

gdje je:

- R – indeks receptorske točke
- NGR – ukupan broj građevinskih kazeta
- VUT – indeks vrste uređaja za transformaciju u građevinskoj kazeti (npr. peć za klasično grijanje, uređaj za etažno grijanje, blok-kotlovnica za grijanje i toplu vodu, toplana itd.)
- K – indeks kazete (građevinska ili industrijska)
- KZP – indeks kombinacije zadovoljenja energetska potreba u građevinskoj kazeti (npr. grijanje, grijanje + topla voda, grijanje + topla voda + kuhanje, grijanje + topla voda + kuhanje + el. energija, kuhanje itd.)
- $VUTI$ – indeks vrste uređaja za transformaciju u industrijskoj kazeti (industrijska kotlovnica, industrijska peć, industrijska toplana, gradska toplana itd.)
- VRG – količina goriva – varijabla u modelu (kg/god)
- k_i – koeficijent imisije, s/m³
- k_e – koeficijent emisije, kg/kg
- q_t – pretvorbeni koeficijent za svodenje emisije u g/sek
- $KZPI$ – indeks kombinacije zadovoljenja ener. potreba u industrijskoj kazeti (npr. vrela voda za grijanje, vrela voda + para niske temperature, pare niske + para visoke temperature itd.).

Konstanta \bar{X}_R na lijevoj strani jednadžbe odredit će se na sljedeći način:

$$\bar{X}_R = GVI - \bar{X}_{PK}, \text{ g/m}^3 \quad (3)$$

gdje je:

- GVZ – granična vrijednost imisije, g/m³
- \bar{X}_{PK} – pozadinska koncentracija na mjestu opažanja R koja potječe od izvora onečišćenja koji nisu obuhvaćeni matematički modelom (npr. promet, neenergetski izvori, izvori izvan urbanog područja), g/m³.

Na desnoj strani jednadžbe 2 nužno je da se nalaze samo one varijable koje mogu dati doprinos onečišćenju u promatranoj točki. Praktično je promatrati utjecaj onih izvora čiji je doprinos veći od određenog udjela jer njihov broj može biti i reda veličine nekoliko stotina.

Varijable u jednadžbi množe se faktorom emisije (k_e) i faktorom imisije (k_i). Faktorom emisije izračunava se godišnja emisija onečišćivača. On je ovisan ponajprije o vrsti goriva, a zatim o tipu ložišta, tj. uređaju za transformaciju. Faktor imisije izražava prirast koncentracije po jedinci emitirane količine onečišćivača. Češće se ova veličina naziva relativna ili normirana koncentracija onečišćivača. Faktori imisije određuju se simulacijskim modelom za procjenu onečišćenja zraka.

U skladu s izazom mogu se pisati sljedeće relacije za izračunavanje faktora imisije:

– za točkasti izvor X

$$k_{iT} = \frac{\bar{X}_T}{G_T}, \text{ s/m}^3 \quad (4)$$

– za plošni izvor

$$k_{iP} = \frac{\bar{X}_P}{G_P}, \text{ s/m}^3 \quad (5)$$

gdje je:

k_{iT} , k_{iP} – koeficijent imisije zbog točkastog, odnosno plošnog izvora onečišćenja, s/m³

G_T , G_P – emisija točkastog, odnosno plošnog izvora onečišćenja, g/s

\bar{X}_T , \bar{X}_P – koncentracije onečišćivača zbog točkastog odnosno plošnih izvora, g/m³

U točkaste (visoke) izvore svrstat će se uređaji za transformaciju većih snaga (obično snagom emisije većom od 50 t/god.) i izvori manjih snaga prostorno izdvojeni od ostalih. Blokofske kotlovnice, industrijske kotlovnice i toplane uglavnom će biti svrstane u točkaste izvore.

Prethodno je spomenuto da je za primjenu matematičkog modela za optimiranje gradsko područje potrebno raspodijeliti na homogene energetske cjeline – građevinske i industrijske kazete. S tim u vezi treba istaknuti sljedeće:

Promatra li se blokofska kotlovnica ili industrijska kotlovnica u kojoj se pridobiva toplina za potrebe samo jedne kazete, tada se faktor imisije izračunat izrazom (4) može direktno uvrstiti u nejednadžbu 2. Međutim, ako se promatra toplana iz koje se toplinom opskrbljuje nekoliko kazeta, tada vrijednost koeficijenta emisije toplane treba linearno raspodijeliti po pripadnim kazetama u ovisnost energetskih potreba, gledajući na pragu toplane. Za navedeni slučaj koeficijent emisije pripadan jednoj kazeti i izračunat će se prema tome izrazom:

$$k_i(TOG, R, M) = k_i(TOG, R) \frac{Q(M)}{\xi(M)} \frac{\sum_{k=1}^{N_{TOP}} Q(K)}{\xi(K)} \quad (6)$$

gdje je:

$k_{iT}(TOG)$ – koeficijent imisije u receptorskoj točki R uslijed emisije onečišćivača iz toplane, s/m³

$Q(M)$ – potrebna korisna toplina u kazeti M, J

$\xi(M)$ – koeficijent korisnog djelovanja prijenosa topline od izvora do kazete M

N_{TOP} – ukupan broj kasete koje se opskrbljuju iz toplane.

U plošne izvore onečišćenja svrstat će se kućne kotlovnice i etažni individualni sistemi opskrbe toplinom. Budući da se u modelima za simulaciju onečišćenja plošni izvori promatraju kao kvadranti proizvoljno zadanih dimenzija, a kazete su u pravilu ne-

pravilnog oblika, koeficijenti imisija kazeta odredit će se na osnovi učešća kazete*(varijable) u emisiji pojedinog kvadranta. Primjerice, promatra li se opskrba toplinom iz kućne kotlovnice za kazetu koja pokriva M_R kvadranta definiranog koordinatnog sistema, koeficijent imisije kazete odredit će se sljedećim izrazom:

$$k_i(KK, R, M) = \sum_{p=1}^{M_R} k_{ip}(P), \text{ s/m}^3 \quad (7)$$

gdje je:

$k_i(KK, R, M)$ – faktor imisije u receptorskoj točki R uslijed emisije iz kućnih kotlovnica u kazete M, s/m³

M_R – ukupan broj kvadranta koji su potpuno ili djelomično prekriveni kasetom M

k_{ip} – faktor imisije p-tog kvadranta u točki R (ako je kvadrant prekriven s dvije ili više kasete u izraz 2 uvrštava se dio proporcionalan učešću u emisiji), s/m³

5. PRIMJENA METODE NA PRIMJERU ENERGETSKE OPSKRBE GRADA ZAGREBA

Imajući na umu nužnost sagledavanja problema opskrbe energijom gradova s tehnokonomsko-ekološkog aspekta, usmjeravanje opskrbe energijom grada Zagreba i područja do 2000. godine izvedeno je korištenje prethodno opisane metodologije. U nastavku je dan samo kratak pregled rezultata, detaljan opis može se naći u lit. 3. lit. 8.

Osnovne značajke proizašle tehnokonomske optimalne energetske strukture, u smislu načina zadovoljenja krajnjih korisnika energijama bile bi kako slijedi: Područja visoke gradnje, osim dijela današnje gradske jezgre, namirivale bi ogrjevne potrebe i potrebe za toplom potrošnom vodom iz centraliziranog toplinskog sistema, dok bi se u područjima manjih gustoća gradnje koja, prostorno gledajući, sačinjavaju prsten oko toplificiranog dijela grada, sve toplinske potrebe namirivale korištenjem prirodnog plina. U sasvim rubnim područjima grada, kao posljedica ograničene mogućnosti dobave p. plina opravdano bi bilo koristiti za gorivo mrki ugljen. Opskrba toplinom iz blokofskih kotlovnica vršila bi se u zonama visoke i guste kolektivne gradnje dislociranim od centraliziranog toplinskog sistema (mikrosredišta izdvojenih općina). Što se tiče industrije, zone koje su udaljene od glavnih smjerova magistralne, vrelovodne i parne mreže namirivale bi se iz vlastitih kotlovnica. Veći dio u kotlovnicama koristio bi dvojno gorivo, teško loživo ulje (npr. plin, dok bi ugljen izgoreo u kotlovnicama tvornica izoliranih od stambenih područja. U tablici 1. prikazana je struktura energije predane korisnicima prema ovom rješenju.

Za optimalno rješenje energetske opskrbe izračunat je katastar emisije sumpornog dioksida i krutih čestica. Sumarni prikaz emisije pojedinih grupa izvora prikazan je u tablici 2.

Tablica 1. Zagreb (13 općina) — energija predana korisnicima

Godina	Oblik energije (TJ)						
	Električna energija	Drvo i biljni otpaci	Ugljen	Kapljeviti naftni derivati	Plin	Para i vrela voda	Ukupno
1978.	5 346	1 920	4 843	20 950	7 522	11 073	51 654
2000.	18 641	1 890	5 184	26 034	23 059	33 585	108 393
Struktura oblika %							
1978.	10,35	3,72	9,38	40,55	14,62	21,44	100
2000.	17,20	1,74	4,78	24,02	21,27	30,98	100

Tablica 2. Emisija iz točkastih i površinskih izvora, t/a

2000

	SO ₂						čestice							
	Centralni topl. sistem	Blokov. i ind. kotlov. na ugljen	Blokov. i ind. kotlov. na t. lož ulje	Ind. peći za visoke temperature	Individ. i etažni sistemi grijanja	UKUP-NO	Udio %	Central topl. sistem	Blokov. i ind. kotlov. na ugljen	Blokov. i ind. kotlov. na t. lož ulje	Ind. peći za visoke temperature	Individ. i etažni sistemi grijanja	UKUP-NO	Udio %
Uži Zagreb	54 552	10 399	3 322	3 507	9 211	80 991	75,1	3 318	764	79	88	3 684	7 933	64,2
Zaprešić	—	6 227	645	—	1 342	8 214	7,6	—	457	16	—	537	1 010	8,1
V. Goriča	—	2 937	431	—	2 501	5 869	5,4	—	216	5	—	1 000	1 221	9,9
Sesvete	—	3 723	1 223	—	1 740	6 689	6,2	—	274	31	—	696	1 001	8,1
Samobor	—	—	1 248	—	1 734	2 982	2,8	—	—	32	—	693	725	5,9
D. Selo	—	2 049	305	—	752	3 106	2,9	—	151	7	—	301	459	3,8
Ukupno	54 552	25 335	7 174	3 507	17 280	107 848	100	3 318	1 862	170	88	6 911	12 349	100
Udio %	50,6	23,5	6,6	3,2	16,1	100		26,9	15,1	1,4	0,1	56,5	100	

Proračun prizemnih koncentracija SO₂ i krutih čestica proveden je matematičkim modelom CDMQC [L. 5] koji je temelji na modificiranim izrazima Gaussa. Model se prethodno testiran na sezoni 1978/1979. jer su za to razdoblje bili raspoloživi meteorološki podaci (lit. 9), podaci o emisijama [L. 3] i podaci o izvršenim mjerenjima koncentracija na području grada Zagreba (lit. 7). Proračun je vršen za 10 receptorskih mjesta postojećih mjernih stanica. Pri utvrđivanju emisije SO₂ iskustveno je pretpostavljeno da emisija SO₂ zbog prometa ima minoran doprinos u odnosu na ostale energetske izvore (zanemariv sadržaj sumpora u

benzinu i učešće dizel-vozila u prometu, prema [L. 3] manje od 5%). »Količinu emisije« krutih čestica iz izvora izvan ložišta koja je značajna s obzirom na sadržaj prašine u zraku zbog prometa, na osnovi raspoloživih podataka nije bilo moguće utvrditi dovoljno točno, pa nije uzeta u obzir. Rezultati proračuna i mjerenja prikazani su u tablici 3.

Programom izračunate koncentracije u prosjeku su veće 10,6% od izmjerenih. Faktor korelacije izračunatih i izmjerenih prosječnih godišnjih koncentracija iznosi za sumporni dioksid 0,94, što prikazuje da je model izuzetno pogodan za simulaciju onečišćenja zraka zagrebačkog područja.

Tablica 3. Koncentracije SO₂ i lebdećih čestica u Zagrebu 1977/78. god.μg/m³

	Računska							Mjerena						
	Godiš. prosjek nekalibrir.	SO ₂				SO ₂		Godiš. prosjek	C _{95 %}	Klasa kvalitete zraka	Lebdeće čestice			
		Godiš. prosjek kalibriran	C _{95a %}	C _{max b}	Godiš. prosjek nekalibrir.	C _{95 %}	C _{max}							
Đorđićeva ul.	108	106	322	688	35	105	224	117	335	533	—	—	—	III
Jurišićeva ul.	107	106	320	684	34	104	222	113	332	828	—	—	—	III
Branimirova ul.	94	90	274	586	30	92	197	79	220	522	—	—	—	II
Demetrova ul.	92	88	266	569	30	90	192	78	235	497	—	—	—	II
Ul. I. L. Ribara	61	52	156	334	20	60	128	61	200	379	160	280	506	II
Radnička c.	74	67	201	432	22	68	145	60	180	403	—	—	—	I
Ul. Đ. Salaja	69	61	185	396	21	65	139	64	190	474	—	—	—	II
Ul. M. Pijade	46	33	101	216	14	44	39	47	135	396	132	200	400	I
Remetinec	45	32	97	207	14	42	89	32	120	205	—	—	—	I
Susedgrad	54	43	131	280	12	37	80	27	105	161	190	325	637	I

a C_{95 %} — očekivana dnevna koncentracija od koje je manje 95 % koncentracija

b C_{max} — očekivana 24-satna maksimalna koncentracija

Tablica 4. Koncentracija SO₂ i krutih čestica na području užeg Zagreba u 2000. godini

	SO ₂			Čestice			Klasa kvalitete zraka
	\bar{C}	C _{95%}	C _{max}	\bar{C}	C _{95%}	C _{max}	
Dordićeva ul.	34,5	101,2	211,4	17,9	54,2	116,0	I
Jurišićeva ul.	36,4	106,5	222,5	17,8	53,9	115,4	I
Branimirova ul.	33,8	99,1	206,9	17,5	53,0	113,4	I
Demetrova ul.	40,5	118,5	247,4	19,3	58,5	125,1	I
Ul. I. L. Ribara	38,2	111,9	233,8	19,2	58,2	124,5	I
Radnička c.	30,2	88,4	184,7	16,2	49,1	105,0	I
Ul. Đ. Salaja	31,1	91,1	190,3	16,4	48,7	106,3	I
Ul. M. Pijade	51,3	150,1	313,6	23,7	71,8	153,6	I
Remetinec	27,4	80,2	167,6	15,4	46,6	99,8	I
Susedgrad	35,5	104,0	217,3	17,7	53,6	114,7	I
Prosjeck	35,9	105,1	219,5	18,1	54,8	117,4	I

Tablica 5. Koncentracija SO₂ i krutih čestica na području vangradskih općina u 2000. godini

	SO ₂			Čestice			Klasa kvalitete zraka
	\bar{C}	$\bar{C}_{95\%}$	\bar{C}_{max}	\bar{C}	$\bar{C}_{95\%}$	\bar{C}_{max}	
Zaprešić	10,8	31,7	66,1	9,3	28,2	60,3	I
V. Gorica	16,2	47,4	99,0	11,7	35,4	75,8	I
Sesvete	31,6	92,5	193,2	15,3	46,0	98,5	I
Samobor	16,6	48,8	101,8	11,0	33,3	71,2	I
D. Selo	8,2	23,9	50,5	9,5	28,8	61,5	I
Prosjeck	16,6	48,9	102,1	11,3	34,3	73,5	I

Radi otkrivanja mogućih »kritičnih« zona za stanje u 2000. god. izračunate su srednje godišnje prizemne koncentracije i koncentracije 95-percentila sumpornog dioksida u 150 receptorskih točaka. U tablici 4. i 5. prikazane su izračunate koncentracije u 11 reprezentativnih točaka s užeg gradskog područja i 5 s vangradskog područja. Vidi se da u svim točkama, koje ujedno predstavljaju i područja najvećih gustoća naseljenosti, kvaliteta zraka odgovara I klasi prema klasifikaciji danoj od sekcije za zrak SIV-a ($SGVI_d = 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $SGVI_k = 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Budući da na području grada nisu prekoračeni pretpostavljeni kriteriji I klase čistoće zraka, može se reći da je tehno-ekonomski optimalno rješenje zadovoljilo i ekološke ciljeve. U nastavku, stoga, nije bilo potrebno u model uvoditi jednadžbe opisane u poglavlju 4.3.

Jednadžba ograničenja onečišćenja zraka uvedena je u sklopu analize osjetljivosti optimalnog rješenja na polazne podatke proračuna. Tom prilikom utvrđeno je da plinska opskrba ima tendenciju supstitucije nečistijih goriva u područjima većeg doprinosa. Budući da je energetska opskrba optimirana uz ograničenu mogućnost dobave p. plina ($250\,000 \text{ n}^3/\text{h}$), to je u područjima koja imaju mali utjecaj na onečišćenje zraka p. plinom supstituiran drugim načinima energetske opskrbe.

ZAKLJUČAK

Razvijena je metoda za optimiranje energetske strukture koja uz tehno-ekonomske kriterije uzima u

obzir i ekološke ciljeve. Ekološki ciljevi postavljeni su u modelu u obliku jednadžbi ograničenja prekoračenja graničnih vrijednosti imisije. Izborom graničnih vrijednosti imisije vrši se niveliranje između ekonomskih efekata i postavljenih ekoloških ciljeva. Primjereno trenutku promatranja, ekonomskoj snazi, društveno-privrednim stremljenjima, uzevši u obzir postojeće stanje onečišćenja, izabrat će se granične vrijednosti imisije koje nije nužno da su istovjetne na čitavom području urbane sredine.

Model za sada tretira utjecaj rereaktivnih onečišćivača. Daljnji razvoj modela usmjeren je na potpuniji obuhvat mogućih utjecaja na okolinu. Model se proširuje sagledavanjem reaktivnih onečišćivača čiji efekt i kod klasičnih postrojenja, kad se radi o ugljenu, nije zanemariv. Takav pristup omogućava uključivanje utjecaja nuklearnih postrojenja, što se recimo na primjeru grada Zagreba u budućnosti pokazalo potrebnim. Najznačajnije je da će model u svojoj konačnoj izvedbi biti temeljen na principima cost-effectiveness analize, odnosno na principima direktne kvantifikacije štetnosti onečišćenja na ljudsko zdravlje, životinjski i biljni svijet. Danas, kad su već vrlo precizno razrađene metode koje dovode u vezu izloženost štetnim sastojcima s povećanjem rizičnosti življenja, vrijeme je da se ove metode uključe u energetske modele.

LITERATURA

- [1] Z. GEREKE: »Modeliranje energetike i životne sredine«, Metodi i problemi, Beograd 1982.
- [2] Z. ZARIĆ, B. BOJOVIĆ: »Modeliranje opterećenja okoline od energetske djelatnosti«, Referat s naučnog skupa Energija i sredina, Sarajevo 1981.
- [3] D. ČORAK, Z. MUŽEK, H. ŠTINGL, V. JELAVIĆ i drugi: »Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.
- [4] D. ČORAK, V. JELAVIĆ, Z. MUŽEK: »Matematički model za optimizaciju energetske opskrbe urbanih sredina«, Energija 1, Zagreb 1984.
- [5] D. O. MARTIN, A. TIKVARD: »Climatological Model for multiple Source Urban Air Pollution«, EPA 1973.
- [6] V. JELAVIĆ: »Određivanje energetske strukture urbanih područja«, Magistarski rad, Zagreb 1986.
- [7] M. FUGAŠ i dr.: »Problemi kontrole onečišćenja atmosfere na području grada Zagreba (izvještaj za 1977/78.)«, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Zagreb, Laboratorij za higijenu okoline
- [8] V. JELAVIĆ, M. JURETIĆ: »Procjena onečišćenja zraka grada Zagreba u 2000. godini«, Zaštitna atmosfera, 12 (3), 1984, Sarajevo
- [9] N. ŠINIK i dr.: »Prosječni difuzioni potencijal okoliša NE Prevlaka«, Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Centar za meteorološka istraživanja, Zagreb, svibanj 1980.

INCLUSION OF ECOLOGICAL AIMS IN THE MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZATION OF POWER STRUCTURE IN URBAN AREAS

In the article is presented method for inclusion of ecological aims in the mathematical model for optimisation of power structure in urban area. Ecological aims are included as constraints for limiting emission of pollutant in atmosphere. The method is successfully applied for solution of power consumption in Zagreb on 2000 Year.

ÖKOLOGISCHE ZIELE IM MATHEMATISCHEN MODELL ZUR OPTIMIERUNG DER ENERGETISCHEN STRUKTUR URBANISierter GEBIETE

In der Arbeit wurde die Beschreibung der Methoden die ökologische Ziele ins mathematische Modell zur Optimierung der energetischen Struktur der urbanisierten Gebiete miteinbeziehen gegeben.

Ökologische Ziele werden im Modell in der Form von Gleichungen der Begrenzung der Überschreitung der Grenzwerte der Immission der Schadstoffe in der Atmosphäre aufgestellt.

Die gesamte Methode wurde mit Erfolg für die Vorbereitung der energetischen Versorgung der Stadt Zagreb bis 2000 angewendet.

ВКЛЮЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ В МАТЕМАТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

В работе дано описание процесса включения экологических целей в математическую модель оптимизации энергетической структуры городской среды. Экологические цели устанавливаются в модели в форме уравнения ограничения превышения предельных значений внесения вредных веществ в атмосферу. Комплексный метод применен успешно на направление энергоснабжение города Zagreb до 2000 года.

Naslov pisca:

mr Vladimir Jelavić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
 1986-12-02

ELEKTROPRIIVREDA ZAGREB

OUR **Elektroprenos**

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:

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

OUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

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

ODREĐIVANJE OPTIMALNIH KONFIGURACIJA RAZDJELNIH MREŽA

Mr. Željko Rajić, Zagreb

UDK 621.316.1.11

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu su prikazane metode za određivanje optimalnih konfiguracija elektroenergetskih razdjelnih mreža i razmještaja napojnih transformatorskih stanica zasnovane na primjeni tehnika matematičkog programiranja. Na temelju poznatog rasporeda i veličine potrošnje električne energije, mogućih lokacija, nazivnih snaga i troškova transformatorskih stanica te potencijalnih trasa napojnih vodova i njihovih tehničkih i troškovnih karakteristika određena je najjeftinija konfiguracija distributivne mreže. Postojeća mreža, prijenosne mogućnosti vodova, dozvoljeni padovi napona i radijalnost rješenja su kao ograničenja uključeni u optimizacijski proces.

Ključne riječi: optimiranje, razdjelna mreža, matematičko programiranje, fiksni i varijabilni troškovi.

1. UVOD

Sa tehničkog i ekonomskog aspekta elektroenergetski sistem predstavlja vrlo veliku, složenu i skupu funkcionalnu cjelinu. Osnovni cilj je izgraditi takve izvore, mrežu i postrojenja električne energije da se postigne zahtijevana kvaliteta opskrbe potrošača uz minimalne troškove. Kako se radi o kompleksnoj strukturi, već vrlo mali postoci ušteda znače veoma velika smanjenja troškova i u ovom kontekstu treba sagledati planiranje elektroenergetskih razdjelnih mreža.

Razvoj modela za prezentiranje električnih mreža i njihovih sastavnih elemenata te intenzivna aktivnost na stvaranju novih i usavršavanju postojećih metoda matematičkog programiranja omogućili su, uz primjerenu kompjutorsku podršku, pojavu i primjenu optimizacijskih postupaka u planiranju i izgradnji elektroenergetskih sistema. Optimalna konfiguracija razdjelne mreže je ona koja zadovoljava tehničke uvjete i ima najmanje troškove. S tehničkog gledišta znači da svi potrošači dobivaju potrebnu količinu električne energije, da su padovi napona u granicama tolerancije, opterećenja vodova i transformatora manja od dozvoljenih i da je ispunjen zahtijevani stupanj pouzdanosti.

Razdjelnu mrežu opisuje niz svojstvenih tehničko-ekonomskih veličina. Tehnički parametri su napon, snaga, presjeci vodova i sl., a ekonomski cijena investicija, troškovi održavanja i dr. Ovisno o dimenzijama problema i stupnju detalja koji se želi obuhvatiti, pojedine karakteristične veličine distributivne mreže se tretiraju kao varijable, a neke kao parametri. Određene funkcijske ovisnosti se predstavljaju točno, a druge aproksimativno, što je posljedica izbora cilja optimiranja.

U ovom radu prikazane su metode za određivanje optimalnih konfiguracija elektroenergetskih razdjelnih mreža i razmještaja napojnih transformatorskih sta-

nica zasnovane na primjeni tehnika matematičkog programiranja. U tu svrhu su električni vodovi i transformatorske stanice modelirani na odgovarajući način. Na temelju poznatog rasporeda i iznosa potrošnje električne energije, mogućih lokacija i veličina napojnih transformatorskih stanica te potencijalnih trasa i presjeka napojnih vodova određena je najjeftinija konfiguracija distributivne mreže. Pri tome su uzete u obzir troškovne i tehničke karakteristike vodova i napojnih transformatorskih stanica, a dopušteni padovi napona i radijalnost rješenja su uključeni kao ograničenja u optimizacijski proces. Postojeća mreža, mogućnost demontaže i rekonstrukcije vodova i transformatorskih stanica lako se uzima u obzir.

Kao konačni rezultat dobijaju se trase i presjeci vodova, veličine i lokacije napojnih transformatorskih stanica, iznosi tokova snaga kroz mrežu, vrijednost padova napona u pojedinim čvorovima te ukupni troškovi dobivene optimalne mreže.

Prezentirani modeli su statički, ali se vremenska komponenta može uzeti u obzir realizacijom pseudodinamičkog pristupa koji znači višestruku primjenu statičkog modela u različitim periodima razmatranja.

2. MATEMATIČKI PRIKAZ TROŠKOVA VODA I TRANSFORMATORSKE STANICE

2.1. Troškovi voda

Troškovi voda se sastoje od troškova investicija, troškova održavanja i troškova zbog gubitaka električne snage i energije, a najčešće se izražavaju po jedinici dužine. Troškovi investicija i održavanja čine stalne ili fiksne troškove jer se javljaju čim je vod u pogonu, a troškovi uzrokovani gubicima električne energije i snage čine promjenljive ili varijabilne troškove jer ovise o opterećenju voda. Za razliku od troš-

kova investicija, troškovi održavanja i troškovi zbog gubitaka javljaju se u toku čitavog perioda razmatranja, pa ih je potrebno aktualizirati.

Troškovi održavanja se obično prikazuju u postocima investicijskih troškova i određeni su relacijom:

$$a_2 = \frac{k_1}{100} \cdot a_1 \cdot G(t) \quad (2.1)$$

gdje su:

a_2 — troškovi održavanja voda po kilometru dužine [din/km];

k_1 — iznos troškova održavanja u postocima investicijskih troškova izgradnje kilometra voda [%];

a_1 — troškovi izgradnje kilometra voda [din/km]

Funkcija $G(t)$ je definirana relacijom:

$$G(t) = \frac{q^t - 1}{q^t(q - 1)} \quad (2.2)$$

gdje su:

q — faktor aktualizacije;

t — vrijeme promatranja [god].

Faktor aktualizacije je određen izrazom:

$$q = 1 + \frac{p}{100} \quad (2.3)$$

gdje je:

p — stopa aktualizacije [%].

Sada se ukupni fiksni troškovi po kilometru dužine mogu izraziti kao:

$$a = a_1 + a_2 = a_1 \cdot \left[1 + \frac{k_1}{100} \cdot G(t) \right] \quad (2.4)$$

Varijabilni troškovi izazvani gubicima električne snage i energije prikazani su ovom relacijom:

$$b_1 = \frac{G(t) \cdot (c_s + c_e \cdot T_\Delta) \cdot R_1 \cdot p^2}{U^2 \cos^2 \varphi} = b \cdot P^2 \quad (2.5)$$

gdje su:

b_1 — varijabilni troškovi voda po kilometru dužine [dinara/km];

b — varijabilni troškovi voda po kilometru dužine i kvadratu prenesene snage [din/km · W²];

R — radni otpor voda po metru dužine [Ω/m];

U — nazivni napon voda [V];

P — radna snaga kroz vod [W];

$\cos \varphi$ — faktor snage;

c_s — cijena električne snage [din/kW];

c_e — cijena električne energije [din/kWh];

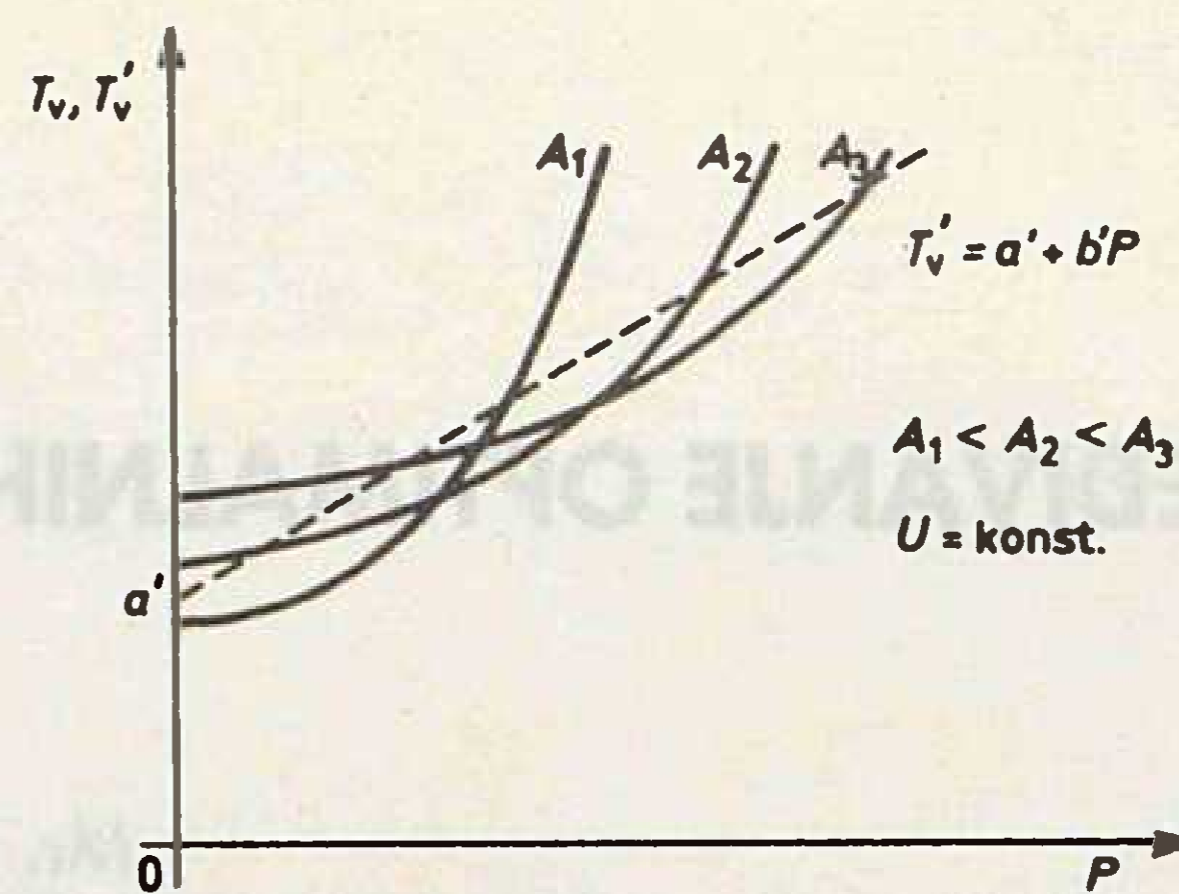
T_Δ — godišnje vrijeme trajanja gubitaka [h].

Ukupni troškovi voda po kilometru dužine iznose:

$$T_v = a + b_1 = a + bP^2 \quad (2.6)$$

Za isti nazivni napon i različite presjeke ova funkcij-ska ovisnost je prikazana na sl. 1. Simbol A na slici označava presjek voda.

Da bi se izbjegla vezanost za određeni presjek vodiča i kvadratna ovisnost o snazi te omogućila primjena linearnog programiranja, potrebno je aproksimirati



Slika 1. Ukupni aktualizirani troškovi voda po kilometru dužine

troškovnu funkciju voda. Jedna takva linearna aproksimacija je prikazana na sl. 1., a novi troškovi glase:

$$T_v = a' + b'P \quad (2.7)$$

2.2. Troškovi transformatorske stanice

Slično kao kod voda, i troškovi transformatorske stanice se stastoje od fiksne i varijabilne komponente. Fiksni troškovi obuhvaćaju investicije, troškove održavanja i troškove gubitaka u željezu transformatora, a varijabilni troškovi su izazvani gubicima u bakru transformatora.

Prema [L. 1] investicijski troškovi su predstavljeni izrazom:

$$c_1 = I_e + I_z + I_m \quad (2.8)$$

gdje su:

c_1 — ukupne investicije za gradnju transformatorske stanice [din];

I_e — troškovi elektroopreme [din];

I_z — troškovi zgrade [din]

I_m — troškovi montaže [din].

Troškovi održavanja se pojavljuju kontinuirano i zato se moraju aktualizirati, a predstavljeni su u postocima troškova elektroopreme:

$$c_2 = \frac{k_2}{100} \cdot I_e \cdot G(t) \quad (2.9)$$

gdje su:

c_2 — aktualizirani troškovi održavanja transformatorske stanice [din];

k_2 — iznos troškova održavanja u postocima troškova elektroopreme [%].

Troškovi gubitaka u željezu su stalni troškovi koji ne ovise o opterećenju, a prisutni su čim je transformator u pogonu. Prikazani su sljedećom relacijom:

$$T_{Fe} = P_{Fe} \cdot (c_s + c_e \cdot 8760) \cdot G(t) \quad (2.10)$$

gdje su:

T_{Fe} — aktualizirani troškovi gubitaka u željezu [din];

P_{Fe} — gubici u željezu transformatora [kW].

Ukupni fiksni troškovi transformatorske stanice glase:

$$c = c_1 + c_2 + T_{Fe} \quad (2.11)$$

Varijabilni troškovi transformatorske stanice uzrokovani su gubicima u bakru transformatora i iznose:

$$T_{Cu} = P_{cun} \cdot \left(\frac{P}{S \cdot \cos \varphi} \right)^2 (c_s + c_e T\Delta) \cdot G(t) = d \cdot P^2 \quad (2.12)$$

gdje su:

- T_{Cu} — aktualizirani troškovi gubitaka u bakru transformatora [din];
- P_{cun} — nazivni gubici u bakru transformatora [kW];
- P — stvarno radno opterećenje transformatora [W];
- S — nazvina snaga transformatora [VA];
- d — varijabilni troškovi transformatorske stanice po kvadratu radnog opterećenja [din/W²].

Ukupni troškovi transformatorske stanice su jednaki:

$$T_t = c + d \cdot P^2 \quad (2.13)$$

Nakon linearne aproksimacije dobiju se troškovi:

$$T'_t = c' + d'P \quad (2.14)$$

Za potrebe određivanja optimalne lokacije transformatorske stanice važno je znati troškove njenog priključka na visokonaponsku mrežu. Zato se definiraju prošireni troškovi transformatorske stanice koji uključuju i troškove priključnog voda dužine l (2.7), a glase:

$$T''_t = T'_v \cdot l + T'_t = (a' \cdot l + c') + (b' \cdot l + d') \cdot P = c'' + d''P \quad (2.15)$$

3. MODEL S VARIJABILNIM TROŠKOVIMA VODOVA

3.1. Matematički opis problema

Razmotrit će se distributivna električna mreža s poznatim iznosima i mjestima opterećenja i definiranim lokacijama i veličinama napojnih transformatorskih stanica. Potencijalne trase vodova koje povezuju napojne i potrošačke točke i mogući presjeci vodiča su zadani.

Vodovi su prikazani samo s varijabilnim troškovima te se problem određivanja optimalne konfiguracije električne mreže može formulirati pretovarnim modelom.

Funkcija cilja glasi:

$$\min \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} b''_{ij} P_{ij} \quad (3.1)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{j \in M} P_{ij} = S_i + R \quad i \in M' \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in M} P_{ij} = D_j + R \quad j \in M' \quad (3.3)$$

$$0 \leq P_{ij} \leq P_{maxij} \quad i, j \in M \quad (3.4)$$

gdje su:

- $M = \{1, \dots, m\}$ — skup svih čvorova mreže;
- $M' = M \setminus \{1\}$ — skup nezavisnih čvorova mreže;

- P_{ij} — tok radne snage od čvora i prema čvoru j , za $i, j \in M$ [W];
- P_{maxij} — maksimalno dozvoljen tok radne snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [W];
- b''_{ij} — linearizirani varijabilni troškovi po jedinici prenesene snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [din/W];
- S_i — snaga napajanja u čvoru i , za $i \in M'$ [W];
- D_j — snaga potrošnje u čvoru j , za $j \in M'$ [W];
- R — konstanta.

Koeficijent b''_{ij} je određen relacijom:

$$b'' = b'_{ij} \cdot l_{ij} \quad (3.5)$$

Treba istaći da veličina b''_{ij} zadovoljava dva posebna uvjeta.

Prvi je $b''_{ii} = 0$ za $\forall i \in M$, tj. trošak zadržavanja suvišne snage u čvoru i je nula za sve i . Varijabla P_{ii} se može interpretirati kao pomoćna varijabla.

Drugi uvjet je: $b''_{ii} = \infty$, ako ne postoji veza između čvora j i čvora i . Međutim, ovakvi beskonačni troškovi nikad ne ulaze kao podatak.

Konstanta R je proizvoljan broj veći nego zbroj snaga svih izvora ili snaga svih potrošača. Veličina R se dodaje zato što pretovarni zahtjev u čvoru nije poznat unaprijed. Na ovaj način se opskrba i potrošnja učine veće u svakom čvoru, a suvišna snaga pretovara iz čvora u isti čvor preko pomoćne varijable P_{ii} .

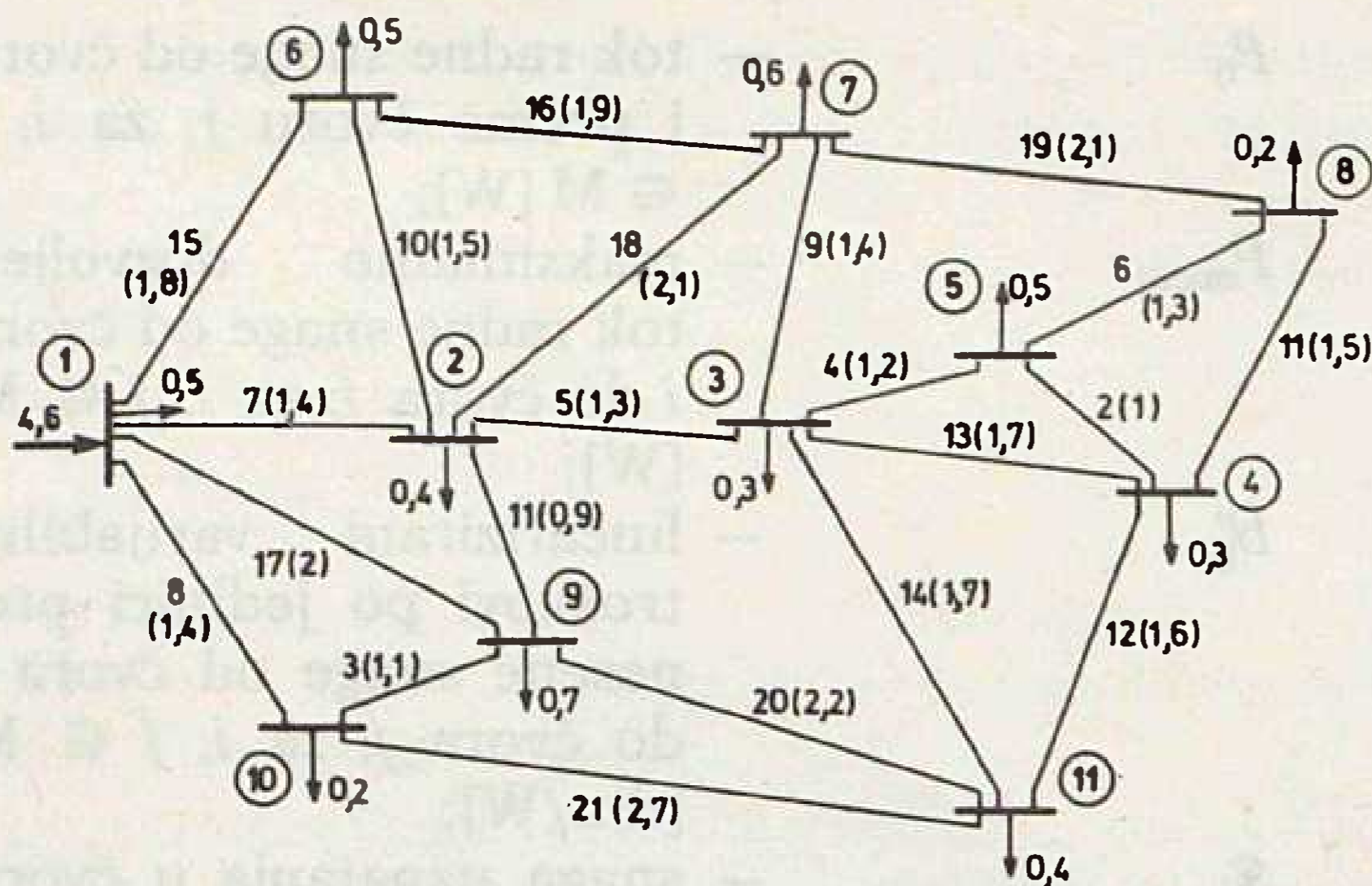
Problem opisan relacijama (3.1), (3.2), (3.3) i (3.4) pripada u klasu zadataka koji se rješavaju tehnikama linearnog programiranja. Pretovarni model pruža mogućnost upotrebe transportnog algoritma koji posjeduje svoju vlastitu verziju simpleks programa. Nedavno razvijeni primalni algoritmi za rješavanje transportnih problema su veoma brzi, oko 100 do 200 puta brži nego Ford-Fulkersonov dualni algoritam.

U ovom radu je korištena standardna verzija simpleks algoritma linearnog programa tako da dobra svojstva pretvarnog modela nisu došla do punog izražaja.

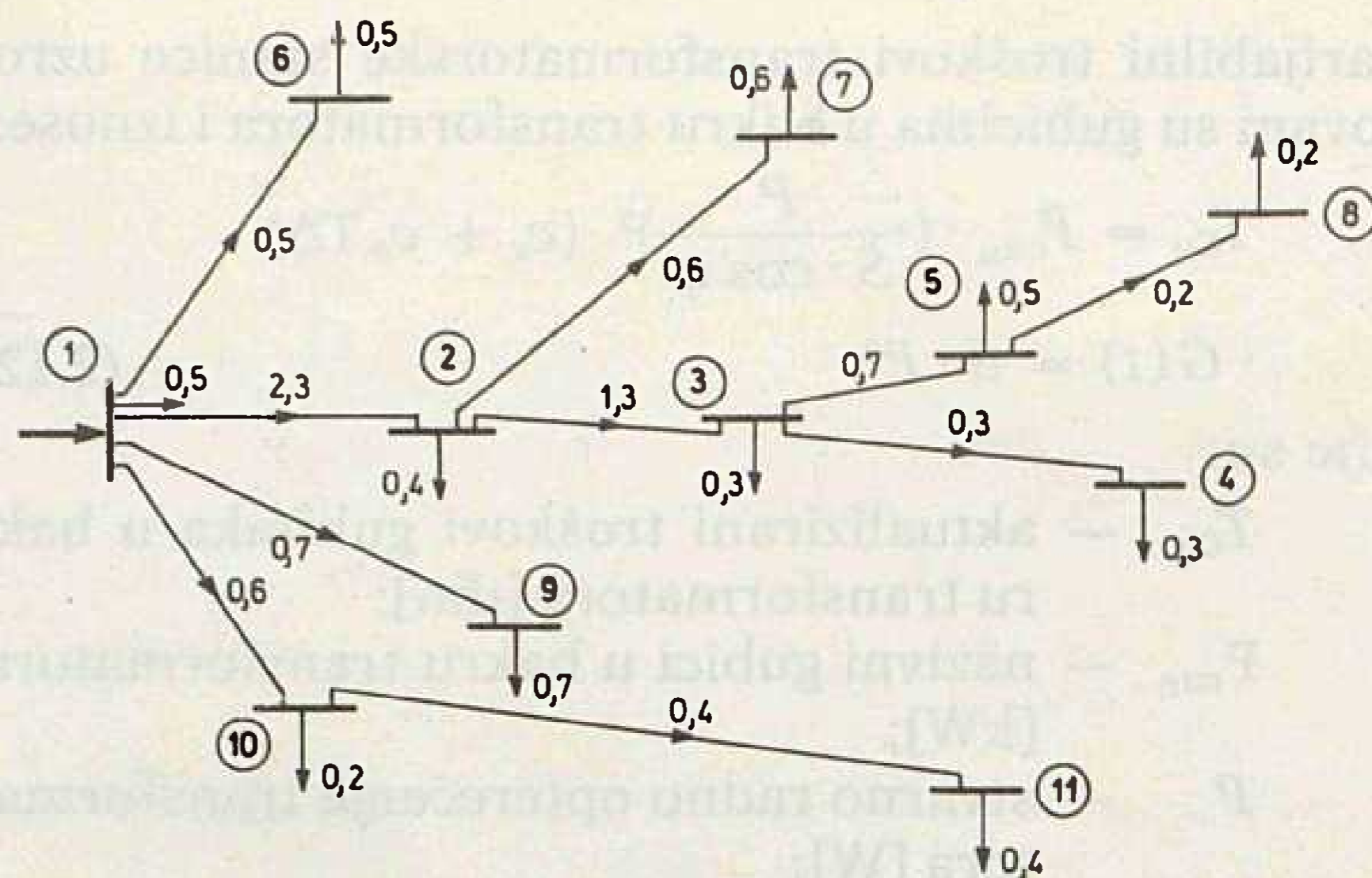
3.2. Primjer 10 kV razdjelne mreže

Zadana je 10 kV razdjelna mreža sa 11 čvorova i 21 potencijalnim vodom. U čvoru 1 nalazi se transformatorska stanica 35/10 kV, i to je napojna točka. Snage u čvorovima i međusobne udaljenosti čvorova su poznate. Raspored napojne i potrošačkih točaka i potencijalnih trasa vodova prikazan je na sl. 2. Cilj je odrediti optimalnu konfiguraciju vodova razdjelne mreže.

Trase su numerirane rastućim redoslijedom indeksa s obzirom na dužinu koja je izražena u kilometrima, a naznačena je u zgradama. Snage u čvorovima su



Sl. 2. Razmatrana 10 kV mreža



Slika 3. Rješenje transportnog problema sa slike 2

dane u [MW]. Mreža je zračna, a na raspolaganju su Al-če vodiči od 35 [mm²], 50 [mm²] i 70 [mm²]. Faktor snage u mreže je konstantan i iznosi $\cos \varphi = 0,9$.

Uz pretpostavku da je vrijeme razmatranja $t = 30$ [god], stopa aktualizacije $p = 10$ [%], godišnje vrijeme trajanja gubitaka $T_{\Delta} = 1017$ [h], iznos troškova održavanja u postocima investicijskih troškova voda $k_1 = 5$ [%], cijene električne energije i snage na pragu distribucije $c_e = 3,55$ [din/kWh] i $c_s = 2030$ [din/kW], te uvažavajući tehničke i ekonomske karakteristike potencijalnih vodova, mogu se izračunati fiksni i varijabilni troškovi voda po jedinici dužine.

Ako se uzme da investicijski troškovi voda za presjeka 35 [mm²], 50 [mm²] i 70 [mm²] iznose $2,75 \cdot 10^6$ [din/km], $2,95 \cdot 10^6$ [din/km] odnosno $3,3 \cdot 10^6$ [din/km], na temelju relacije (2.6) dobije se:

$$T_{v35} = a + b \cdot P^2 = 4,046 + 0,614 \cdot P^2 \quad (3.6)$$

$$T_{v50} = a + b \cdot P^2 = 4,340 + 0,435 \cdot P^2 \quad (3.7)$$

$$T_{v70} = a + b \cdot P^2 = 4,855 + 0,304 \cdot P^2 \quad (3.8)$$

gdje su T_{v35} , T_{v50} i T_{v70} odgovarajući ukupni troškovi u 10^6 [din/km], a P u [MW]. Nakon aproksimacije dobije se na temelju izraza (2.7) sljedeća troškovna karakteristika:

$$T'_v = a' + b'P = 3,92 + 1,36 \cdot P \cdot 10^6 \text{ [din/km]} \quad (3.9)$$

U ovom slučaju zanemareni su fiksni troškovi i računa se samo s lineariziranim varijabilnim troškovima vodova. Rješenjem transportnog problema dobije se optimalna konfiguracija i ona je prikazana na sl. 3, a ukupni linearizirani varijabilni troškovi iznose $V' = 16,32 \cdot 10^6$ [din].

Osim aproksimacije varijabilnih troškova jednim pravcem, upotrebljavaju se i stepeničaste krivulje, djelomično razlomljeni pravci itd. radi postizanja što boljeg prilagođenja.

Kada bi se umjesto jednog pravca koji ima nagib $b' = 1,36 \cdot 10^6$ [din/km · MW], upotrijebila dva pravca s nagibima $b'_1 = 0,75 \cdot 10^6$ [din/km · MW] i $b'_2 = 1,72 \cdot 6$ [din/km · MW], dobila bi se drugačija konfiguracija električne mreže s ukupnim lineariziranim varijabilnim troškovima $V' = 9,684 \cdot 10^6$ [din]. Međutim, zbog upotrebe dvaju pravaca za aproksimaciju, broj kontrolnih varijabli se udvostručio, a i broj ograničenja se povećao. Kakva će se aproksimacija koristiti, ovisi o konkretnom problemu i svrsis-

hodnosti, jer veća točnost povećava dimenzije modela.

Rješenje prikazano na sl. 3 dobiveno je razmatranjem samo varijabilnih troškova vodova, ali ono stvarno sadrži i fiksne troškove pa ukupni aproksimirani troškovi za dobivenu mrežu iznose:

$$TR' = F' + V' = 3,92 \cdot (1,4 + 1,8 + 2 + 1,4 + 1,3 + 2,1 + 1,7 + 1,2 + 1,3 + 2,7) \cdot 10^6 + 16,32 \cdot 10^6 = 82,568 \cdot 10^6 \text{ [din]}$$

gdje je:

F' — udio fiksnih troškova u ukupnim aproksimiranim troškovima mreže [din]

Proizlazi da su fiksni troškovi dominantni i da je ne-realno zanemariti ih. Isto tako, za potrebe određivanja optimalne radialne konfiguracije distributivne mreže, koja je opisana s fiksnim i varijabilnim troškovima vodova, ova činjenica u potpunosti opravdava aproksimaciju varijabilnih troškova vodova jednim pravcem.

4. MODEL S FIKSNIM I VARIJABILNIM TROŠKOVIMA VODOVA

4.1. Matematički opis problema

Problem sa fiksnim i varijabilnim troškovima često se jednostavno naziva samo problemom fiksnih troškova. Radi određivanja optimalne konfiguracije električne mreže može se formulirati kao:

$$\min \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} (a''_{ij} \cdot Y_{ij} + b''_{ij} \cdot P_{ij}) \quad (4.1)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{j \in M} P_{ij} = S_i + R \quad i \in M' \quad (4.2)$$

$$\sum_{i \in M} P_{ij} = D_j + R \quad j \in M' \quad (4.3)$$

$$0 \leq P_{ij} \leq P_{\max ij} \cdot Y_{ij} \quad i, j \in M \quad (4.4)$$

$$Y_{ij} \in [0,1] \quad i, j \in M \quad (4.5)$$

gdje su:

a''_{ij} — aproksimirani fiksni troškovi voda od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [din]

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ako je } P_{ij} > 0 \\ 0, & \text{ako je } P_{ij} = 0 \end{cases} \text{ za } i, j \in M$$

Veličina a'_{ij} određena je izrazom:

$$a_{ij} = a'_{ij} \cdot l_{ij} \quad (4.6)$$

gdje je:

a'_{ij} — aproksimirani fiksni troškovi voda po jedinici dužine od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [din/km].

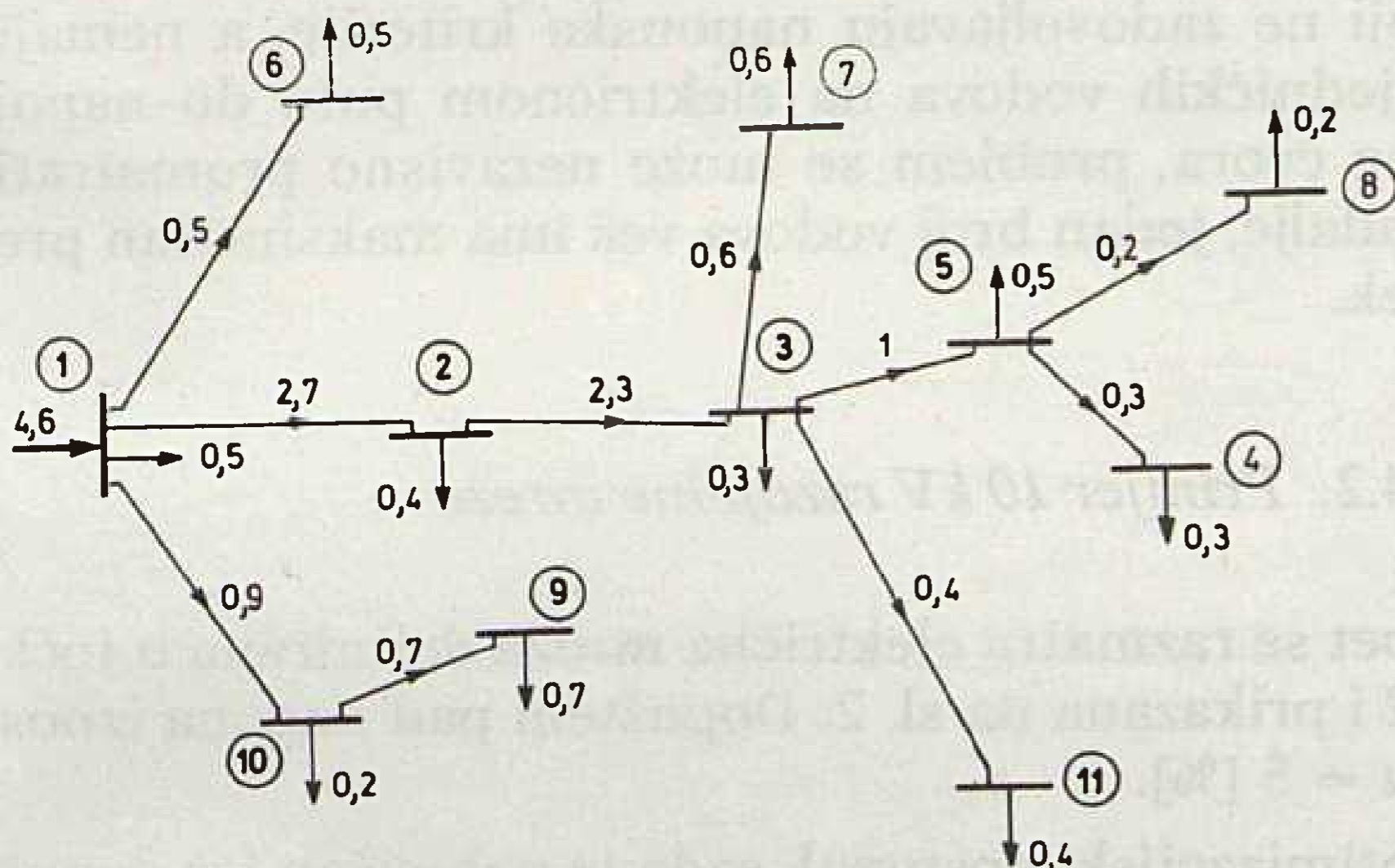
Ostale oznake su iste kao u problemu opisanom relacijama od (3.1) do (3.4).

Uvijek vrijedi da su $a_{ii} = 0$ i $b_{ii} = 0$ za $V_i \in M$, a $a'_{ij} = \infty$ i $b'_{ij} = \infty$ za slučaj da ne postoji veza između čvora j i čvora i .

Problem fiksnih troškova definiran relacijama (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) i (4.5) je riješen primjenom metode grana i granica. Kako se radi o specifičnom problemu, tj. određivanju optimalne konfiguracije radijalne distributivne mreže, korištena je metoda zasnovana na lagoritmu Boda, koji je naročito pogodan za ovu svrhu, a detaljno je opisan u [L. 2, L. 4].

4.2. Primjer 10 kV razdjelne mreže

Razmotrena je električna mreža prikazana na sl. 2. Optimizacijskim postupkom dobiveno je rješenje koje ima ukupne troškove $TR = 65,00711 \cdot 10^6$ [din], a prikazano je na sl. 4. Vodovi 1-2 i 2-3 imaju presjek $70 \text{ [mm}^2\text{]}$, a svi ostali $35 \text{ [mm}^2\text{]}$. U odnosu prema troškovima rješenja prikazanog na sl. 3, koje je postignuto uz zanemarenje fiksnih troškova, ova konfiguracija je jeftinija za $10,50708 \cdot 10^6$ [din] ili $13,9 \text{ [%]}$.



Slika 4. Optimalna konfiguracija po Bod-u

Treba istaknuti da u ovom primjeru ograničenje koje se odnosi na dozvoljene padove napona nije uzeto u obzir.

4.3. Uključivanje ograničenja s obzirom na pad napona u optimizacijski proces

4.3.1. Pad napona

Naponske prilike u električnoj mreži moraju biti unutar zadanih tolerancija, pa se zato kriterij pada napona pojavljuje kao limitirajući faktor, i to posebno u pokrajinskim distributivnim mrežama. Radi određivanja optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža

računanje pada napona između dva čvora u potpunosti zadovoljava ako se prikaže aproksimativnom formulom:

$$|\Delta U| \approx \frac{P}{U} (R + X \operatorname{tg} \varphi) \quad (4.7)$$

gdje su:

$|\Delta U|$ — trofazni (linijski) pad napona [V];

R — radni otpor voda [Ω];

X — jalovi otpor voda [Ω].

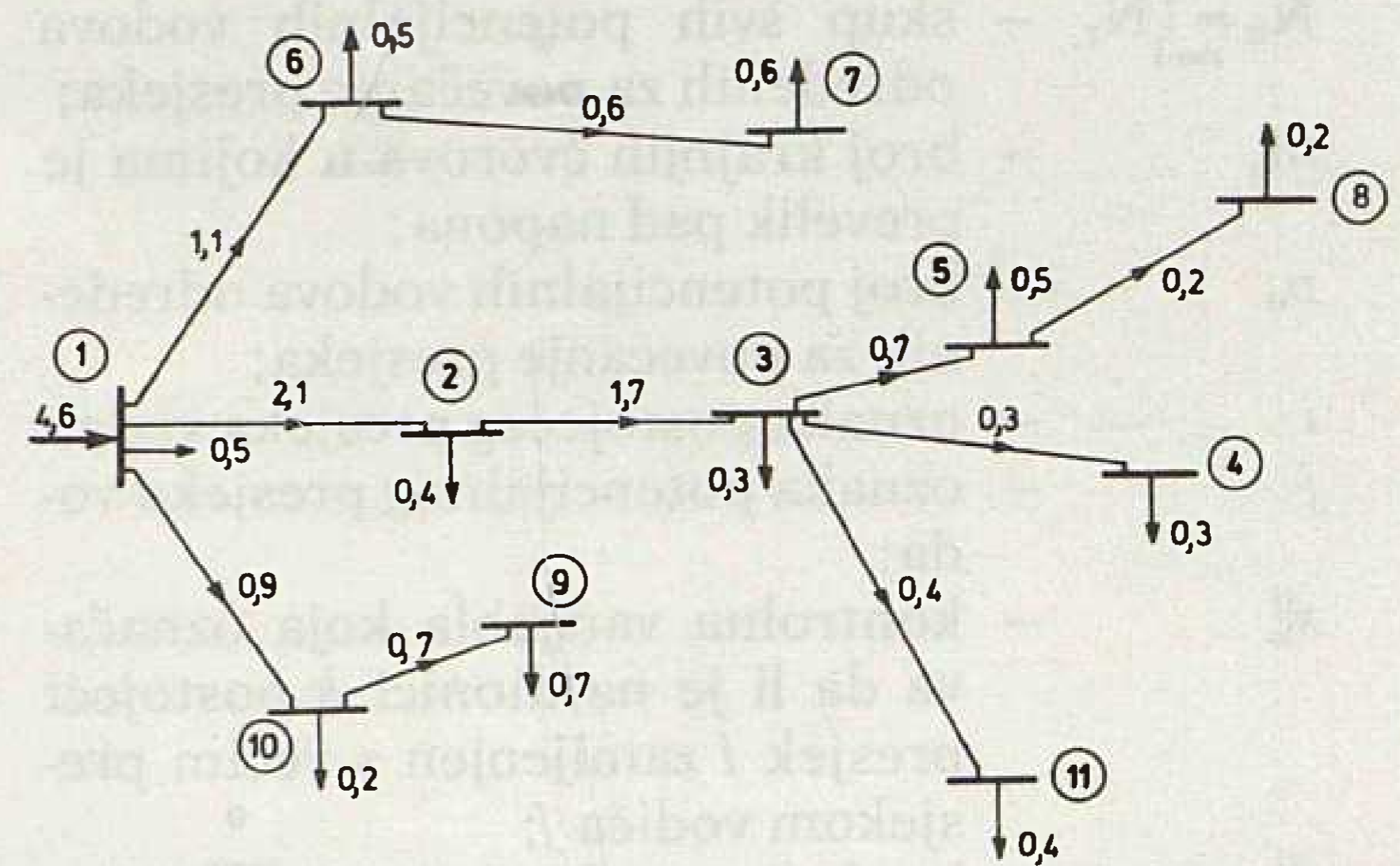
4.3.2. Primjer 10 kV razdjelne mreže

Opet se analizira električna mreža opisana u točki 3.2 i prikazana na sl. 2. Neka dozvoljeni pad napona iznosi $\Delta\mu = 5 \text{ [%]}$.

Rješenje prikazano na sl. 4 ne zadovoljava, jer su u čvorovima 4,5 i 8 padovi napona preveliki i iznose $5,63 \text{ [%]}$, $5,32 \text{ [%]}$ odnosno $5,59 \text{ [%]}$.

Optimalna konfiguracija električne mreže koja zadovoljava padove napona prikazana je na sl. 5 i ima ukupne troškove $TR = 68,35271 \cdot 10^6$ [din].

Vod 1-2 ima presjek $70 \text{ [mm}^2\text{]}$, vod 2-3 presjek $50 \text{ [mm}^2\text{]}$, a svi ostali $35 \text{ [mm}^2\text{]}$.



Slika 5. Optimalna konfiguracija uz uvažavanje padova napona

4.4. Poboljšanje naponskih prilika povećanjem presjeka vodova

4.4.1. Matematički opis problema

Prilikom određivanja optimalnog rješenja razdjelne mreže odbacivala se svaka konfiguracija koja nije zadovoljavala padove napona. Međutim, takav pristup je nepotpun. Za konfiguracije koje su jeftinije od optimalne, a eliminirane su zbog naponskih ograničenja, treba utvrditi da li uz povećane presjeke vodova zadovoljavaju padove napona. Ako zadovoljavaju, treba im pridijeliti odgovarajuće povećane troškove i ravnopravno ih tretirati u optimizacijskom procesu s konfiguracijama koje zadovoljavaju padove napona.

Da li neka konfiguracija uopće može imati padove napona u granicama tolerancije, najlakše je ispitati postavljanjem presjeka vodiča na maksimalne u svim dionicama koje vode od napojnog čvora do čvorova s prevelikim padom napona. Ako konfiguracija

zadovoljava, postavlja se pitanje kojim vodovima treba povećati presjeka i za koliko da ukupni dodatni troškovi budu najmanji.

Problem se može formulirati na sljedeći način:

$$\min DT = \min \sum_{k \in N_u} \sum_{i, j \in N_p} c_k^{ij} x_k^{ij} \quad (4.8)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{k \in N_r} \sum_{\substack{i, j \in N_p \\ i < j}} a_k^{ij} x_k^{ij} \geq b_r \quad r = 1, 2, \dots, m_u \quad (4.9)$$

$$\sum_{\substack{i, j \in N_p \\ i < j}} x_k^{ij} \leq 1 \quad k = 1, 2, \dots, n_u \quad (4.10)$$

$$x_k^{ij} \in \{0, 1\} \quad i < j \quad i, j \in N_p, \quad k \in N_u \quad (4.11)$$

gdje su:

- DT – dodatni troškovi konfiguracije zbog povećanja presjeka vodova [din];
- N_p – skup indeksa raspoloživih presjeka vodova;
- N_r – skup vodova (dionica) koji vode od čvora r s prevelikim padom napona do napojnog čvora;
- $N_u = \bigcap_{r=1}^{m_u} N_r$ – skup svih potencijalnih vodova određenih za povećanje presjeka;
- m_u – broj krajnjih čvorova u kojima je prevelik pad napona;
- n_u – broj potencijalnih vodova određenih za povećanje presjeka;
- i – oznaka postojećeg presjeka voda;
- j – oznaka potencijalnog presjeka voda;
- x_k^{ij} – kontrolna varijabla koja označava da li je na dionici k postojeći presjek i zamijenjen s većim presjekom vodiča j ;
- c_k^{ij} – koeficijent u funkciji cilja koji pokazuje za koliko se povećaju ukupni troškovi na dionici k ako se presjek i zamijeni većim presjekom vodiča j [din];
- a_k^{ij} – koeficijent koji pokazuje koliko se smanji pad napona u vodu (dionici) k kad se presjek i zamijeni većim presjekom j [V];
- b_r – koeficijent koji pokazuje za koliko je pad napona u čvoru r veći od dozvoljenog pada napona [V].

Koeficijent c_k^{ij} određen je izrazom:

$$c_k^{ij} = [a_j - a_i + (b_j - b_i) \cdot P_k^2] \cdot l_k \quad (4.12)$$

gdje su:

- a_i, a_j – fiksni troškovi voda po jedinici dužine, ako je upotrebljen presjek i odnosno j [din/km];
- b_i, b_j – varijabilni troškovi voda po jedinici dužine i kvadratu prenesene snage ako je upotrebljen presjek i odnosno j [din/km · W²];

P_k – snaga kroz vod k [W];

l_k – dužina voda k [km].

Koeficijent a_k^{ij} se definira kao:

$$a_k^{ij} = \frac{P_k \cdot l_k}{U} \cdot [R^i + X^i \operatorname{tg} \varphi - (R^j + X^j \operatorname{tg} \varphi)] \quad (4.13)$$

Koeficijent b_r je jednak:

$$b_r = \Delta U_r - \Delta U_{r\text{doz}} \quad (4.14)$$

gdje su:

ΔU_r – pad napona u čvoru r [V];

$\Delta U_{r\text{doz}}$ – dozvoljeni pad napona u čvoru r [V].

Problem određen relacijama (4.8), (4.9), (4.10) i (4.11) pripada klasi zadataka cjelobrojnog linearnog programiranja.

Na temelju Gomoryjeve metode [L. 3], i to njezine prve verzije, razvijen je program koji rješava probleme ovog tipa. Upotrijebljenom metodom mogu se riješiti problemi ograničenih dimenzija, a od koeficijentata u matrici ograničenja zahtijeva se da budu cjelobrojni. Međutim, navedene restrikcije nemaju praktičnih posljedica u primjeni određivanja optimalnih presjeka, jer je broj kontrolnih varijabli relativno malen, a zaokruživanjem vrijednosti, što nema nikakvog utjecaja na rezultat, lako se postiže cjelobrojnost koeficijentata.

Broj kontrolnih varijabli nije velik zbog toga što je vrlo mala vjerojatnost da u nekoj konfiguraciji koja teži optimumu bude značajan broj čvorova sa prevelikim padom napona. Osim toga, za krajnje čvorove koji ne zadovoljavaju naponske kriterije, a nemaju zajedničkih vodova na električnom putu do napojnog čvora, problem se može nezavisno promatrati. Nadalje, jedan broj vodova već ima maksimalan presjek.

4.4.2. Primjer 10 kV razdjelne mreže

Opet se razmatra električna mreža definirana u točki 3.2 i prikazana na sl. 2. Dopušteni pad napona iznosi $\Delta \mu = 5$ [%].

Optimizacijski postupak sada je poboljšán jer dopušta mogućnost da se razmatraju i one konfiguracije električne mreže koje zadovoljavaju naponska ograničenja tek kad im se presjeci vodova na trasama do čvorova sa prevelikim padovima napona povećaju na maksimalne. Pri tome se troškovi takvih konfiguracija povećavaju za odgovarajuću razliku troškova između maksimalnih presjeka i presjeka koji su optimalni s obzirom na tokove snaga.

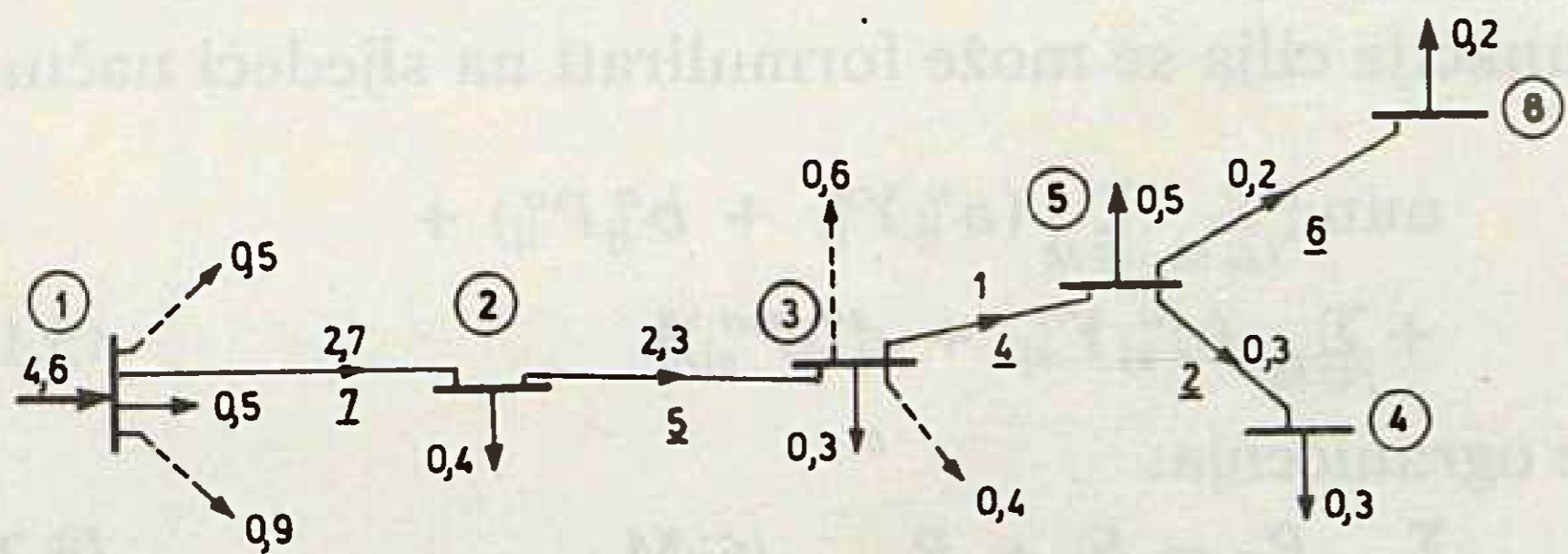
Kao optimalna dobivena je konfiguracija prikazana na sl. 4. Ona je u primjeru 4.3.2. bila izostavljena jer nije zadovoljavala padove napona. Međutim, ako se na kritičnim vodovima presjeci povećaju na maksimalne, onda su padovi napona unutar zadane tolerancije. Ukupni stvarni troškovi iznose $67,42259 \cdot 10^6$ [din].

Odabiranje maksimalnih presjeka vodiča na dionicama koje vode od napojnog čvora do krajnjih čvorova

s prevelikim padovima napona, umjesto optimalnih s obzirom na tokove snaga, prouzrokovalo je dodatne troškove u iznosu $2,41548 \cdot 10^6$ [din]. To su najveći dodatni troškovi, a optimalne treba tek izračunati.

Krajnji čvorovi s nezadovoljavajućim padom napona jesu 4 i 8. Električni put koji vodi od tih čvorova do napojne točke prikazan je izdvojeno na sl. 6.

Vodovi 5 i 7 imaju već maksimalne presjeka i mogu se eliminirati iz razmatranja. Preostali vodovi 2, 4 i 6 ulaze u optimizacijski proces, jer imaju presjeka od 35 [mm²] i mogućnost zamjene s presjecima od 50 [mm²] ili 70 [mm²].



Slika 6. Potencijalni vodovi za povećanje presjeka

Problem se u potpunosti može opisati relacijama (4.8), (4.9), (4.10) i (4.11). Rješenje postavljenog zadatka su optimalna povećanja presjeka promatranih vodova. Novi presjek za sva tri voda, 2, 4 i 6, je 50 [mm²], a dodatni troškovi su $791 \cdot 10^3$ [din]. Minimalni ukupni troškovi optimalne konfiguracije iznose $TR = 65,00711 + 0,791 = 65,79811 \cdot 10^6$ [din]. To rješenje je jeftinije za $2,5546 \cdot 10^6$ [din] ili 3,7 [%] od rješenja prikazanog na sl. 5.

4.5. Modeliranje postojeće mreže, rekonstrukcije i demontaže vodova

4.5.1. Način modeliranja

Važno je, u okviru karakteristika i namjene metode, što realnije opisati zadani problem. Zato je značajan doprinos ako se u optimizacijski proces uključi mogućnost modeliranja postojeće mreže, rekonstrukcije i demontaže vodova te, zbog različitih trasa, drugačijih fiksnih troškova po jedinici dužine.

Objektivno je pretpostaviti da troškovi polaganja kabela ili izgradnje dalekovoda nisu isti za sve trase. Da bi se obuhvatile ove specifičnosti, svakoj dionici je pridijeljen odgovarajući težinski faktor kojim se korrigiraju fiksni troškovi s obzirom na odstupanja u odnosu na neku prosječnu trasu.

Prilikom optimiranja treba uzeti u obzir već izgrađene vodove. Takve dionice su opisane sa stvarnim presjecima i fiksnim troškovima koji sadržavaju samo troškove održavanja. Eliminiranje komponente troškova izgradnje voda iz fiksnih troškova postiže se upotrebom težinskih faktora trase.

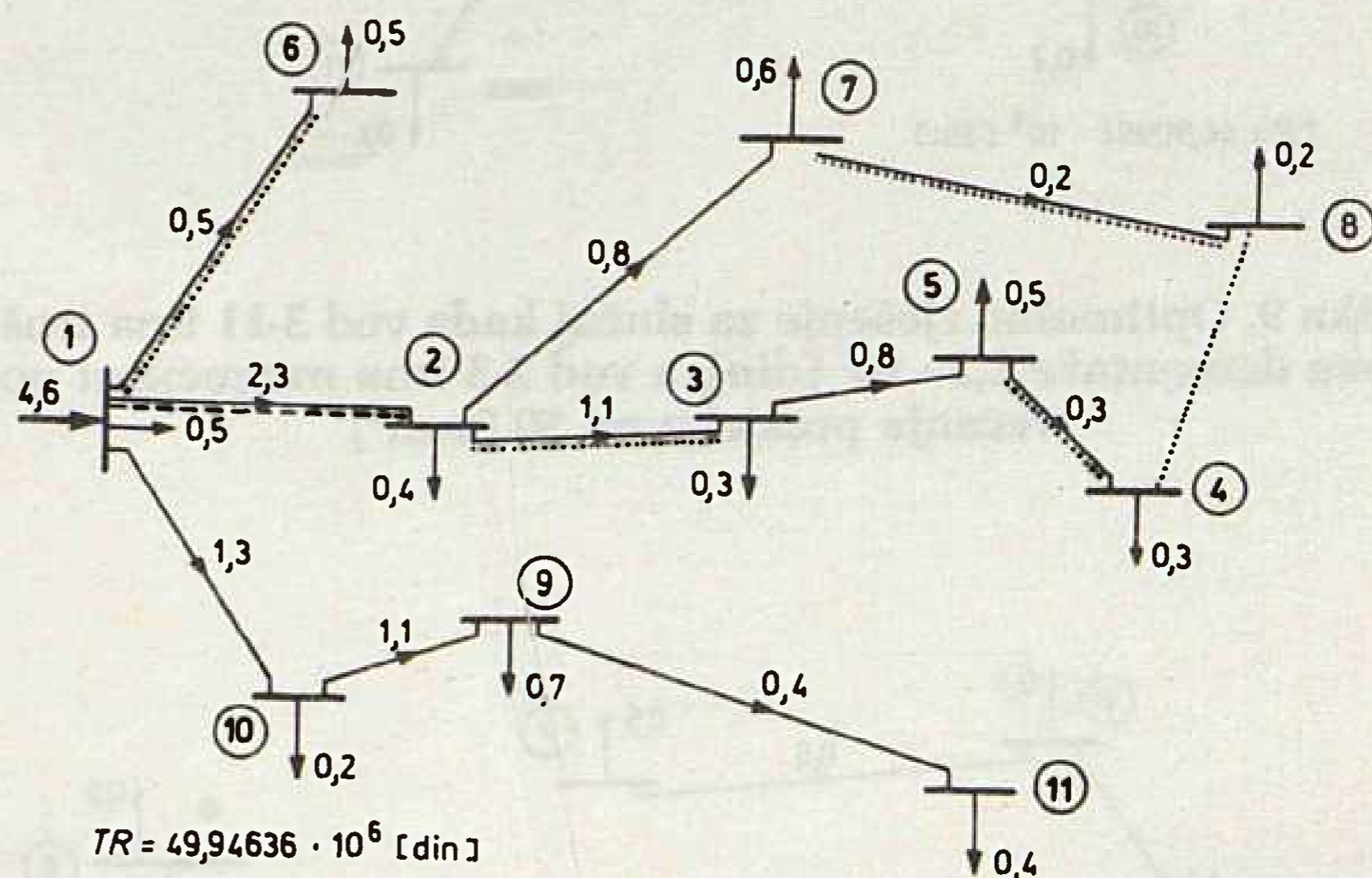
Problem rekonstrukcije nekog voda simulira se korištenjem dvaju fiktivnih paralelnih vodova na istoj trasi. Jedan predstavlja postojeći vod s pridruženim tehničkim i troškovnim karakteristikama, a drugi rekonstruirani.

Neka rješenja dobivena u toku optimizacijskog procesa ne moraju sadržavati već izgrađene električne vodove. Ukupnim troškovima takvih rješenja treba dodati i troškove demontaže postojećih, ali neobuhvaćenih vodova. Međutim, demontaža vodova se može iskazati kao prihod ako je vrijednost demontirane opreme i materijala veća od samog korištenja demontaže. U ovom slučaju bitno je da se troškovima svakog rješenja koje ne uključuje postojeće vodove mogu dodati financijski efekti njihove demontaže, a kakvi će biti, ovisi o konkretnim prilikama.

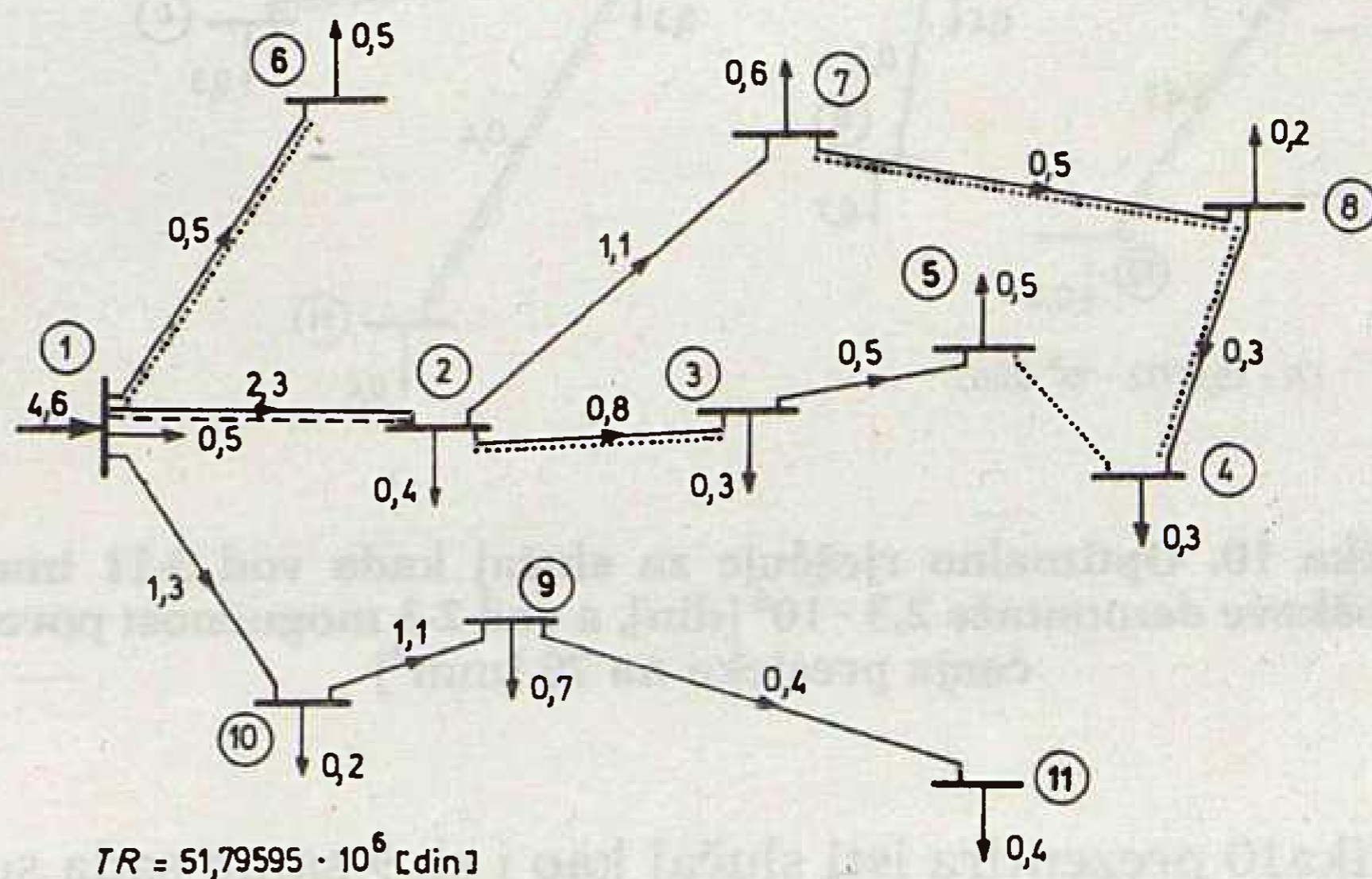
4.5.2. Primjer 10 kV razdjelne mreže

Za električnu mrežu prikazanu na sl. 2 i opisanu u točki 3.2 razmotrit će se, radi ilustracije, od vrlo velikog broja samo mali dio kombinacija koje se mogu javiti pri izboru optimalne konfiguracije. Ovi slučajevi prezentirani su slikama od 7 do 10. Dozvoljeni pad napona je $\Delta\mu = 5$ [%]. Ako postoje već izgrađeni vodovi, onda su označeni:

-----	70 [mm ²]
-.-.-.-.-	50 [mm ²]
.....	35 [mm ²]



Slika 7. Optimalno rješenje za slučaj kada su vodovi 1-2, 1-6, 2-3, 4-5, 4-8 i 7-8 već izgrađeni

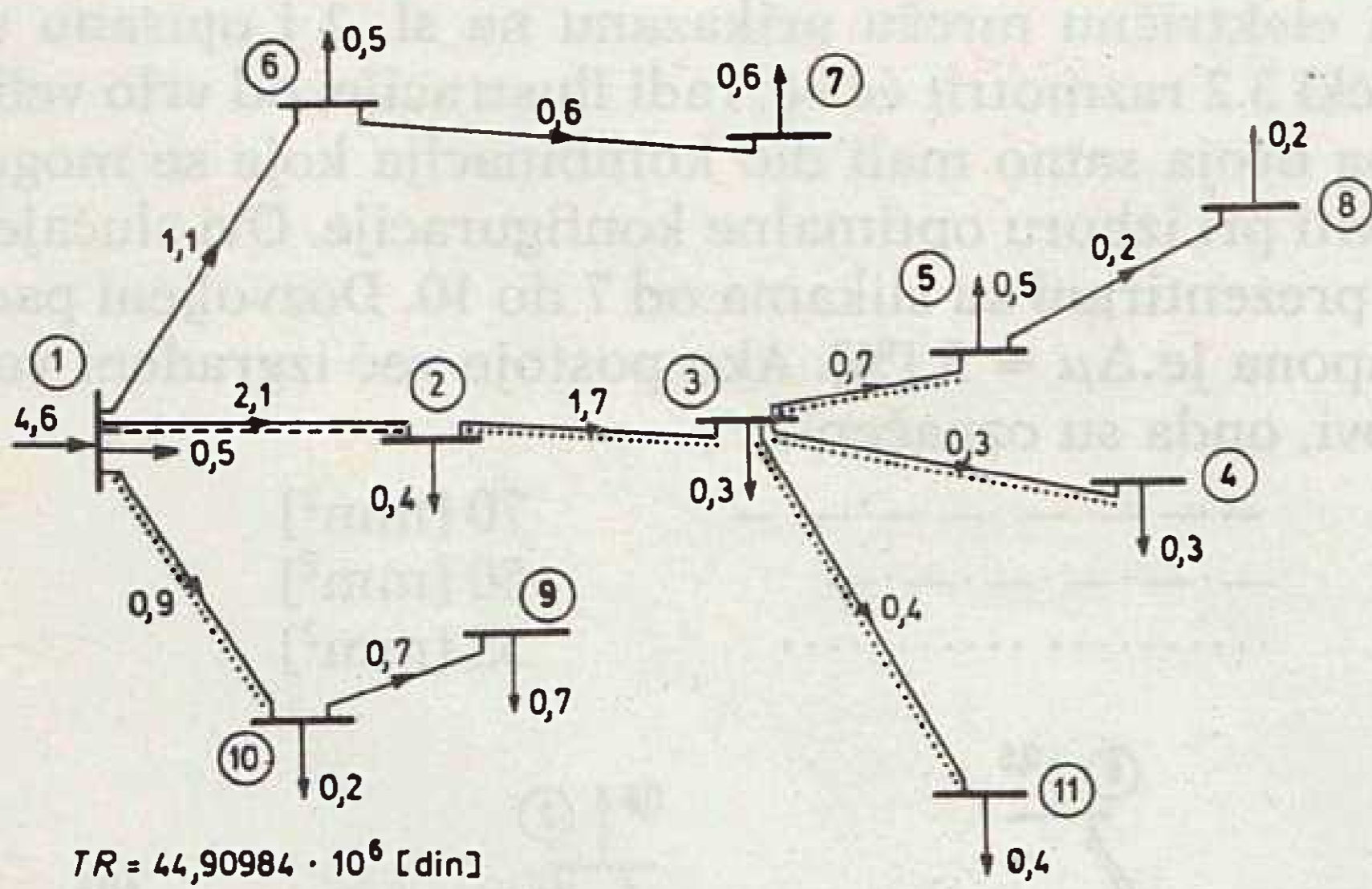


Slika 8. Optimalno rješenje za slučaj kada vod 4-8 ima troškove demontaže $2,5 \cdot 10^6$ [din]

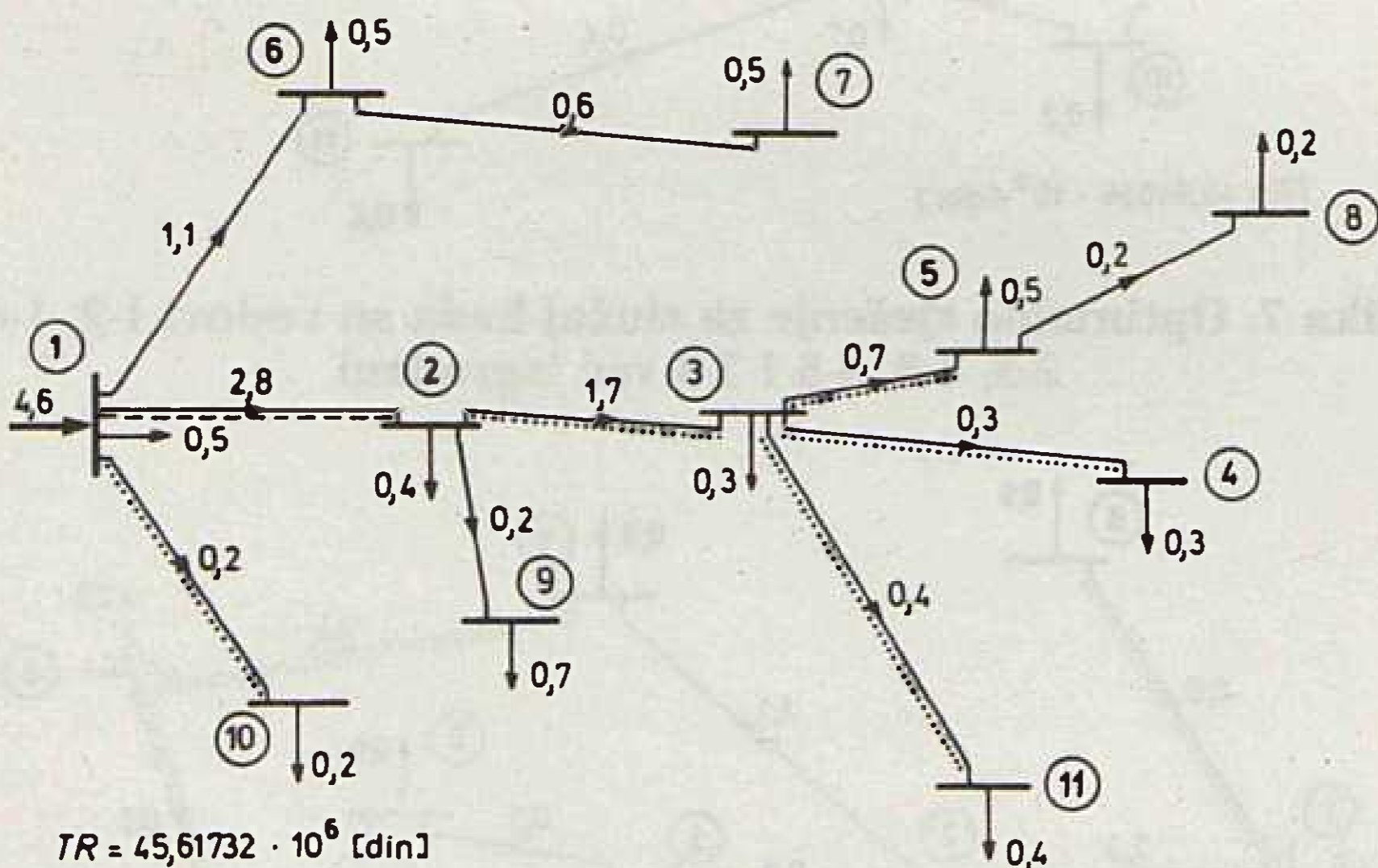
Na sl. 7. optimalno rješenje nije obuhvatilo vod 4-8, iako je on već izgrađen. Ako se ovom vodu pridijele troškovi demontaže od $2,5 \cdot 10^6$ [din], onda će ga sadržavati optimalna konfiguracija. Ta situacija je

prikazana na sl. 8. Sada je vod 4-5 ispušten iz rješenja. Kad bi se vodu 4-5 pridružili troškovi demontaže od $1,3 \cdot 10^6$ [din], ponovo bi bio obuhvaćen optimalnim rješenjem. Vod 4-8 bio bi eliminiran, a troškovi bi iznosili $TR = 52,44636 \cdot 10^6$ [din].

Slika 9 prikazuje optimalno rješenje postignuto, uz ostale zadane zahtjeve, razmatranjem mogućnosti da se vod 2-3 rekonstruira i pri tome mu se presjek od $35 \text{ [mm}^2\text{]}$ zamijeni presjekom od $50 \text{ [mm}^2\text{]}$. Iako rekonstrukcija iziskuje odgovarajuće dodatne troškove, optimizacijskim postupkom dobivena je konfiguracija električne mreže koja uključuje rekonstruirani vod 2-3.



Slika 9. Optimalno rješenje za slučaj kada vod 3-11 ima troškove demontaže $2,3 \cdot 10^6$ [din], a vod 2-3 ima mogućnost povećanja presjeka na $50 \text{ [mm}^2\text{]}$



Slika 10. Optimalno rješenje za slučaj kada vod 3-11 ima troškove demontaže $2,3 \cdot 10^6$ [din], a vod 2-3 mogućnost povećanja presjeka na $70 \text{ [mm}^2\text{]}$

Slika 10 prezentira isti slučaj kao i sl. 9 samo sada se analizira mogućnost rekonstrukcije voda 2-3 na presjek od $70 \text{ [mm}^2\text{]}$. Optimalna konfiguracija opet uključuje rekonstrukciju. Rješenje dobiveno zamjenom postojećeg presjeka od $35 \text{ [mm}^2\text{]}$ presjekom od $70 \text{ [mm}^2\text{]}$ lošije je nego u slučaju zamjene presjekom od $50 \text{ [mm}^2\text{]}$, ali još uvijek bolje nego da nije izvršena rekonstrukcija.

5. ODREĐIVANJE OPTIMALNIH LOKACIJA NAPOJNIH TRANSFORMATORSKIH STANICA

5.1. Matematički opis problema

Ovisno o izboru nazivnih snaga i lokacija napojnih transformatorskih stanica dobivaju se različite optimalne konfiguracije razmatrane električne mreže. Zbog toga problem određivanja lokacija napojnih transformatorskih stanica i konfiguracije pripadne distributivne mreže treba tretirati jedinstvenim optimizacijskim postupkom koji definira ukupni minimum troškova.

Funkcija cilja se može formulirati na sljedeći način:

$$\min [\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} (a''_{ij} Y''_{ij} + b''_{ij} P''_{ij}) + \sum_{j \in M} (c''_{sj} Y''_{sj} + d''_{sj} P''_{sj})] \quad (5.1)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{j \in M} P_{ij} = S_i + R \quad i \in M \quad (5.2)$$

$$\sum_{i \in M} P_{ij} = D_j + R \quad j \in M \quad (5.3)$$

$$\sum_{j \in M} P_{sj} = S_s + R \quad (5.4)$$

$$0 \leq P_{ij} \leq \max_{ij} \cdot Y_{ij} \quad i, j \in M \quad (5.5)$$

$$0 \leq P_{sj} \leq P_{\max sj} \cdot Y_{sj} \quad j \in M \quad (5.6)$$

$$Y_{ij} \in [0, 1] \quad i, j \in M \quad (5.7)$$

$$Y_{sj} \in [0, 1] \quad j \in M \quad (5.8)$$

gdje su:

- s — fiktivni čvor kojem je pridijeljena snaga napajanja jednaka ukupnom opterećenju mreže;
- P_{sj} — snaga napajanja transformatorske stanice instalirane u j -tom čvoru električne mreže odnosno tok snage od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [W];
- $P_{\max sj}$ — maksimalna snaga koju može dati trafostanica instalirana u čvoru j električne mreže odnosno najveći dozvoljeni tok snage od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [W];
- c''_{sj} — prošireni prosječni fiksni troškovi transformatorske stanice instalirane u čvoru j , za $j \in M$ [din];
- d''_{sj} — prošireni linearizirani varijabilni troškovi po jedinici opterećenja transformatorske stanice instalirane u čvoru j električne mreže odnosno varijabilni troškovi pridruženi toku snage kroz granu od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [din/W]

$$Y_{sj} = \begin{cases} 1 & , \text{ ako je } P_{sj} > 0 \\ 0 & , \text{ ako je } P_{sj} = 0 \end{cases} \quad \text{za } j \in M$$

Ostale oznake su iste kao u modelu opisanom relacijama (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) i (4.5), s obzirom na koji je

uveden dodatni fiktivni čvor s. Atributi pridruženi granama koje vode od čvora s do bilo kojeg čvora električne mreže predstavljaju karakteristike transformatorskih stanica instaliranih u tim čvorovima. Problem je riješen metodom grana i granica.

5.2. Primjer 10 kV razdjelne mreže

Razmatrana je 10 kV distributivna mreža opisana u točki 3.2. Napojne transformatorske stanice 35/10 kV mogu imati nazivne snage 1,6 [MVA], 2,5 [MVA], 4 [MVA] i 2x2,5 [MVA], a povezane su na 35 kV mrežu Al-če vodom od 95 [mm²]. Osnovni podaci o transformatorskim stanicama dani su u tabl. 1.

Tablica 1. Podaci o transformatorskim stanicama

TS 35/10 kV [MVA]	I_e 10 ⁶ [din]	c_e 10 ⁶ [din]	P_{Fe} [kW]	P_{Cun} [kW]
1.6	65	162,5	2,7	17,5
2.5	70	175	3,8	24
4	75	187,5	5,5	33
2x2,5	76	190	—	—

Uz uvjete navedene u točki 3.2 te iznos troškova održavanja transformatorske stanice u postocima ugrađene elektroopreme $k_2 = 5$ [%] dobiju se, na temelju izraza (2.13), sljedeće relacije:

$$T_{1,6} = c + dP^2 = 194,0 + 0,450 \cdot P^2 \quad (5.9)$$

$$T_{2,5} = c + dP^2 = 209,2 + 0,250 \cdot P^2 \quad (5.10)$$

$$T_{1,4} = c + dP^2 = 224,6 + 0,135 \cdot P^2 \quad (5.11)$$

$$T_{1,5} = c + dP^2 = 228,2 + 0,125 \cdot P^2 \quad (5.12)$$

gdje je P u [MW], a troškovi u 10⁶ [din].

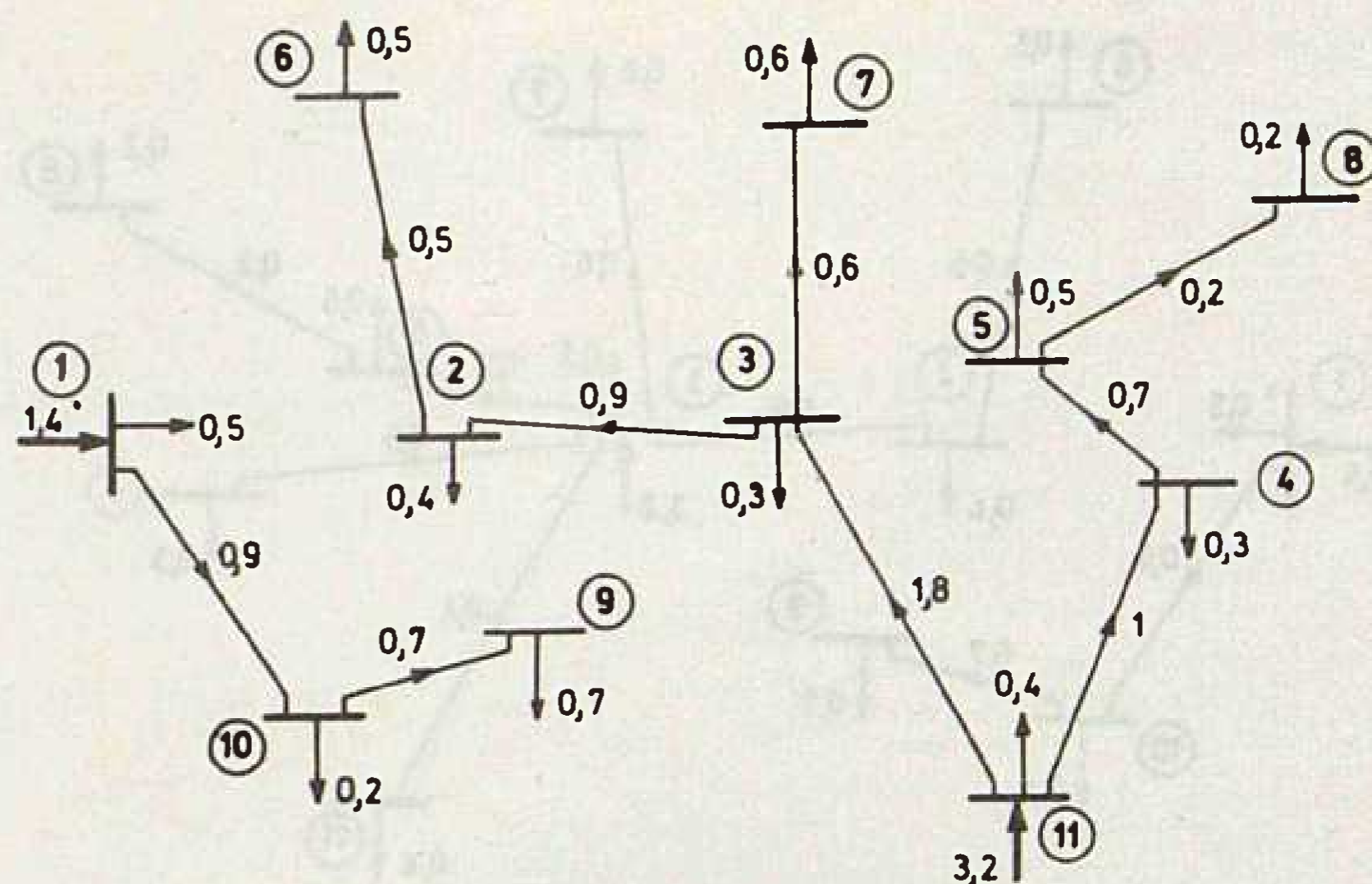
Troškovna karakteristika 35 kV Al-če voda presjeka 95 [mm²] je određena izrazom:

$$T_{v95} = a + bP^2 = 12,14 + 0,0184 \cdot P^2 \quad (5.13)$$

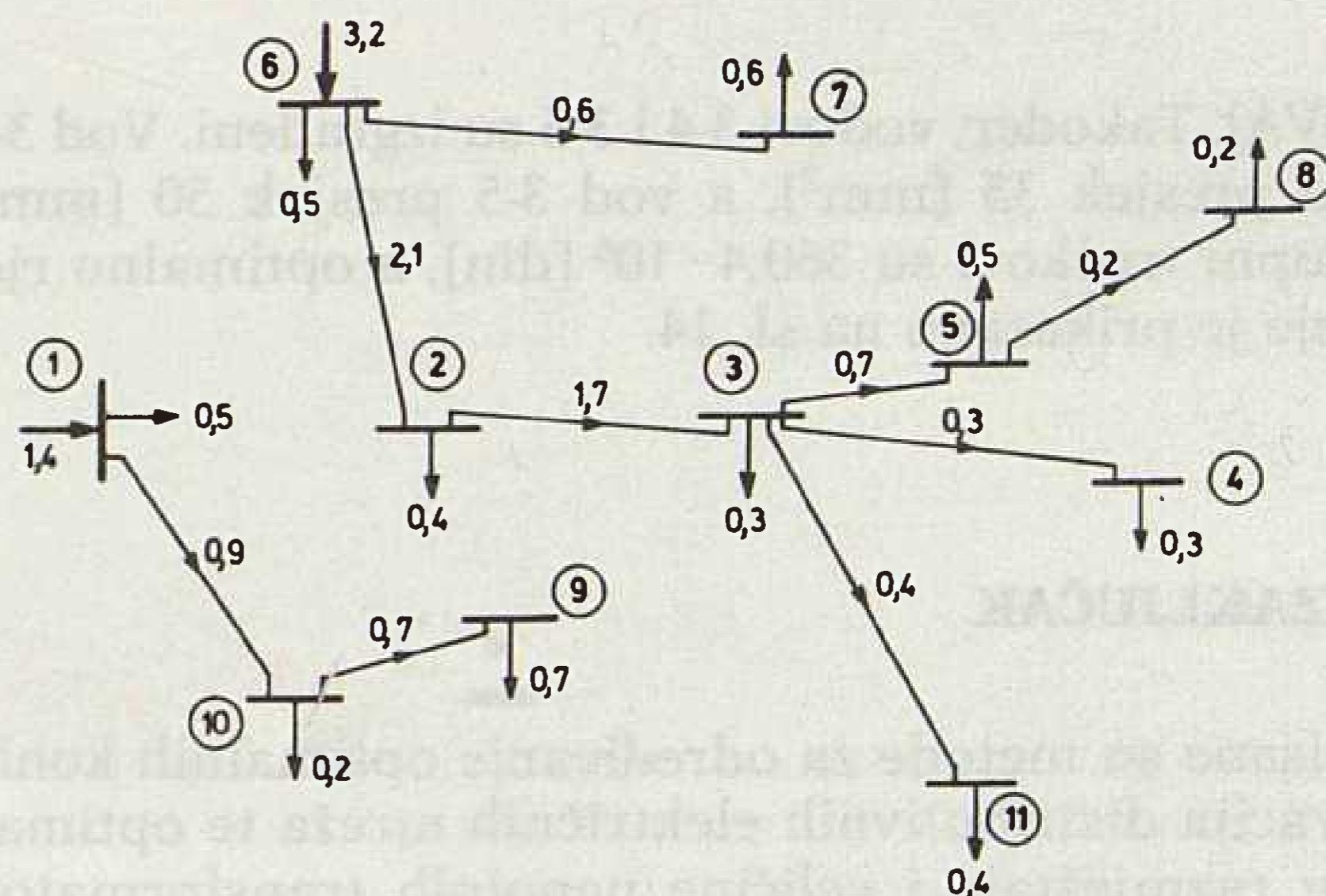
gdje su troškovi u 10⁶ [din], a P u [MW].

Radi ilustracije prezentirat će se četiri slučaja. U prvom primjeru potencijalne lokacije napojnih transformatorskih stanica su čvorovi 1, 5, 6 i 11. Transformatorska stanica nazivne snage 1,6 [MVA] gradila bi se u čvoru 1, snage 2,5 [MVA] u čvoru 5, snage 4 [MVA] u čvoru 11 i snage 5 [MVA] u čvoru 6. Neka je dužina priključnog voda jednaka za sve potencijalne lokacije i iznosi 5 [km]. Pripadna 10 kV mreža nema postojećih vodova. Optimizacijskim postupkom odabrane su napojne transformatorske stanice u čvorovima 1 i 11, ukupni troškovi iznose 599,6 · 10⁶ [din], a dobiveno rješenje je prikazano na sl. 11.

U drugom primjeru dužina priključnog voda do napojne transformatorske stanice u čvoru 11 iznosi 10 [km], a ostali uvjeti su kao u prvom slučaju. Optimalno rješenje je prikazano na sl. 12 a ukupni troškovi su 607,2 · 10⁶ [din].



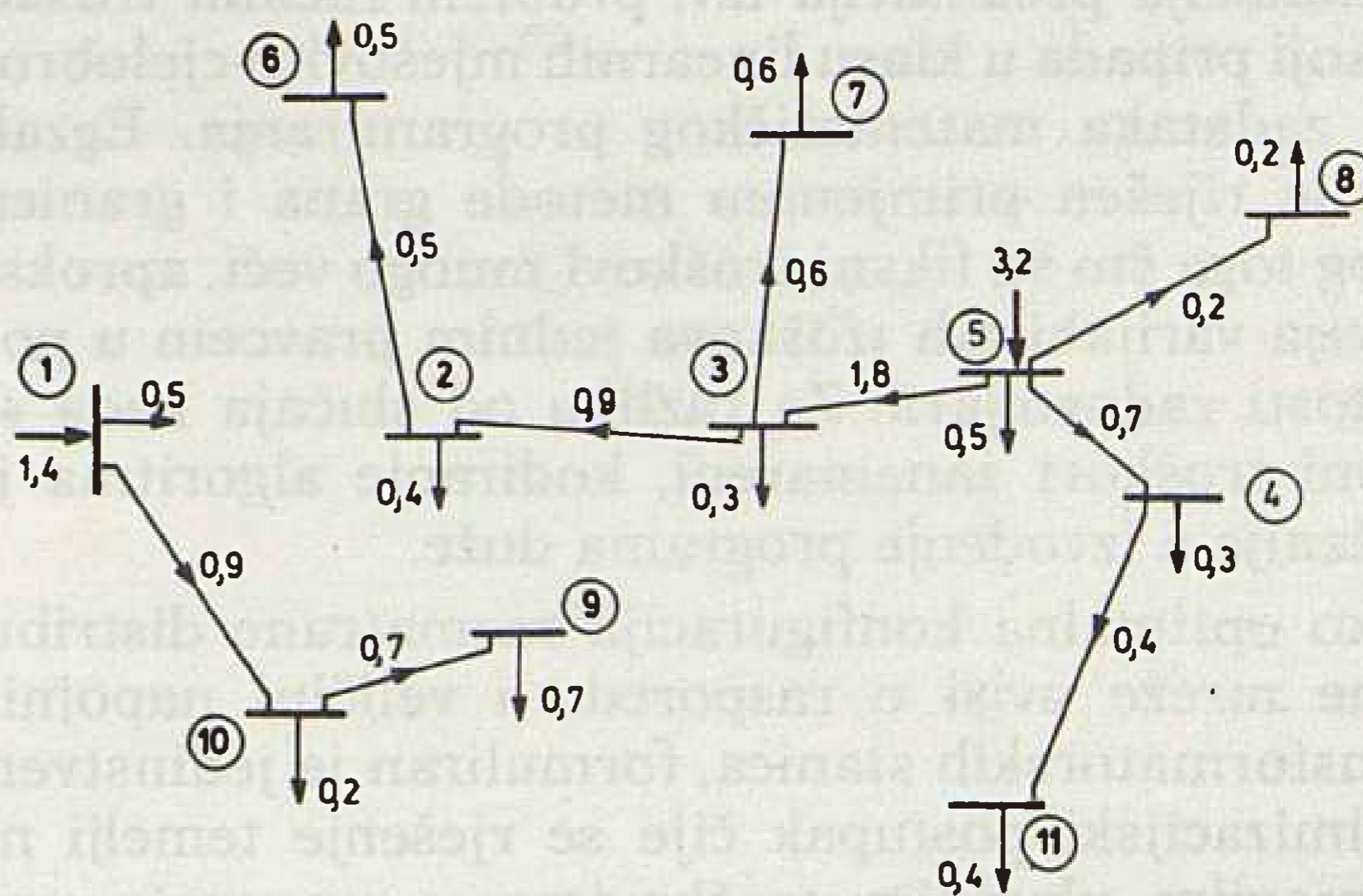
Slika 11. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11



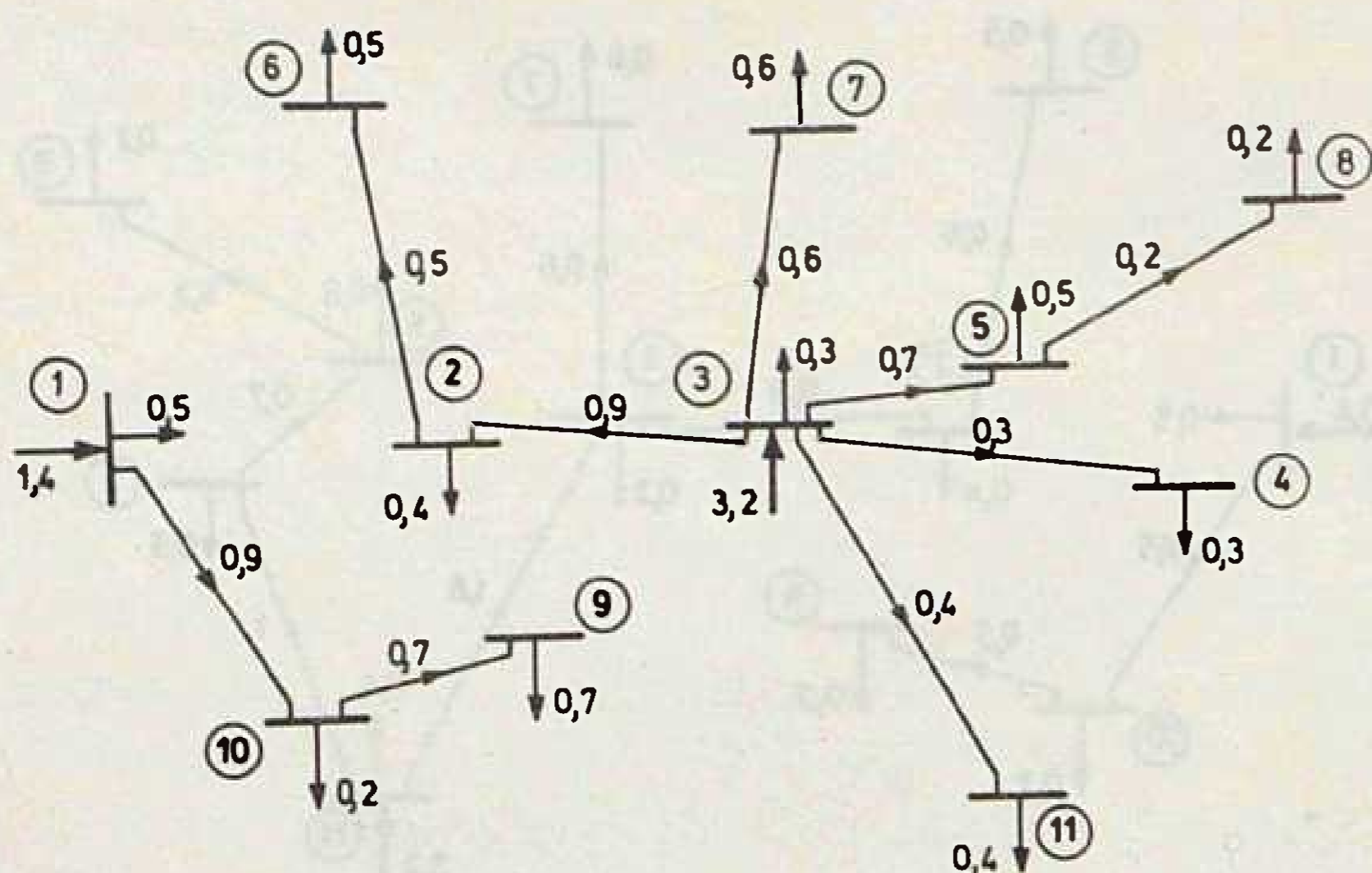
Slika 12. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11. Priključni vod do lokacije u čvoru 11 je dug 10 [km].

Treći slučaj je isti kao i prvi, samo što je pružena mogućnost da se u čvoru 5 instalira napojna transformatorska stanica nazivne snage 2,5 [MVA] ili 4 [MVA]. Ukupni troškovi iznose 595,9 · 10⁶ [din], a rješenje je prikazano na sl. 13. Odabrane su transformatorska stanica u čvoru 1 i transformatorska stanica od 4 [MVA] u čvoru 5.

Četvrti primjer predstavlja varijantu koja je opet proširenje prvog slučaja. Novo je što je u čvoru 3 već instalirana transformatorska stanica nazivne snage 4



Slika 13. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5 (2,5 ili 4 MVA), 6 i 11



Slika 14. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11. Vodovi 3-4 i 3-5 te trafostanica u čvoru 3 već su izgrađeni.

[MVA]. Također, vodovi 3-4 i 3-5 su izgrađeni. Vod 3-4 ima presjek 35 [mm²], a vod 3-5 presjek 50 [mm²]. Ukupni troškovi su 360,4 · 10⁶ [din], a optimalno rješenje je prikazano na sl. 14.

6. ZAKLJUČAK

Opisane su metode za određivanje optimalnih konfiguracija distributivnih električnih mreža te optimalnog razmještaja i veličine napojnih transformatorskih stanica. Prezentirani su odgovarajući modeli voda i transformatorske stanice koji omogućuju formuliranje optimizacijskog problema na način da se može riješiti primjenom tehnika matematičkog programiranja.

Model za optimiranje konfiguracija razdjelnih električnih mreža u kojem su potencijalni vodovi opisani samo varijabilnim troškovima predstavlja linearni optimizacijski problem i jednostavno se rješava. Međutim, ne uključuje fiksne troškove pa je nepotpun, to više što se radi o, u našim prilikama, troškovima značajnijim od varijabilnih.

Model za određivanje optimalnih konfiguracija distributivnih mreža koji uključuje fiksne i varijabilne troškove vodova u cijelosti opisuje problem. Ovakva formulacija predstavlja tzv. problem fiksnih troškova koji pripada u klasu linearnih mješovito-cjelobrojnih zadataka matematičkog programiranja. Egzaktno je riješen primjenom metode grana i granica. Zbog toga što su fiksni troškovi mnogo veći, aproksimacija varijabilnih troškova jednim pravcem u potpunosti zadovoljava. Za razliku od slučaja kada su fiksni troškovi zanemareni, kodiranje algoritma je složenije a izvođenje programa duže.

Kako optimalna konfiguracija razmatrane distributivne mreže ovisi o rasporedu i veličini napojnih transformatorskih stanica, formuliran je jedinstveni optimizacijski postupak čije se rješenje temelji na najmanjim ukupnim troškovima, a uz uvažavanje tehničkih uvjeta. Modelom je definiran problem fiksnih troškova koji je riješen metodom grana i granica.

Optimiranjem se određuju lokacije i veličine napojnih transformatorskih stanica, trase i presjeci vodova, tokovi snaga kroz mrežu, padovi napona te pripadni ukupni troškovi rješenja. Postojeća mreža, različitost trasa, mogućnost rekonstrukcije i demontaže vodova i transformatorskih stanica ukomponirani su u optimizacijski proces.

Opisani modeli su statički, ali mogu poslužiti kao osnova za realizaciju pseudodinamičkog pristupa kojim se može obuhvatiti vremenska komponenta.

LITERATURA

- [1] ČUPIN N.: »Optimalna koncepcija distributivnih trafostanica«, JUKO CIGRÁ, Ref. 39.07, Beograd, april 1981.
- [2] GLAMOČANIN V.: »Metode za određivanje optimalnih konfiguracija elektroenergetske mreže«, Magistarski rad, ETF Zagreb, Zagreb, 1980.
- [3] MARTIĆ Lj.: »Matematičke metode za ekonomske analize«, II svezak, Narodne novine, Zagreb, 1979.
- [4] RAJIĆ Ž.: »Određivanje optimalnih konfiguracija elektroenergetskih razdjelnih mreža i razmještaja napojnih transformatorskih stanica«, Magistarski rad, ETF Zagreb, Zagreb, 1986.

DETERMINATION OF DISTRIBUTION NET OPTIMAL CONFIGURATION

In the article is presented a method for determination of optimal electric power distribution net configuration and distribution of supply transformer stations based on computer programming. On the base of distribution and power consumption as well locations, nominal power costs of transformer stations, possible ways of supply lines with technical and investment characteristics, it is determined optimal configuration of distribution net. In optimisation are taken as constraints: existing net, transmitting capabilities of lines, tolerated voltage losses and radial solution.

BESTIMMUNG DER OPTIMALEN KONFIGURATIONEN DER VERTEILERNETZE

In der Arbeit werden Methoden für die Bestimmung der optimalen Konfigurationen der elektromagnetischen Verteilernetze und die Aufteilung der Lade — Transformatorstationen die auf der Anwendung der Techniken des mathematischen Programmierens gegründet wurden, beschrieben. Aufgrund der bekannten Aufteilung und der Höhe des verbrauchten Stromes, der möglichen Lokation, der Nennkräfte und der Kosten der Transformatorstationen der potentiellen Trassen der Lade — Leitungen sowie ihrer technischen und Kosten — Charakteristiken wurde die billigste Konfiguration des Distributionsnetzes bestimmt. Das schon ausgebaute Netz, die Übertragungsmöglichkeiten der Leitungen, erlaubter Stromabfall sowie radiale Lösungen sind als Begrenzungen in den Optimierungsprozess miteingeschlossen.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В работе показаны методы определения оптимальных конфигураций электрических распределительных сетей и расположения питающих трансформаторных подстанций, основанный на применении техники математического программирования. На основании известного расположения и величины электропотребления, возможного местоположения, номинальных мощностей и потребления трансформаторных подстанций, а также потенциальных трасс линий питания и их технических и потребительских характеристик определена самая дешевая конфигурация распределительной сети. Существующая сеть, возможности передачи линий, допустимые падения напряжения и радиальность решения включены, как ограничения, в процесс оптимизации.

Naslov pisca:

mr Željko Rajić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
Proleterskih brigada 37
41000 Zagreb

Uredništvo primilo rukopis
1986-11-25

ZONA ŠTIĆENJA OKO PRIVREMENIH UZEMLJIVAČA

Egon Mileusnić, Zagreb

UDK 621.316.91

STRUČNI RAD

U ovom radu objašnjava se stvaranje potencijala prema zemlji na uzemljenim vodičima zbog prolaza struje kratkog spoja kroz te vodiče ili zbog elektromagnetske indukcije. Utvrđuje se što je zona štíćenja oko privremenog uzemljivača i prikazuje se način proračuna dužine zone uzemljivača, kao i broj potrebnih uzemljivača.

Ključne riječi: Naprave za privremeno uzemljivanje i kratko spajanje, napon dodira, zona štíćenja oko privremenih uzemljivača

UVOD

Za sigurno izvođenje bilo kakvih radova u beznaponskom stanju na opremi visokonaponskih postrojenja nužno je osigurati mjesto rada.

Osiguranje mjesta rada izvodi se primjenom »pet zlatnih pravila«, a to su:

- isključenje — vidljiv prekid
- sprečavanje slučajnog ponovnog uključanja
- utvrđivanje beznaponskog stanja
- uzemljivanje i kratko spajanje
- ograđivanje dijelova pod naponom.

Jedna od tih faza — uzemljivanje i kratko spajanje — obavlja se primjenom prijenosnih ili stalnih naprava za uzemljivanje i kratko spajanje.

U postrojenjima napona 220 kV i 400 kV s velikim strujama kratkog spoja veoma je otežana ili potpuno nemoguća primjena prijenosnih naprava za uzemljivanje i kratko spajanje, jer su zbog velikih presjeka bakrenog užeta naprave preteške, a sabirnice i ostali vodiči koji se uzemljuju veoma su visoko iznad zemlje.

Iz navedenih razloga u takvim visokonaponskim postrojenjima instaliraju se stalno ugrađene naprave za uzemljivanje i kratko spajanje, kao što su jednopolni i trolpolni noževi za uzemljivanje s ručnim ili mehaniziranim zagonom, sklopke za uzemljivanje te štapni uzemljivači.

Na žalost, primjena stalno ugrađenih naprava za uzemljivanje i kratko spajanje ima i veliki nedostatak, a to su povećani troškovi izgradnje postrojenja. Stalno ugrađene naprave su skuplje od prijenosnih naprava, a treba ih znatno veći broj. Zbog toga se reducira broj stalno ugrađenih uzemljivača.

Kao najjednostavnije rješenje nameće se postavljanje stalno ugrađenih uzemljivača, npr. jednopolnih rastavljača za uzemljivanje na kraj sabirnica ili čak na oba kraja sabirnica. No, kao što će se vidjeti, to najčešće neće biti dovoljno.

Greškom narinuti pogonski napon na uzemljeni dio postrojenja ili pak inducirani napon zbog prolaza struje u drugim paralelnim vodičima stvara na uzemljenom vodiču neki potencijal prema zemlji. Na samom mjestu uzemljivanja neće biti nikakvog potencijala, ili s udaljavanjem od mjesta uzemljivanja potencijal vodiča raste. Na taj način stvoreni potencijali mogu iznositi i više od tisuću volta. (U_z)

Samo ono područje uzemljenog vodiča možemo smatrati potpuno sigurnim na kojem je tako stvoren potencijal vodiča prema zemlji manji od dozvoljenog napona dodira.

To područje možemo nazvati »zonom štíćenja uzemljivača«, pa je unutar njega dozvoljeno dodirivanje golih vodiča rukama.

Cilj je ovog napisa da utvrdi o čemu sve ovisi zona štíćenja i kako se ona određuje.

NARINUĆE POGONSKOG NAPONA NA UZEMLJIVAČ

Ako se pogrešnom manipulacijom narine pogonski napon na dionicu koja je uzemljena i kratko spojena, poteći će struja kratkog spoja i ona će po jedinici dužine svakog faznog vodiča izazivati pad napona:

$$\Delta \bar{U}_o = \bar{I}_k \cdot \bar{Z}_o, \quad (1)$$

gdje je

$\Delta \bar{U}_o$ - jedinični pad napona (V/m)

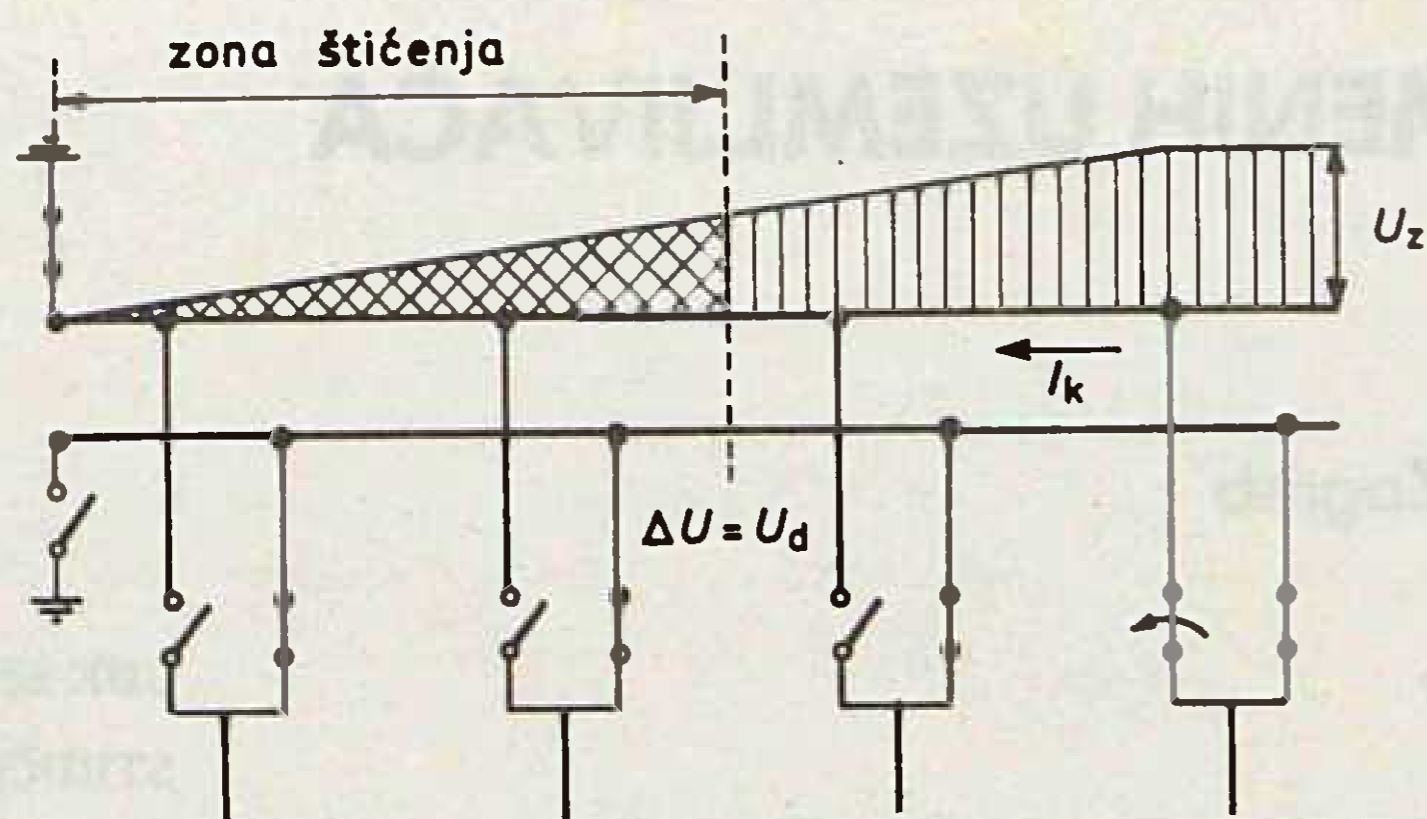
\bar{I}_k - struja početnog kratkog spoja (A)

\bar{Z}_o - impedansa vodiča svedena na jedinicu dužine (Ω/m).

Da bismo dobili impedansu vodiča, moramo izračunati radni i induktivni otpor faznih vodiča po jedinici dužine tako da je:

$$Z_o = \sqrt{R_o + \omega L_o}$$

Raspodjela potencijala vodiča prema zemlji zbog pada napona uzrokovanog strujom kratkog spoja prikazana je na slici 1.



Slika 1. Raspodjela potencijala duž vodiča zbog pada napona u vodiču

Na mjestu kratkog spajanja i uzemljivanja vodiča potencijal sabirnica je nula, a postepeno raste duž vodiča u ovisnosti o jediničnom padu napona.

Pod zonom šticeanja privremenog uzemljivača možemo smatrati samo onaj dio vodiča na kojem je potencijal vodiča prema zemlji manji od dozvoljenog napona dodira.

Dozvoljeni napon dodira uzima se prema važećim tehničkim normativima za visokonaponska postrojenja (L. 1.) uzimajući u obzir vrijeme trajanja kratkog spoja koje odabiremo:

$$t_k = 0,2 \text{ s za postrojenja sa zaštitom sabirnica}$$

$$t_k = 0,6 \text{ s za postrojenja samo s distantnim zaštitama.}$$

Dužinu zone šticeanja oko privremenog uzemljivača dobijemo prema iznosu:

$$L_o = \frac{U_d}{\Delta U_o} \quad (2)$$

gdje je

- L_o - zona šticeanja u m
- U_d - dozvoljeni napon dodira u V, odabran prema pretpostavljenom trajanju kratkog spoja
- ΔU_o - jedinični pad napona u V/m.

U tablici 1. prikazani su rezultati proračuna za glavne sabirnice višeg napona u transformatorskim stanicama 220/110 kV Mraclin i 380/110 kV Tumbri.

Iz tablice 1. vidljivo je da se dužina zone šticeanja nalazi u granicama od 80 do 100 m kod narinuća pogonskog napona, ali uz primjenu zaštite sabirnica. Bez zaštite sabirnica, uz $t_k = 0,6 \text{ s}$ i $U_d = 135 \text{ V}$, zona šticeanja se smanjuje na 44 m odnosno 53 m.

Podaci za struje kratkog spoja uzete su iz elaborata Instituta za elektroprivredu o strujama kratkog spoja za 1985. godinu, što odgovara današnjem stanju.

ELEKTROSTATSKI UTJECAJ

Inducirani naponi u uzemljenim vodičima zbog kapacitivne veze s drugim vodičem pod naponom poništavaju se već samim uzemljivanjem vodiča. Na mjestu

Tablica 1. Proračun zone šticeanja uzemljivača na sabirnicama kod narinutog pogonskog napona

Podatak	TS Mraclin 220 kV	TS Tumbri 380 kV
Vrste sabirnica	uže-snop	cijev 160/144
Materijal — presjek (mm ²)	Al-2x 450	AlMgSi-3818
Impedansa Z_o (Ω/m)	$0,290 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$
Početna struja troleznog kratkog spoja I_k (kA)	12,4	18
reducirana struja kratkog spoja ($W = 0,7$)	8,7	12,6
Pad napona ΔU_o (V/m)	2,52	3,05
Dozvoljeni napon dodira (V) $t_k = 0,2 \text{ s}$	250	250
Dužina zone šticeanja L_o (m)	99	82

uzemljivanja teče u zemlju kapacitivna struja koja se može približno izračunati prema izrazu

$$I_c = C_{1a} \cdot l \cdot U_f \quad (3)$$

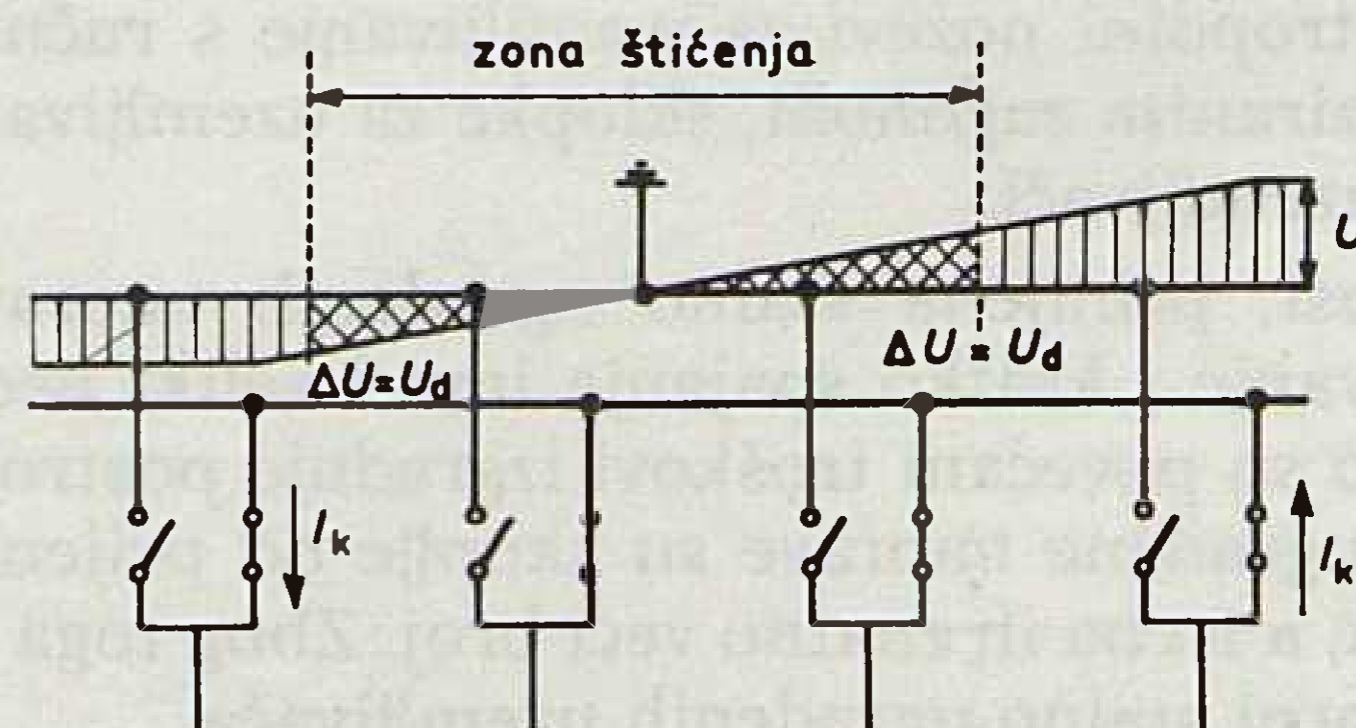
pri čemu je

- I_c - kapacitivna struja koja teče iz uzemljenog vodiča koji se nalazi u električnom polju drugog vodiča (A)
- C_{1a} - kapacitet između uzemljenog vodiča i najbližeg vodiča pod naponom (F/km)
- l - dužina vodiča u zoni utjecaja (km)
- U_f - napon aktivnog vodiča prema zemlji (V).

U rasklopnim postrojenjima i transformatorskim stanicama kapacitivne struje su veoma malene zbog malih dužina sabirnica pa taj utjecaj možemo u potpunosti zanemariti pri razmatranju zone šticeanja oko privremenih uzemljivača.

ELEKTROMAGNETSKI UTJECAJ

Potpuno drugačije prilike vladaju na uzemljenim vodičima koji se nalaze u izmjeničnom elektromagnetnom polju što ga stvara prolaz struje kroz paralelno položene vodiče. Na slici 2. prikazana je raspodjela potencijala prema zemlji duž nekog vodiča uzemljenog samo na jednom mjestu, a koji se nalazi u zoni utjecaja nekog drugog paralelnog i strujom protjecanog vodiča.



Slika 2. Raspodjela potencijala duž vodiča zbog elektromagnetske indukcije

Uzemljenjem vodiča ne poništava se inducirani napon, već mjesto uzemljivanja dobiva potencijal zem-

lje, pa od te točke postepeno raste potencijal vodiča prema zemlji s gradijentom što ga čini jedinični inducirani napon.

Jedinični inducirani napon može dobiti prema izrazu:

$$U_M = \omega X_M \cdot I \cdot r \quad (4)$$

pri čemu je:

U_M - inducirani napon zbog elektromagnetske veze (V/m)

ω - 314, kružna frekvencija

X_M - međuinduktivitet između oba promatrana vodiča (H/km)

I - struja kroz aktivni vodič (A)

r - faktor redukcije zbog drugih paralelnih i uzemljenih vodiča (npr. zaštitno uže).

Vrijednost međuinduktivne reaktance X_M između dva promatrana vodiča može se dobiti, s dovoljnom točnošću za praktičnu primjenu, očitavanjem raznih u tu svrhu pripremljenih dijagrama ili pak pomoću relacije:

$$X_M = 0,1445 \log \frac{93 \sqrt{\rho}}{D_M} \quad (5)$$

gdje je

ρ - specifični otpor zemlje (Ω m)

D_M - srednja geometrijska udaljenost između promatrana dva vodiča (m).

U rasklopnim postrojenjima i transformatorskim stanicama najveći inducirani naponi zbog elektromagnetskog utjecaja mogući su na sabirnicama koje su izvan pogona, dok su druge protjecane nekom strujom.

Ta struja može biti:

- pogonska struja
- struja kratkog spoja nastalog u samom promatranom postrojenju
- struja kratkog spoja zbog kratkog spoja nastalog u mreži, a ta struja prolazi kroz aktivne sabirnice.

Lako je dokazati da čak i pogonske struje od 1 000 A kroz aktivne sabirnice neće prouzročiti veće inducirane napone od 0,05 V/m. Uzrok je u samoj naravi trofaznog sistema struja. Unatoč horizontalnom razmještanju vodiča sabirnica, utjecaj najbliže faze u promatranom vodiču znatno je oslabljen suprotnim djelovanjem ostalih faznih struja vektorski pomaknutih za 120° i 240° .

Kao najopasniji, prema tome za ovo razmatranje i mjerodavan slučaj, jest nastanak jednopolnog kratkog spoja u promatranom postrojenju ili pak pojava kratkog spoja na bilo kojem priključenom vodu nedaleko od promatranog postrojenja, dakako u onoj fazi čiji je vodič najbliži prvom vodiču pasivnih sabirnica.

I kod induciranih napona elektromagnetskog porijekla zonu šticeanja oko privremenog uzemljivača dobivamo prema izrazu (2), dijeleći dozvoljeni napon dodira s jediničnim induciranim naponom.

Vrijednost dozvoljenog napona dodira određujemo prema vremenu trajanja kratkog spoja.

Najopasniji slučaj je pojava jednopolnog kratkog spoja na vodu tik uz postrojenje, a taj će biti eliminiran i u najlošijim uvjetima rada zaštite u vremenu od $t_k = 0,6$ s, uz uobičajenu primjenu distantne zaštite. Iz toga proizlazi da treba računati s vrijednošću dozvoljenog napona dodira od 135 V. Kod distantnih zaštita s prenosom impulsa za isključivanje u I. stupnju može se računati sa $t_k = 0,3$ s i s naponom dodira 210 V.

U tablici 2. prikazani su rezultati proračuna za glavne sabirnice u transformatorskim stanicama 220/110 kV Mraclin i 380/110 kV Tumbri.

Obje ove transformatorske stanice imaju po dva sistema glavnih sabirnica na višem naponu, i to paralelno jedne drugima.

Iz rezultata proračuna vidi se da su inducirani naponi zbog elektromagnetskog utjecaja pri pojavi struja kratkog spoja znatno više od uzdužnog pada napona i da su zone šticeanja praktički tri puta kraće.

Tablica 2. Proračun zone šticeanja na sabirnicama zbog elektromagnetske indukcije

Podatak	TS Mraclin 220 kV	TS Tumbri 380 kV
Razmak između najbližih vodiča obiju sabirnica (m)	7	8,5
Dužina sabirnica (m)	188	250
Specifični otpor zemlje ρ (Ω m)	100	100
Međuinduktivna reaktanca X_M (V/A km)	0,307	0,295
Očekivana struja jednopolnog kratkog spoja I_k (kA)	10,57	15,57
Jedinični inducirani napon U_M (V/m)	3,24	4,6
Dozvoljeni napon dodira U_d uz $t_k = 0,6$ i $t_k = 0,3$ s (V)	135	210
Zona šticeanja uzemljivača L (m)	41,6	45,6

KRITERIJI ZA ODREĐIVANJE ZONE ŠTICEANJA I BROJA POTREBNIH UZEMLJIVAČA

Na temelju svega izloženog mogu se odrediti kriteriji za određivanje dužine zone šticeanja oko privremenog uzemljivača, kao i za utvrđivanje potrebnog broja uzemljivača na nekoj dionici vodiča.

Kod postrojenja sa samo jednim glavnim sabirnicama i s pomoćnim sistemom sabirnica, koji je prostorno odmaknut, za određivanje zone šticeanja, a time i broja potrebnih uzemljivača, mjerodavan je pad napona duž vodiča izazvan strujom trolnog ili jednopolnog kratkog spoja u samom postrojenju.

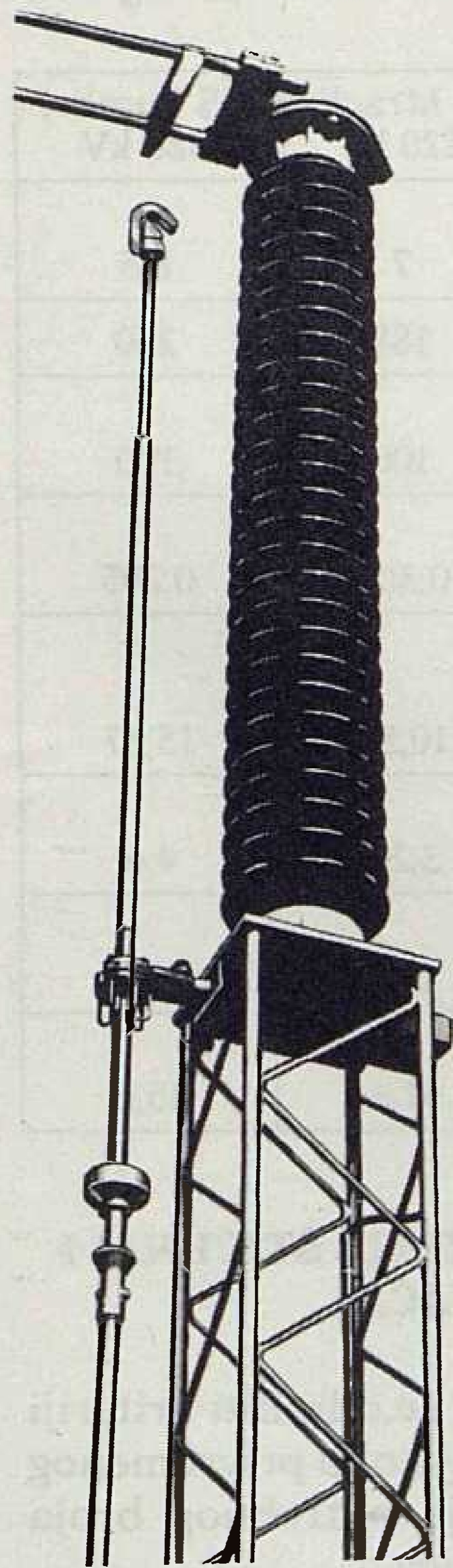
Kod postrojenja s više sistema sabirnica, a smještenih jedni uz druge, za izračunavanje zone šticeanja i broja uzemljivača mjerodavan je inducirani napon izazvan očekivanom strujom jednopolnog kratkog spoja u dotičnom postrojenju.

Tako npr. u transformatorskoj stanici 380/110 kV Tumbri u postrojenju 380 kV zona štíćenja je oko uzemljivača prema navedenom kriteriju svega 45,6 m. Budući da je širina jednog polja 21 m, to znači da na svakom drugom polju uzduž sabirnica mora postojati naprava za uzemljivanje i kratko spajanje sabirnica 380 kV ili pak mora postojati mogućnost da se takva naprava priključi.

Unutar polja, koje je u pravilu kraće od dužine zone štíćenja, uzemljivači se postavljaju prema poznatom pravilu da:

- svaka galvanski odvojena dionica, a na kojoj se može pojaviti napon bilo kojeg porijekla mora biti uzemljena, odnosno
- uzemljenje se mora postaviti sa svih strana odakle bi mogao prodrijeti napon.

Za postrojenja s velikim strujama kratkog spoja i s većim visinama vodiča iznad zemlje relativno je jeftina i svrsishodnija primjena štapnih uzemljivača kakav je prikazan na slici 3.



Slika 3. Štapni uzemljivač

Na postolje nekog visokonaponskog aparata ili potpornog izolatora pričvrsti se metalna vodilica, a iznad vodilice na vodič se pričvrsti prihvatni stremen ili zvon. S prijenosnim štapnim uzemljivačem obavlja se uzemljivanje tako da se metani štap provuče kroz vodilicu i spoji s prihvatnim stremenom ili zvonom. Četiri do šest garnitura prijenosnih štapnih uzemljivača može biti dovoljno u svakom objektu.

Na kraju treba istaknuti da je pristup rješavanju ovog problema deterministički i prema tome dosta strog, ali to proizlazi iz postojećih važećih tehničkih normativa. Svakako bi bilo interesantno razmotriti i vjerojatnost istodobnog nastanka kratkog spoja u mreži i dodirivanja vodiča od strane radnika prilikom održavanja postrojenja i time dobiti uvid u vjerojatnost takovog povređivanja.

ZAKLJUČAK

U postrojenjima s velikim strujama kratkog spoja mogu i uzemljeni i kratko spojeni vodiči, npr. sabirnice, doći pod potencijal prema zemlji veći od dozvoljenih napona dodira, i to zbog:

- pada napona duž vodiča uzrokovanim prolazom struje kratkog spoja kroz taj vodič i
- induciranja napona elektromagnetskim poljem što ga izaziva prolaz struje kratkog spoja kroz neke druge blize i paralelne vodiče.

Zbog tih pojava može i rad na uzemljenim vodičima biti opasan, ako je mjesto rada dosta daleko od mjesta uzemljivanja.

Proračunom treba odrediti dužinu zone štíćenja oko uzemljivača i rad svesti unutar zone štíćenja.

Dužina zone štíćenja oko privremenog uzemljivača određuje i potreban broj mjesta za uzemljivanje i kratko spajanje. Razmak između dva mjesta uzemljivanja mora biti jednak dužini zone štíćenja ili manji.

Znatan utjecaj na dužinu zone štíćenja i broj potrebnih uzemljivača ima vrsta zaštite od kratkog spoja s pripadajućim vremenima isključivanja kratkog spoja.

Investiranjem u brzu zaštitu sabirnica od kratkog spoja ne samo da čuvamo postrojenja od jačeg razaranja već nam se dio troškova vraća u obliku smanjenog broja ugrađenih uzemljivača.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1 000 V — Službeni list SFRJ br.4/47 i 13/78
- [2] Granski standard elektroprivrede — 40/81 : Pravila i mjere sigurnosti pri radu na elektroenergetskim objektima — ZJE 1982
- [3] P.A. DOLIN: »Osnovi tehnike bezopasnosti v električeskih ustanovkah«, Energia 1970
- [4] Institut za elektroprivredu Zagreb: Optimiranje elektroenergetskog sistema Hrvatske — Proračun kratkog spoja, Zagreb 1981
- [5] Katalog proizvoda firme Karl Pfisterer 1981

PROTECTION ZONE AROUND TEMPORARY GROUNDING

In the article is explained generation of potential on grounded conductors due to short circuit current or electromagnetic induction. It is determined protection zone around temporary grounding and is presented a method for calculation of protection zone length as well as number of necessary groundings.

SCHUTZZONE UM DIE VORLÄUFIGEN ERDER

In dieser Arbeit wird die Entstehung des Potentials gegenüber der Erde an den geerdeten Leitern wegen des Durchgangs des Kurzschlußstromes durch diese Leiter oder wegen der elektromagnetischen Induktion erklärt. Es wird bestimmt was die Schutzzone um den vorläufigen Erder ist und es wird die Berechnungsweise der Erder — Zonenlänge geschildert neben der Zahl der notwendigen Erder.

ЗАЩИТНАЯ ЗОНА ВОКРУГ ВРЕМЕННЫХ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ

В данной работе объясняется создание потенциала по отношению к земле на заземленных проводниках вследствие протекания тока короткого замыкания через эти проводники, или вследствие электромагнитной индукции. Установлено, что собой представляет защитная зона вокруг временных заземлителей и приводится способ расчета длины зоны заземлителей, как и число необходимых заземлителей.

Naslov pisca:

Egon Mileusnić, dipl. inž.
»Elektroprenos« 41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37. Jugoslavija
Uredništvo primilo rukopis
1986-11-20

ELEKTROENERGETSKA BILANCA HRVATSKE ZA 1987. GODINU

Na skupštini Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Republičkog SIZ-a potrošača električne energije usvojena je elektroenergetska bilanca Hrvatske za 1987. godinu.

Osnovne veličine elektroenergetske bilance utvrđene su na osnovi studije »Metodologija za izradu elektroenergetske bilance koji su usvojili Zajednička skupština Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Republički SIZ potrošača električne energije.

1. Plan potreba električne energije

Plan potreba električne energije sadrži potrebe na mreži prijenosa radnih organizacija distribucije, potrebe direktnih i specijalnih potrošača, te gubitke električne energije u prijenosnoj mreži.

Potrebe električne energije	Plan 1987.
— potrebe potrošača distribucije	11 462,0 GWh
— potrebe direktnih potrošača	1 206,0 GWh
— potrebe specijalnih potrošača	2 174,0 GWh
— gubici u prijenosnoj mreži	502,0 GWh
Ukupne potrebe	15 344,0 GWh

1.1. Potrebe električne energije za potrošače distribucije

Godišnje potrebe električne energije potrošača distribucije planiraju se na temelju prosječne trogodišnje stope porasta.

Prijedlog plana za 1987. godinu iznosi 11 462,0 GWh, to je u odnosu na 1986. više za 4,80 posto, što je u okviru prosječnog trogodišnjeg porasta.

Osim iz mreže prijenosa, radne organizacije distribucije opskrbljuju se i električnom energijom iz vlastitih distributivnih elektranama i nabavom iz industrijskih elektranama, ukupno svega oko 75,0 GWh.

1.2. Potrebe električne energije za direktne i specijalne potrošače

Potrebe električne energije za direktne i specijalne potrošače planiraju se na temelju prijave samih potrošača. Te prijave treba da budu usklađene s izdanim elektroenergetskim suglasnostima. Plan za 1987. godinu direktnih i specijalnih potrošača ukupno iznosi 3 380,0 GWh, što je u odnosu na 1986. porast za 6,95 posto. U plan potreba direktnih i specijalnih potrošača za 1987. godinu uključeno je povećanje potrošnje TEF Šibenik za 26 GWh, INA-Petrokemija Omišalj za 40 GWh i ŽTP za Split 1,75 GWh, za što postoje izdane nove elektroenergetske suglasnosti.

1.3. Gubici električne energije u prijenosnoj mreži

Prema usvojenoj Metodologiji za izradu elektroenergetske bilance, gubici električne energije u prijenosnoj mreži planiraju se na iznos ostvarenja gubitaka u prethodnoj godini

u odnosu na bruto-potrošnju električne energije. Plan gubitaka za 1987. godinu predviđen je u iznosu 502,0 GWh ili 3,27 posto ukupne potrošnje.

2. Plan raspoložive električne energije

Potrebe potrošača za električnom energijom podmiruju se proizvodnjom hidroelektrana, proizvodnjom termoelektrana, te isporukama električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama na temelju ugovora i aneksa ugovora o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata.

Elektroenergetski sustav Hrvatske raspolagat će u 1987. godini snagom na pragu 3 852 MW u proizvodnim kapacitetima.

2.1. Plan proizvodnje hidroelektrana

Prema Metodologiji za izradu elektroenergetske bilance, proizvodnja hidroelektrana planira se na osnovi ostvarenih prosječnih mjesečnih dotoka u hidrološkom nizu od 40 godina (1926 – 1985. godine).

Tijekom 1987. godine ne ulazi u pogon nijedna novoizgrađena hidroelektrana. Plan proizvodnje hidroelektrana u 1987. godini iznosi 5 430,9 GWh (protočne hidroelektrane 1 213 GWh, akumulacione 4 226 GWh).

2.2. Plan proizvodnje termoelektrana

Prema samoupravnom sporazumu o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu, godišnja proizvodnja električne energije u termoelektranama, termoelektranama — toplana i nuklearnim elektranama može se planirati do 78 posto vrijednosti koja se dobije množenjem raspoložive snage elektrane na pragu s brojem sati u godini umanjenim za broj sati planiranog remonta.

Planirana ukupna proizvodnja termoelektrana za 1987. godinu iznosi 5 521 GWh. Proizvodnja TE Plomin planirana je u iznosu 540 GWh, što se prema stanju postrojenja smatra realnim.

Plan proizvodnje NE Krško od 1 945 GWh veći je od predviđenog kriterija i, prema mišljenju stručnjaka iz nuklearne elektrane, smatra se realnim.

Toplane su bilancirane za proizvodnju električne energije samo u vrijeme ogrjevne sezone u protutlačnom režimu, a njihovo stvarno angažiranje ostvarit će se prema redosljedu troškova, odnosno optimumu troškova u elektroenergetskom sustavu.

Plinske elektrane nisu angažirane u planu proizvodnje termoelektrana za 1987. godinu zbog visokih troškova proizvodnje. Budući da su plinske elektrane interventnog karaktera, njihov ulazak u pogon predviđa se za slučaj većih poremećaja u elektroprivrednom sistemu.

2.3. Preuzimanje električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama

Plan preuzimanja električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama za 1987. utvrđen je na temelju osnovnih ugovora i aneksa osnovnim ugovorima o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata.

Plan godišnjih isporuka	MW	GWh
— TE Tuzla	182	1 039
— TE Kakanj	46	276
— TE Gacko	92	477
— TE Obrenovac	280	1 680
Ukupno	600	3 472

Osnovne godišnje veličine elektroenergetske bilance za 1987.

Potrebe električne energije (potrošnja distribucije, direktni i specijalni potrošači i gubici u mreži prijenosa) za 1987. godinu ukupno iznose 15 344 GWh.

Raspoloživa električna energija

— proizvodnja hidroelektrana	5 439 GWh
— Proizvodnja TE u drugim republikama izgrađenih za potrebe Hrvatske	3 472 GWh
— proizvodnja TE na ugljen	540 GWh
— proizvodnja nuklearne elektrane za Hrvatsku	1 945 GWh
— proizvodnja toplana	687 GWh
— proizvodnja TE na tekuće gorivo	2 349 GWh
Ukupno raspoloživo	14. 432 GWh
Ukupne potrebe	15.344 GWh
Nepodmirene potrebe	912 GWh

Iskazani manjak električne energije trebalo bi pokriti na sljedeći način:

- nabavom električne energije iz eventualnih viškova od drugih republika i autonomnih pokrajina
- uvozom električne energije preko JUGELA s klirinškog područja
- osiguranjem zemnog plina u ljetnim mjesecima za pogon TE Sisak.

Ako se navedenim mjerama ne osiguraju dovoljne količine električne energije, kako bi se iskazani manjak podmirio u potpunosti, morat će se osigurati dodatne količine tekućeg goriva.

Za slučaj ukupnog podmirenja izkazanog manjka dodatnom proizvodnjom termoelektrana bilo bi potrebno osigurati još 234 000 tona tekućeg goriva, što znači da bi u 1987. godini bilo potrebno osigurati ukupno 1 069 000 tona tekućeg goriva.

I. R.

UTVRĐEN REDOSLIJED IZGRADNJE HIDROELEKTRANA U SR HRVATSKOJ

Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske povjerala je stručnjacima Instituta za elektroprivredu Zagreb reviziju studije: »Projektna dokumentacija izgradnje hidroelektrana te izvor objekata kontinuiteta u petogodišnjem planu za razdoblje 1991 – 1995. godine«. Na osnovi tehničko-energetskog i ekonomskog analiziranja utvrđen je redoslijed izgradnje pojedinih energetskih objekata.

Stručnjaci Instituta za elektroprivredu predložili su sljedeći redoslijed izgradnje: VS Đurđevac, HE Lešće, HE Valići, HE Krčić, VES Lučica, HE Podsused i HE Zrmanja. Skupština Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske prihvatila je predloženi redoslijed.

Tehnički podaci

Drava u Hrvatskoj je najveći neiskorišteni hidroenergetski potencijal, pa je razumljivo da se tom vodotoku poklanja posebna pažnja. Do sada je izgrađena HE Varaždin i HE Čakovec, a HE Dubrava je u gradnji. Za četvrtu dravsku elektranu u Hrvatskoj izabrana je VS Đurđevac.

- HE Đurđevac, instalirane snage 145 MW, moguća prosječna godišnja proizvodnja 679 GWh. To je prvo energetsko postrojenje na Dravi nizvodno od Mure. Elektranu je derivacijskog tipa s akumulacijskim bazenom uzdužnog oblika, a proteže se od ušća Mure do mjesta Rogoša u ukupnoj dužini od 16 km. Ukupni volumen akumulacije 31,4 hm³, od toga korisni 7,5 hm³.

VE Đurđevac ima višenamjensko korištenje: proizvodnja električne energije, obrana od poplava, regulacija vodotoka Drave i dr.

- HE Lešće, snaga 35 MW, moguća godišnja proizvodnja 92,6 GWh, gradit će se nizvodno od HE Gojak, uz korištenje vodotoka Dobre. Vodotok ima duljinu 52 km, apsolutni pad 75,5 metara, srednji protok na ušću 36 m³/sek.

- HE Valići, snaga 18 MW, godišnja proizvodnja 48,5 GWh, hidroelektrana koristit će vode Rječine, od izvora oko 940 metra. Ovo hidroenergetsko postrojenje osim proizvodnje električne energije ima zadatak da osigura opskrbu Rijeke i bliže okolice pitkom vodom i da posluži kao obrana od poplava.

- VES Lučica, snaga 42 MW godišnje će davati oko 92,0 GWh električne energije, predviđena je kao priborsko postrojenje. Ukupni volumen akumulacije 196 hm³ predstavlja vrijedan energetski i vodoprivredni potencijal. Strojarnica je locirana uz pregradu na desnoj obali rijeke Korane kod naselja Markovići.

Glavna namjena elektrane je regulacija vodnog režima Korane, proizvodnja električne energije i opskrba vodom okolnih mjesta.

- HE Krčić, snage 2 x 7,34 = 14,68 MW proizvodit će godišnje 36,0 GWh, elektrana je protočna derivacijskog tipa s akumulacijom površine 22,7 ha za dnevno izravnanje. HE Krčić koristit će se vodama Krke, i to elektroenergetskom stepenicom barijere slapa Topolje.

- Gradnja HE Podsused planirana je na tri kilometra uzvodno od mosta zagrebačke zaobilaznice kod Zaprešića. Strojarnica i brane su predviđene u lijevom zaobalju, neposredno uz postojeće korito rijeke Save koje se pregrađuje nasutom branom. Uzvodno se uz pomoć popratnih nasipa na lijevoj i desnoj strani vodotoka ostvaruje akumulacijski bazen, ukupne zapremine 19,8 hm.

HE Podsused, prva hidroelektrana na Savi u Hrvatskoj, raspolagat će dvjema turbinama ukupne snage 23,8 MW koja će ostvarivati godišnju proizvodnju 103 GWh električne energije.

- HE Zrmanja, snage 14,68 MW ostvarit će godišnje 48,24 GWh električne energije. Elektranu će koristiti vode rijeke Zrmanje izgradnjom pregrade kod Jankovića kule. Izgradnjom HE Zrmanje u mnogome će se poboljšati opskrba područja Bukovice pitkom vodom.

Za sve navedene hidroelektrane čija je izgradnja planirana u razdoblju 1991 – 1995. godine investitor je povjerio izradu glavnih projekata RO »Elektroprojekt« Zagreb.

I. R.



Slapovi Krčić na Krki

GRADNJA TE BITOLA III

Radovi na gradnji termoelektrane »Bitola III«, 210 MW, premda je bilo problema zbog pomanjkanja finansijskih sredstava i teškoća u isporuci opreme, teku utvrđenim planovima. Prema dinamici radova postoje objektivni uvjeti da termoelektrana bude završena u planiranim rokovima i krene u pogon do kraja 1988. godine.

Završeni su građevinski radovi na strojarnici i kotlovnici, čime su stvoreni uvjeti za montažu strojeva u ovim objektima.

S određenim zakašnjenjem teku radovi i na proširenju rudokopa »Suvodol«. Proširenjem tog rudnika bit će na vrijeme osigurane potrebne količine ugljena za rad nove termoelektrane.

I. R.

NOVI ENERGETSKI OBJEKTI U BiH

Skupština SIZ-a »Elektroprivrede BiH« donijela je odluku o izgradnji četiriju elektrana. Za izgradnju novih energetskih izvora izgrađena je projektna dokumentacija. Najveća hidroelektrana gradit će se u porječju rijeke Drine HE »Bijeli Buk«. Ta bi HE po planiranoj instaliranoj snazi trebala

zauzeti drugo mjesto odmah poslije Đerdapa i proizvoditi milijardu i 120 milijuna kWh godišnje električne energije.

Usporedo s izgradnjom HE »Bijeli Buk« gradit će se hidroelektrana »Dabar«, te termoelektrana »Gacko II i TE-TO Banja Luka.

Prva bi u rad bila puštena HE »Dabar« krajem 1991, a posljednja TE-TO Banja Luka u početku 1994. godine. Tada će bosansko-hercegovački elektroenergetski sistem raspolagati sa novih 1045 MW instaliranih kapaciteta, odnosno proizvodnjom 3 milijarde i 940 milijuna kWh električne energije. Osim toga bi do 1990. godine trebali početi pripremni radovi za HE »Krupa« i HE »Konjic«, koje bi se izgradile u idućem planskom razdoblju.

I. R.

DALEKOVOD 110 kV CRES — LOŠINJ U POGONU

Završena je izgradnja dalekovoda 110 kV između Cresa i Lošinja, dužine oko 45 km, koji je privremeno pod naponom 35 kV. Investitor izgradnje dalekovoda je RO »Elektroprivreda« Rijeka, OOUR »Elektroprenos« Opatija, a glavni izvođač radova RO »Dalekovod« iz Zagreba. Iako trasa dalekovoda prolazi vrlo teškim terenom, graditelji su uspjeli za šest mjeseci završiti sve građevne radove.

Polaganje 110 kV kabela izvedeno je preko Osorskog kanala, koji je povezoao zračne dionice dalekovoda između otoka Cresa i Lošinja. Ukupna dužina kablenskog dijela je oko 1050 metara, od čega je podmorski dio oko 420 metara. To je prvi kabel 110 kV domaće proizvodnje koji je položen pod morem, a proizvod je Industrije kablova Svetozarovo.

Povezanost otoka Cresa i Lošinja dalekovodom 110 kV stvorene su uvjeti za bolju i sigurniju opskrbu električnom energijom toga područja. To je vrlo značajno za razvoj turizma, male privrede i široke potrošnje.

Na Lošinju planirana je gradnja TS 110/35 kV. Tako će njezinom izgradnjom i puštanjem dalekovoda pod napon 110 kV otoci Cres i Lošinj riješiti za duže vremensko razdoblje problem opskrbe potrošača električnom energijom.

I. R.

PROIZVODNJA UGLJENA U 1986.

Jugoslavenski ugljenokopi proizveli su 1986. godine oko 70 milijuna tona ugljena. To je nešto više od prethodne godine, ali i 4,5 milijuna tona manje od plana, prema podacima Općeg udruženja rudnika ugljena Jugoslavije.

Termoelektrane su prošle godine, zbog iznimno dobrih hidroloških prilika, preuzele znatno manje količine ugljena od plana, što je kao glavni razlog podbačaja proizvodnje. Na neostvarenje plana proizvodnje znatno je utjecalo i pomanjkanje dinarskih i deviznih sredstava za tekuću proizvodnju i razvoj te skupih bankovnih kredita.

Prema energetske bilanci Jugoslavije za 1987. godinu planirana je proizvodnja 76,2 milijuna tona ugljena, a rudnici bi uz potrošnju veću od planirane mogli proizvesti oko 77,2 milijuna tona. Da bi se ostvarila takva proizvodnja, domaći bi ugljenokopi u razvoj trebali uložiti oko 209 milijardi dinara.

I. R.

ZAJEDNIČKA ULAGANJA ZA KOSOVSKE ELEKTRANE

Predstavnici zainteresiranih elektroprivrednih organizacija potpisali su Samoupravni sporazum o zajedničkom financiranju prethodnih radova za gradnju termoelektrana na Kosovu.

Velike naslage lignita na Kosovu omogućuju da se na takvim lokalitetima sagrade termoelektrane većih proizvodnih kapaciteta.

Potpisnici sporazuma su: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, koja računa da će sudjelovati u gradnji 600 MW, »Elektrovojvodina« Novi Sad, koja je zainteresirana za 450 MW, Združena elektroprivreda Srbije, planira preuzimanje 300 MW, »Elektrogospodarstvo« Maribor također 300 MW, »Elektroprivreda« Makedonije 400 MW, a elektroprivreda Kosova rezervira za svoje potrebe 50 MW.

Uz realizaciju programa izgradnje niza termoenergetskih blokova jedinične snage 300 MW — prema ranijem dogovo-

ru — na jednoj ili više lokacija, čija je ukupna snaga već spomenuta, nužno je financirati otvaranje odgovarajućih kapaciteta ugljenokopa na već definiranim nalazištima lignita.

Osim toga, potrebno je predvidjeti i mjere za zaštitu čovjekove okoline.

I. R.

MONOFAZNI SISTEM NA PRUZI ZAGREB — RIJEKA

U toku su radovi na modernizaciji elektrificirane pruge Zagreb — Rijeka. Usvojen je plan da se napajanje ove elektrificirane pruge provodi monofaznim sistemom. Prelazom sa sadašnjeg istosmjernog sistema vuče od 3 kV na monofazni sistem 25 kV, prijevozna moć pruge će se povećati sa sadašnjih 7,8 milijuna tona robe u oba smjera na 13,2 milijuna tona. U toku su radovi na dionici Zagreb — Srpske Moravice, a predviđeno je da budu završeni do svibnja 1987. godine. Za drugu dionicu Srpske Moravice — Rijeka radi se tehnička dokumentacija, a radovi bi trebali početi u srpnju.

Svi radovi na prijelazu sa sistema istosmjerne struje na monofazni sistem morali bi biti završeni do 29. studenog ove godine.

Uz ove radove potrebno je monofaznom sistemu prilagoditi i lokomotive. Taj posao povjeren je RO »Janko Gredelj« Zagreb.

I. R.

GORIVO ZA TERMoeLEKTRANE

Potrebe goriva u 1987. godini za pojedine termoelektrane u Hrvatskoj utvrđene su na temelju njihove planirane proizvodnje na pragu elektrane i na temelju specifičnog potroška topline za kWh, te toplinske vrijednosti goriva koje koristi.

Ukupne godišnje potrebe goriva jesu:

— kameni ugljen	277 100 tona
— loživo ulje	834 600 tona
— zemni plin	143,2 x 10 ⁶ m ³
— koksni plin	114,0 x 10 ⁶ m ³

Za NE krško u 1987. godini potrebno je osigurati sredstva plaćanja za izmjenu 1/3 gorivih elemenata. Troškove snose po pola SR Hrvatska i SR Slovenija.

U termoelektranama — toplanama u ukupnim količinama potrebnog goriva iskazane su i količine potrebne za proizvodnju toplinske energije. (Za proizvodnju toplinske energije u TE — TO potrebno je osigurati 188 300 tona loživog ulja, za proizvodnju električne energije 116 100 tona.) Najveći dio loživog ulja 530 200 tona utrošit će se za proizvodnju električne energije u TE Rijeka i TE Sisak.

Plinske termoelektrane moraju biti pogonski spremne (osim za vrijeme remonta), iako nisu planirane za proizvodnju. One trebaju osigurati (loživo ulje) za najmanje jednu proizvodnju električne energije.

I. R.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

NEMA IZGLEDA ZA ZAMJENU NUKLEARNE ENERGIJE

Njemački kancelar Helmut Kohl iznio je na sjednici saveznog kabineta (23. srpnja 1986) da prema gledištima savezne vlade ne postoje zasad izgledi da se nađe zamjena za nuklearnu energiju. To proizlazi iz izvještaja savezne vlade o energetskej politici. U izvještaju je naglašeno da su mogućnosti uštede energije ograničene, a obnovljive energije, kao snaga vjetrova, bioplina i sunčana energija, neće moći 2000 godina pokriti više od 10 % ukupnih energetskih potreba. Alternativna energija, prvenstveno nuklearna fuzija i tehnika vodika na bazi sunčeve energije, dolaze, prema mišljenju stručnjaka, u obzir u većem opsegu najranije 2030. godine. Kancelar je najavio snažnu potporu istraživanju alternativne energije.

ETZ 85(1986), br. 16/17

Mrk.

ISKORIŠTENJE SUNČEVE ENERGIJE POSREĐSTVOM VODE IZ MRTVOG MORA

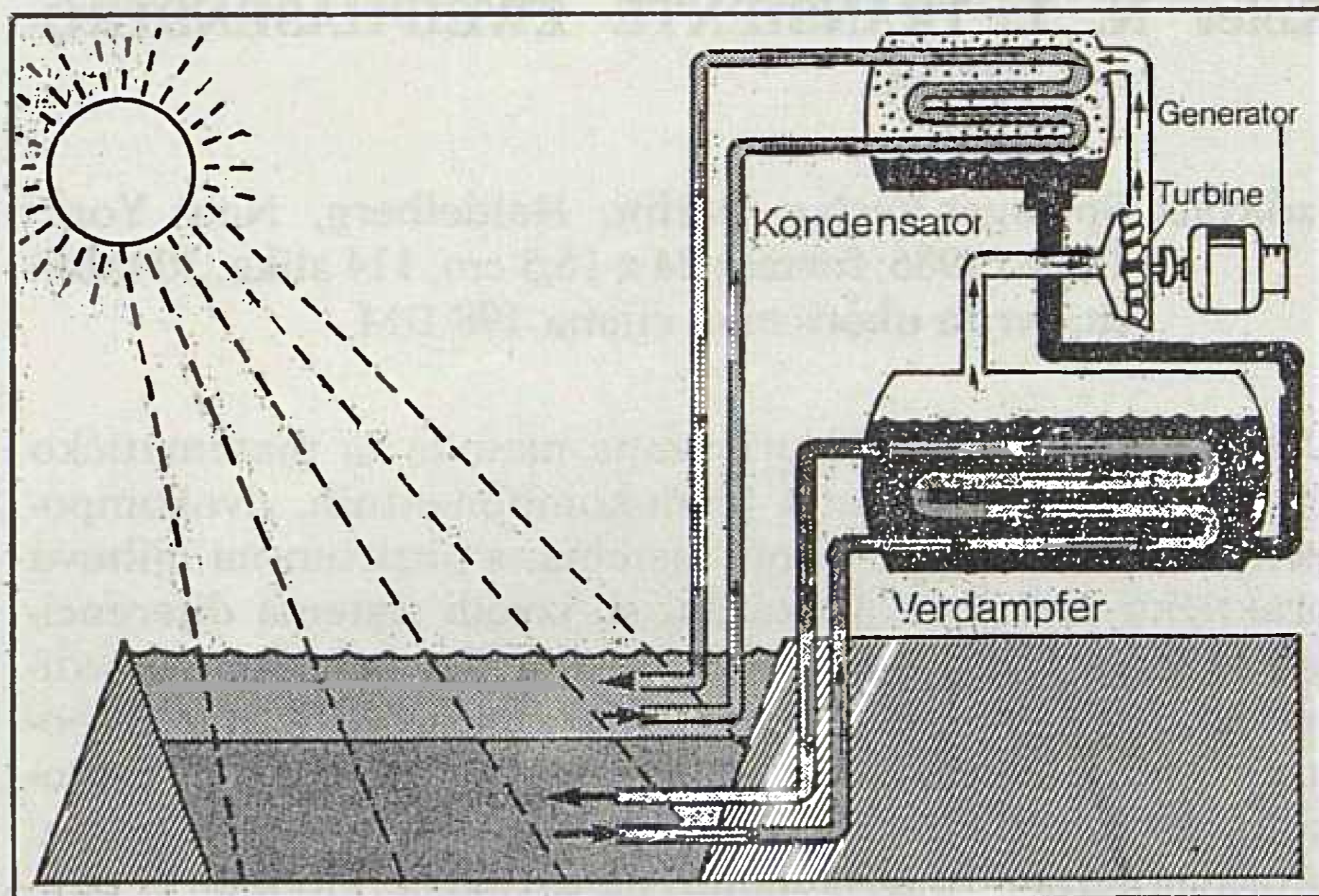
Izrael ima mnogo sunca, ali nema ni nafte ni ugljena. Iz političkih razloga nema mogućnosti korištenja nuklearne energije. Unatoč idealnoj klimi, sunca daje samo 2 % potrebne nuklearne energije. Danas se električna energija dobiva iz klasičnih termoelektrana na uvozni ugljen, ali se mnogo istražuju i alternativni izvori energije.

Izrael je financirao izgradnju solarne elektrane od 14 MW u Kaliforniji u SAD, koja daje energiju u kalifornijsku elektroprivrednu mrežu. Da je izraelska solarna elektrana izgrađena u pustinji Mojava, a ne u pustinji Negev, razlog je taj što su pogodnosti koje daje država za alternativne energetske izvore u SAD mnogo povoljnije nego u Izraelu.

Na naseljenom dijelu Golanske visoravni, odmah uz vojne položaje, izgrađen je prototip elektrane na vjetar danske proizvodnje, snage 55 kW. No od svih učinjenih eksperimenata najzanimljiviji je svakako onaj kojim se iskorištava sunčana energija posredstvom vode iz Mrtvog mora. Osnova za to je činjenica da je slana voda teža od slatke. Obilnom državnom pomoći izgrađena je u mjestu Beit Ha'arava elektrana snage 5 MW kao eksperimentalno postrojenje. Umjetno jezero od 250 000 m² napunjeno je teškom slanom vodom iz Mrtvog mora. Na taj je sloj naliven tanki sloj obične vode iz bunara kroz koji sunce svojim zrakama grije slanu vodu. Normalno bi se donja ugrijana voda, kao specifično lakša, podigla i miješala. U ovom pak slučaju ugrijana slana voda još je uvijek preteška da se digna na površinu. Tako se njena temperatura podigne do nekih 80° C, a gornji sloj, kao toplinska zaštita, ostane još razmjerno hladan. Ugrijani sloj vode pri dnu pumpa se u isparivač, čije pare tjeraju turbinu generatora. Budući da je 80° C preniska temperatura za proizvodnju vodene pare, u isparivaču je upotrijebljena posebna tekućina organskog sastava, koji je tajna tvornice, u kondenzatoru se navedena tekućina hladi vodom iz gornjeg sloja (slika).

Kako je rečeno, to je elektrana za stjecanje iskustava, a bila bi ekonomična pri cijeni nafte od 50 dolara po barelu.

Izrael ne osjeća danas neku energetske krizu pa smatra da ima vremena za ispitivanje najprikladnijih domaćih ener-



getskih izvora. Pustinja Negev bogata je uljnim škriljcima pa je upravo u gradnji ispitna elektrana od 5 MW koja bi ih koristila. Pokaže li se ekonomičnom, izgradili bi se blokovi od 120 MW.

Süddetsche Z. 1986. br.145

Mrk.

DANSKA JE REDUCIRALA UNAPREĐIVANJE ELEKTRANA NA VJETAR

U elektranama na pogon vjetrom u Danskoj pisano je u ovoj rubrici u Energiji no u međuvremenu politika prema takvim elektranama ponešto se promijenila.

Državna pomoć pri izgradnji privatnih elektrana na vjetar iznosila je 1984. 30 % investicionih troškova, a u 1986. godini reducirana je na 15 %. Osim toga postroženi su uvjeti za gradnju vjetrenjača kako bi se spriječilo da grupe koje raspoložu kapitalom podižu vjetrenjače i prodaju električnu energiju elektroprivrednim poduzećima uzimajući subvenciju pri gradnji. Očigledno postoji namjera da se gradi manje privatnih elektrana na vjetar.

Između danske vlade i elektroprivrede dogovoreno je da će elektroprivreda unutar 5 godina izgraditi snagu od 100 MW elektrana na vjetar. Tendencija je da se izgrađuju veće jedinice u grupama, tzv. park-vjetrenjača.

Postroženi su također uvjeti prodaje električne energije privatnih vjetrenjača elektroprivredi.

Oni proizvođači koji proizvode električnu energiju za vlastite potrebe a suvišak prodaju u javnu mrežu dobivaju po kWh 70 % srednje cijene koju plaćaju domaćinstva, a oni koji prodaju svu energiju iz vjetrenjača dobivaju 85 % te cijene.

Potkraj 1985. u Danskoj je radilo 1 400 elektrana na vjetar ukupne snage 64 MW (prosječno oko 44 kW po postrojenju). Početkom 1986. godine 1 016 vjetrenjača bilo je priključeno na javnu mrežu, neto-snage 51 MW. U toku 1985. u 931. privatnoj vjetrenjači proizvedeno je 48 700 MWh električne energije, a to je 0,19 % ukupne danske potrošnje. Iskorištenje instalirane snage bilo je 1 200 h godišnje.

Nastoji se da snaga vjetrenjača u 1990. godini bude 150 MW.

ETZ 85/1986/, br. 16/17

Mrk.

NOVE KNJIGE

Kolev N. I.: TRANSIENTE ZWEIPHASENSTRÖMUNG

Izdavač: Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1986; format 24 x 16,5 cm, 114 slika, 30 tablica, tvrdo ukoričeno, cijena 198 DM

U knjizi su sistematski prikazane metode za matematičko modeliranje transientnih jednodimenzionalnih, dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih sistema, s obzirom na njihovu praktičnu primjenu. Prikazani su izvodi sistema diferencijalnih jednačina i numeričke integracije. Primjena pojedinih modela ilustrirana je mnogim primjerima iz analize pouzdanosti u nuklearnoj tehnici. Jednodimenzionalni i dvodimenzionalni modeli strujanja podijeljeni su u dvije grupe: u uravnotežene i neuravnotežene dvofazne modele. U obje se grupe razmatraju homogena i nehomogena strujanja. Za svaki su model razvijene odgovarajuće diferencijalne jednačine i k tome teorija kritičnog dvofaznog strujanja.

Knjiga ima 15 poglavlja s opširnim popisom literature (preko 350 naslova) na kraju.

Poglavljia su sljedeća:

1. Elementi matematskog modela tranzientnih dvofaznih strujanja
2. Zakoni za opisivanje tranzientnih jednodimenzionalnih dvofaznih strujanja
3. Granice između stacionarnih tranzientnih dvofaznih strujanja
4. Utvrđivanje tipa sistema diferencijalnih jednačina za opisivanje tranzientnih strujanja
5. Homogeno uravnoteženo dvofazno strujanje
6. Nehomogeno uravnoteženo dvofazno strujanje
7. Homogeno neuravnoteženo dvofazno strujanje
8. Nehomogeno neuravnoteženo dvofazno strujanje
9. Prijelaz tvari na graničnoj površini faze
10. Postupak za numeričku integraciju parcijalnih diferencijalnih jednačina za opis tranzientnog dvofaznog strujanja
11. Multimodalne metode
12. Dvofazno dvodimenzionalno strujanje
13. Tranzientno mijenjanje stanja u volumenu koji sadrži vodu, vodenu paru i zrak
14. Tranzientno nehomogeno-neuravnoteženo-trofazno-trodimenzionalno strujanje

15. Tranzientno nehomogeno-uravnoteženo-trofazno-trodimenzionalno strujanje.

Ovo je djelo namijenjeno znanstvenicima i inženjerima koji se bave problemima dvofaznih strujanja, a može dobro poslužiti kao dodatna literatura studentima doktorandima.

Mrk.

Farmer P.: WIND ENERGY 1975 – 1985, A Bibliography

Izdavač: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Pariz, Tokyo, 1986, 167 stranica, format 27 x 20, tvrdi uvez.

Knjiga sadrži popis literature o iskorištavanju energije vjetra. O svakom članku, referatu ili knjizi naznačen je naslov, autor te mjesto i godina izdanja. Cijela knjiga i naslovi literature dani su na engleskom, ali iza osnovnih podataka u zagradi naznačeno je na kojem je jeziku pisan originalni rad. Prikazi sadržaja dosta se razlikuju opsegom. Variraju između 25 i 130 riječi. Naslovi su svrstani u 7 grupa prema osnovnom sadržaju.

Prva grupa sadrži publikacije koje se bave istraživanjem i razvojem. Unutar grupe radovi su svrstani po zemljama u kojima su publikacije objavljene.

U drugoj su grupi naslovi radova koji govore o lokacijama vjetrenjača, ali i šire o obnovljivim izvorima energije.

Treća grupa obuhvaća radove o projektiranju i konstrukciji sistema za konverziju energije vjetra.

Naslovi publikacija koje sadrže ekonomske, financijske i državne poticaje za iskorištavanje alternativnih izvora energije nalaze se u četvrtoj grupi.

U sljedećoj, petoj grupi, navedena je literatura koja obrađuje primjenu sistema konverzije energije vjetra.

Bibliografski radovi stavljeni su u grupu šest, a grupa sedam sadrži indeks autora.

U cijeloj je knjizi sakupljeno 1 200 naslova literature, koja može biti značajna pomoć pri studiju problema vjetrenjača.

Mrk.

IZDAVAČI

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

IZDAVAČKI SAVJET

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

UREDNIČKI ODBOR

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

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

Redakcija završena 1987 — 04 — 02

Godište 36 (1987)

Zagreb 1987

Br. 3

SADRŽAJ

Poruke Okruglog stola	199
<i>Pravdić V.</i> : Energetika i ekologija (Originalni znanstveni rad)	201
<i>Kandžija V.</i> : Energetska politika Evropske zajednice (Pregledni rad)	207
<i>Mužek Z.</i> : Karakteristike kondenzacijsko-oduzimnog rada turbine za nuklearnu elektranu snage 1 000 MW (Originalni znanstveni rad)	215
<i>Nadinić B.</i> : Proračun emisija ekološki značajnih elemenata i spojeva iz TE Plomin I. i II. za različite postupke odsumporavanja dimnih plinova (Originalni znanstveni rad)	231
<i>Fagarazzi A.</i> : Transformatorske stanice 35/10 kV u Srednjoj Dalmaciji (Pregledni rad)	241
<i>Crnogorac Ž.</i> : Odabiranje regulacije napona pomoću računala (Stručni rad)	247
<i>Štajer B.</i> — <i>Pavić I.</i> : Prostorno planerski, urbanistički i građevinski aspekti vođenja trase daljinskog transporta topline (Pregledni rad)	251
<i>Čurković J.</i> — <i>Jelavić V.</i> — <i>Postružin Ž.</i> — <i>Varaždinec Z.</i> : Procjena prizemnih koncentracija SO ₂ u okolini TE Plomin 1 i 2 (Originalni znanstveni rad)	255
<i>Kokelj P.</i> : O pisanju stručnih i znanstvenih članaka i rasprava (Stručni rad)	269
Vijesti iz elektroprivrede	275
Širom svijeta	278
Nove knjige	282
Oglasi	283

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 3000 dinara, a za poduzeća i ustanove 8000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 1500 (za studente 200) dinara.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

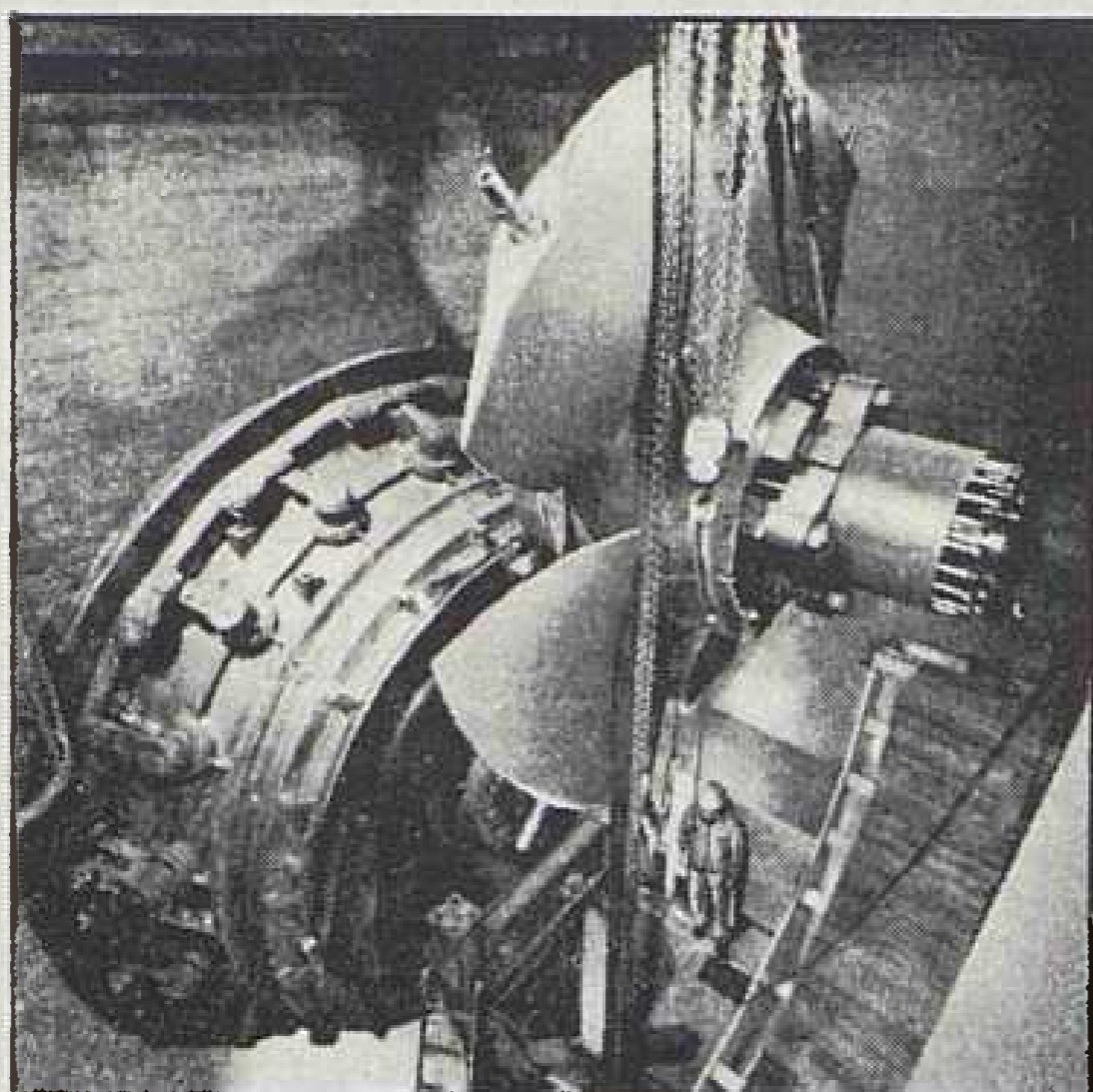
Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec

Bez obzira da li se govori o postrojenjima za proizvodnju pare, komponentama nuklearnih centrala, pumpama, cijevnim armaturama i regulacijakim sistemima, kombiniranim postrojenjima s plinskim turbinama i parnim postrojenjem, plinskim turbinama, vodenim turbinama, postrojenjima za rekuperaciju topline itd.

Sulzer je mjerodavan za energetska tehniku

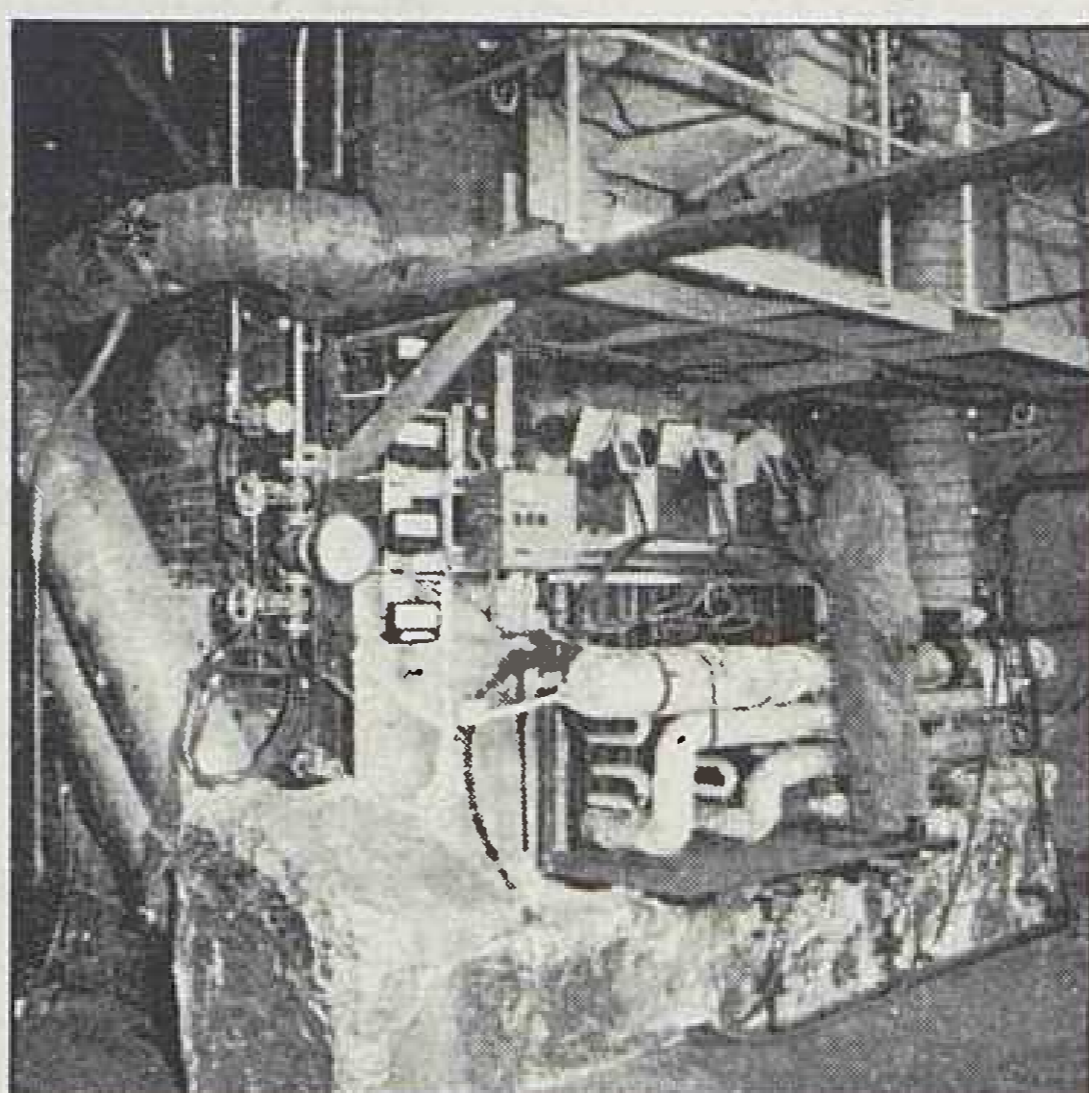
Evo tri primjera koji to i potvrđuju:



Straflo®-turbine za »Annapolis Royal« prvu elektranu na plimu i oseku u Sjevernoj Americi.

U već postojećoj pregradnji jednog zaljeva u Kanadi izgrađena je elektranu na morske mijene s velikim Straflo-turbinama, koja služi i kao pilotno postrojenje za projekt »Bay of Fundy«.

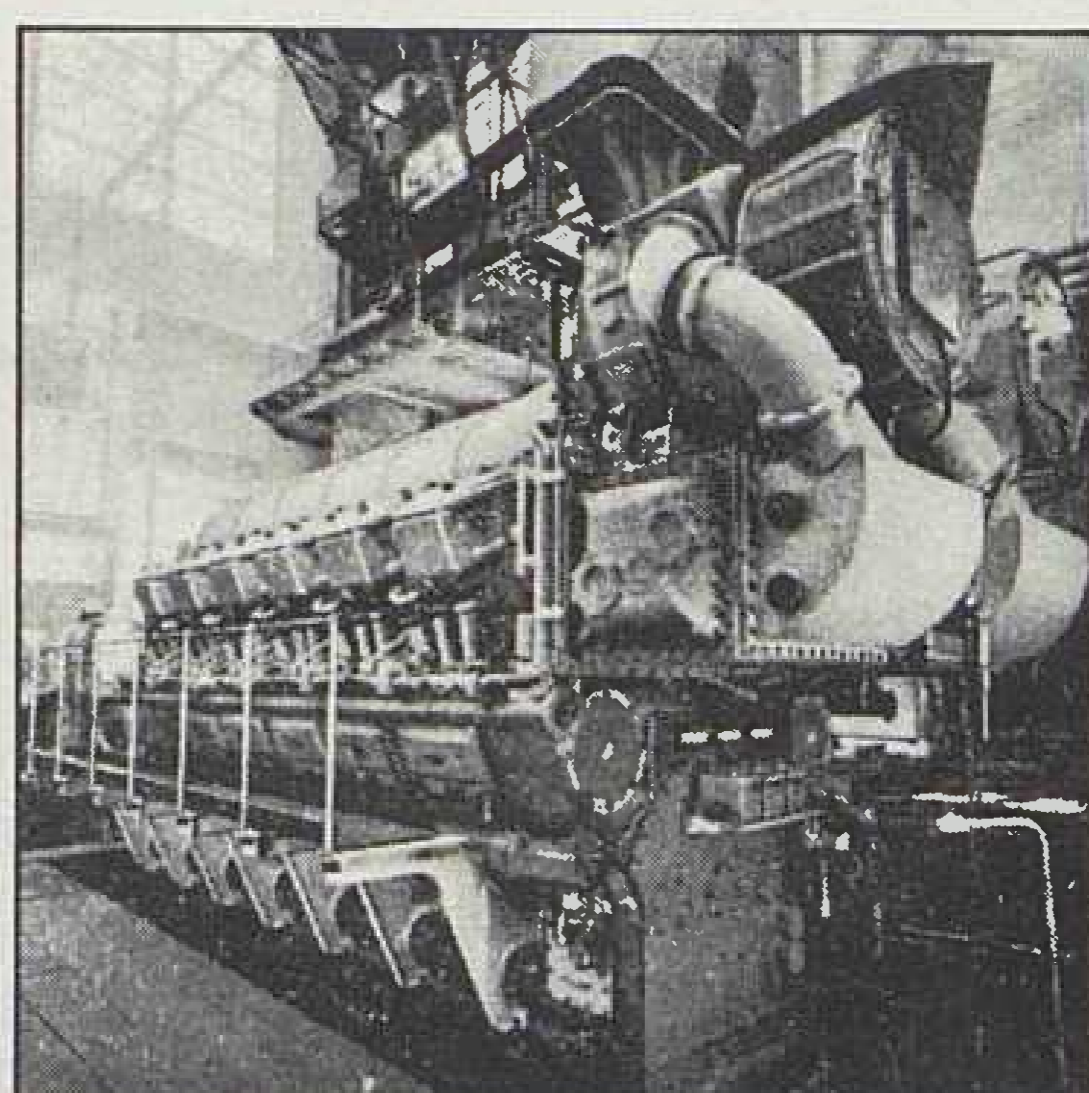
Straflo-turbine, produkt poduzeća Sulzer-Escher Wyss, grade se kod Dominion Bridge-Sulzer Inc. Kanada (Joint-Venture).



Ložišta s izgaranjem goriva u lebdećem sloju omogućuju po okolinu bezopasno loženje ugljenom.

Više od tri godine isprobava se Sulzerovo ispitno kotlovska postrojenje, s ložištem s izgaranjem goriva u lebdećem sloju, različitih vrsta ugljena.

Takvim ložištima postižu se vrlo niski udjeli sumpornog dioksida u plinovima izgaranja, jer i do 80% od u ugljenu sadržanog sumpora biva vezano na vapno koje se u tom postupku dodaje ugljenu. Udio dušikovih oksida je također niži nego u klasičnim ložištima.



Dizel-elektrana i toplana Kufstein u Austriji sa 97% raspoloživosti i ukupnim stupnjem iskorištenja energije od cca 89%.

Takva postrojenja pretvaraju cca 40% od dovedene energije direktno u električnu energiju, cca 50% biva iskorišteno predavanjem otpadne topline toplovodnoj mreži, tako da su gubici samo cca 10% od dovedene energije.

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft
CH-8401 Winterthur, Schweiz
Telefon 052 81 11 22
Telex 89606011

SULZER®

PORUKE OKRUGLOG STOLA



U skladu s odlukom Izdavačkog savjeta, Energija kroz tribinu Okruglog stola nastavlja s razgovorima o aktualnim temama elektroenergetike. Tako je 29. svibnja održan Okrugli stol na temu »Raspad elektroenergetskog sistema jučer, danas, sutra«. U višesatnoj diskusiji sudjelovalo je oko dvadeset najiskusnijih stručnjaka iz domene planiranja, izgradnje, eksploatacije i održavanja EES koji su analizirali fenomen raspada EES i vjerojatnost takve pojave u skoroj budućnosti. Budući da obrada te diskusije traži dosta vremena i da se ona neće pojaviti u Energiji prije petog broja u listopadu ove godine, dan je u ovom uvodniku izvještaj s naglascima Okruglog stola. To je potrebno stoga, što je razmjena mišljenja pokazala da je situacija teška, da su potrebne odlučne mjere i da je svaki dan kašnjenja koban.

Diskusijom se došlo do slijedećih konstatacija:

- električna energija na našem tržištu po svojoj kvaliteti i cijeni odgovara evropskom nivou i u tom pogledu znatno odskače od većine ostalih roba na tom tržištu,
- povremeni raspad EES nisu specifičnost našeg sistema no frekvencija njihove pojave u nas veća je od svjetskog prosjeka što je naročito naglašeno u području sjeverozapadne Hrvatske,
- raspad EES treba, naime, promatrati kao ekonomski fenomen, jer je direktno ovisan o ulaganjima u izgradnju, eksploataciju i održavanje sistema s jedne strane, te o vrednovanju neisporučene energije uslijed raspada s druge strane. Apsolutno siguran EES ne postoji, jer bi bio preskup,
- pored nedostatka radne energije naponski kolaps, odnosno manjak jalove energije, bio je odlučujući faktor kod većine dosadašnjih raspada, ali iz toga nije izvučena odgovarajuća pouka,
- izgradnja izvora električne energije za potrebe elektroprivrede Hrvatske katastrofalno kasni. Radi poznatih razloga nije, naime, započeta izgradnja NE Prevlaka, nije ugovorena izgradnja TE u drugim republikama i sporazum se skoro ne nazire. Usporena je izgradnja TE Plomin 2 i s obzirom na probleme raspoloživog ugljenja, ekologije i cijene budućeg kWh nije jasna budućnost te elektrane,
- realizacija preostalog hidropotencijala je doduše u toku, ali ona nažalost ne rješava osnovni energetski problem, a uz to ima visoke specifične troškove izgradnje,
- u 1994. godini ističe ugovor o eksploataciji TE Tuzla 4 kao i radni vijek bloka 1 u TE Sisak i TE Plomin 1,
- radi navedene situacije nakon 1990. godine pojavljuju se ozbiljni manjkovi snage u EES Hrvatske koji se penju i preko 1.000 MW u 1995. godini. Sve ovo vrijedi pod uvjetom da u tom razdoblju bude stalna opskrba tekućim gorivom i da ne bude većih kvarova na značajnim proizvodnim jedinicama,
- izgradnja druge etape osnovne 400 kV mreže u zapadnom dijelu nije realizirana. To se odnosi na 400 kV dalekovode Tumbri–Melina, Krško–Beričevo i Banja Luka–Tumbri,
- izgradnja tehničkog sistema upravljanja (TSU) u jugoslavenskoj elektroprivredi također značajno kasni što smanjuje mogućnost efikasnog upravljanja sistemom, a time i sigurnost EES,
- financijska sredstva za održavanje postrojenja već su godinama nedovoljna s tendencijom smanjivanja što vodi sve lošijem stanju postrojenja,

- nezadovoljavajuća kvaliteta kadrova iz škola usmjerenog obrazovanja, manjak studenata na energetske smjerovima elektrotehničkih fakulteta i niski osobni dohoci stručnjaka u elektroprivredi prijete kadrovskim kolapsom i ozbiljno će ugroziti sigurnost EES u skoroj budućnosti,
 - javnost zbog nepotpune obavještenosti potcjenjuje osnovne energetske probleme, precjenjuje alternativna rješenja često zbog pomodarstva i sklona je donositi zaključke bez ozbiljne stručne podloge,
 - zbog općeg ekonomskog položaja elektroprivrede njena stručna rukovodstva i organi upravljanja gube vrijeme na svakodnevno »gašenje požara«, a premalo vremena im ostaje za najvažnije probleme elektroenergetike,
 - uzevši u obzir navedene konstatacije jasno je da ubuduće, a naročito nakon 1990. godine treba računati ne samo s većom vjerojatnošću raspada već i s pretnjom ozbiljnih redukcija.
- Suočeni s ovakvom situacijom učesnici Okruglog stola došli su do slijedećih zaključaka koji doduše nikoga ne obvezuju, ali ipak služe kao poruka:
- najviši organi Republike u suradnji sa ZEOH-om trebaju najhitnije donijeti plan izgradnje proizvodnih objekata s mogućim rokovima izgradnje, investicionim ulaganjima i cijenom proizvedenog kWh. Kao jednu od varijanata treba uvrstiti TE na uvozni ugljen,
 - kod operativnog planiranja treba odmah uvesti obaveznu obradu bilance jalove snage i energije za karakteristično stanje, te hitno pristupiti izgradnji kompenzacijskih uređaja koji nedostaju, naročito u zagrebačkom području,
 - kako je izgradnja izvora u zakašnjenju treba za prelazni period maksimalno izgraditi interkonektivnu mrežu 400 kV kako bi se mogli kupovati, bilo domaći viškovi, bilo bazna energija iz mreže UCPTÉ, odnosno preko te mreže. To se odnosi na DV 400 kV Tumbri – Melina, Maribor – Austrija i Banja Luka – Tumbri,
 - u godišnjim planovima elektroprivrede treba osigurati realne iznose za održavanje i ustrajati na realizaciji planova održavanja. To više, što oni u ukupnim troškovima iznose svega oko 2%,
 - treba podržati sve akcije za bržu realizaciju TSU kako bi se s postojećim kapacitetima u EES Jugoslavije moglo uspješnije upravljati,
 - zajedno sa sveučilištem i industrijom (R. Končar) pronaći rješenje da se popravi situacija na energetske smjerovima elektrotehničkih fakulteta. Ta akcija je već započela, ali na žalost bez sudjelovanja elektroprivrede,
 - hitno riješiti pitanje osobnih dohodaka stručnjaka u elektroprivredi kako bi postala konkurentna ostaloj privredi i vanprivredi prije nastupa kadrovskog kolapsa koji je već započeo,
 - nakon toga razraditi ozbiljni program o školovanju i testiranju kadrova u samoj elektroprivredi.

Glavni urednik

ENERGETIKA I EKOLOGIJA

Metodologija optimizacije sustavnim planiranjem

Dr. Velimir Pravdić, Zagreb

UDK 577.4:620.9

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Obrađuje se princip multidisciplinarnog pristupa odabiranju lokacija termoelektrane na morskoj obali i njene tehnologije s obzirom na tjecaj na okolinu.

Ključne riječi: energetika, ekologija, rashladna voda, rizik, donošenje odluke

1. UVOD. POLAZIŠTA OVIH RAZMATRANJA

Deficitarni smo električnom energijom, i ne samo tom vrstom energije, ali je primjerena i sigurna opskrba električnom energijom najvažniji uvjet našeg daljeg razvoja. Isto tako danas ne treba više nikoga uvjeravati da svaka hidroelektrana ili termoelektrana izaziva veće ili manje sporove zbog njezina utjecaja na okolinu odnosno na druge gospodarske djelatnosti. Dovoljno je spomenuti velike rasprave oko hidroelektrana u kanjonu Tare, zatim na Drini ili na rubu i u samom nacionalnom parku rijeke Krke (Knin-Šibenik). Ne moramo spominjati ni rasprave koje se vode oko termoelektrana na ugljen s visokim sadržajem sumpora, kao Plomin ili Ugljevik, ili oko onih na Kosovu. O lokaciji i tehnološkim sustavima planiranih nuklearnih elektrana potrošeno je mnogo riječi i još više emocija, a još uvijek se ne nazire sustavni pristup planiranju. Nuklearna energetika nosi specifične probleme, prije svega stoga što su to tehnološki sustavi koji ne trpe pogreške ni u lociranju, ni u planiranju, odabiru tehnologije, ni u pogonu.

Neosporno je da rasprave o svim tim problemima treba voditi. Međutim većina rasprava vođenih kako s aspekta nacionalnog gospodarstva, tako i odabira tehnologije ili zaštite okoline (socijalne, duhovne, tradicijane i okoliša) nose sobom manjak multidisciplinarnog pristupa i definiranih, opće prihvaćenih normi procjene odnosa troškova i dobrobiti [1,2]. Nema dogovora o tome što je to opća dobrobit i proračunava li se ona u lokalnim, općinskim, republičkim ili saveznim dimenzijama, a da o trošku, osim direktno monetarnom, i ne govorimo. Planiranje se uglavnom svodi na »zatvaranje financijske konstrukcije«. Taj pojam dozvolio je izgradnju i onih objekata koji su postali ili posvemašniji promašaji ili su opteretili okolinu značajnim stupnjem zagađivanja.

Okoliš je najčešća žrtva naših nedorečenosti. Njegovu smo kvalitetu srozali više i dublje nego što je to bilo uopće potrebno, a sigurno ne sumjerljivo sa stupnjem našeg tehnološkog razvitka i gospodarstve-

ne snage. Društvene reakcije na naš način razvojnog planiranja, koji je počeo nalikovati na tradicionalne discipline povlačenja užeta ili bacanja kamena s ramena, nalazimo danas u udaljavanju mladih u odabiru studijskih disciplina i profesije od tehničkih i prirodnih znanosti (tu posebno kemije), te u emocionalnim reakcijama građana na neriješene probleme zagađivanja okoline.

Pretežan dio naših planskih odluka donosi se izolirano unutar pojedinih disciplina. Gospodarsko planiranje u krugu političara, ekonomista, pravnika i sociologa stvara svoje vizije često u raskoraku s tehnološkim razvojem i ekološkim činiocima. Inženjerske struke (električari, elektroničari, strojari, građevinari i kemičari) sklone su rješenjima koja su se već potvrdila u domaćoj ili inozemnoj praksi, uz napomenu da se inovativna komponenta ograničava na poboljšanje postojećih tehnoloških sustava, posebno ugradnjom uređaja za pretvorbu otpadaka. Na kraju lanca stoje ekolozi (»zeleni«) kojima se povjerava zadaća da stavljeni pred gotov čin spase što se spasiti dade. Sporovi koji su očekivana posljedica takvog, segmentiranog planiranja razvojnih projekata rješavaju se političkim odlučivanjem. U slučaju promašaja krivci se traže u jednoj od tih struktura kao cjelini (iako je sve češće dežurni krivac »znanost«), a ne u manjku sustava u planiranju i donošenju odluka.

Autor nema ambiciju da ovim člankom razriješi sve probleme planiranja i razvoja energetike, prije svega što su mu do pojedinosti poznate samo ekološke dimenzije problema, a i stoga što, vrlo vjerojatno, nema pojedinca koji može biti kompetentan u tako kompleksnom sustavu ljudske djelatnosti. Ovdje želimo razmotriti primjer metodologije odabira lokacije i tehnologije za jednu elektranu na morskoj obali s obzirom na njezin utjecaj na okolinu. Pri tome se ograničavamo isključivo na problem odbacivanja otpadne topline.

Ova razmatranja sadržana su u izvještajima [3,4] koje su za potrebe sustava agencije Ujedinjenih naroda izradile interdisciplinarne radne grupe međunarod-

nih stručnjaka. Primjer nije ograničen samo na otpadne vode: njegova sustavnost u planskom pristupu može se primijeniti i na emisiju SO_2 ili na proračun utjecaja ispuštanja kratkoživućih radionuklida.

2. UTJECAJ TERMoeLEKTRANE NA OKOLINU: PROBLEM ODBACIVANJA RASHLADNE VODE

U tipičnoj termoelektrani od 1 GWe s protočnim hlađenjem uz pretpostavljeni stupanj konverzije od 40 % treba odvoditi oko 2,5 MWt u okolinu. To zahtijeva 30 do 40 m^3/s rashladne vode uz pretpostavku da je ΔT ograničen na 10 °C. Odnos degradirane topline odbačene u atmosferu prema onoj u rashladnu vodu ovisit će o tipu fosilnog goriva, čvrstog, tekućeg ili plinovitog; u nuklearnim elektranama najveći dio topline odvodi se rashladnom vodom. Ta je zagrijana voda tek jedan dio ekoloških problema [5,6].

Upotreba morske vode (analogno i riječne) u protočnom sustavu zahtijeva primjenu biocida, ponajčešće klora, kako bi se spriječio biološki obraštaj (alge, raspadni organski materijal) [7]. Čak i u slučaju upotrebe izmjenjivača topline s pločama od titana i tehnološkim rješenjem s obrtom strujanja između usisa i izbacivanja potrebna je povremena upotreba biocida radi sprečavanja adhezije degradiranog organskog materijala. Otpadne vode sadrže ostatke biocida, odnosno klora (hipokloriti ili elementarni klor) i predstavljaju daljnje opterećenje ekosustava zagađivalima. Čak i ako je sav biocid razgrađen na izlazu ispusta u more, stvoreni su klorirani ili oksidirani organski spojevi, od kojih su neki vrlo toksični.

Planiranje smještaja ispusta obavlja se danas najbolje hidrodinamičkim i fizikalnim modeliranjem [8-10], u koje se uz teoriju difuzije i konvekcije uključuju biološki, fizikalni i kemijsko-kinetički podaci o kruženju i razgradnji zagađivala u ekosustavu.

Rezultat tih modelnih podataka su oblik i veličina perjanice («plume») utjecaja, koja se mora provjeravati u praksi. To je provjeravanje nužnošću provedbe pomaknuto vremenski do puštanja postrojenja u pogon, kada su ispravci pogrešaka realno nemogući. Klasičan je svjetski primjer pogrešno locirane elektrane u Turkey Pointu, Florida [11], gdje je opažena i dokazana znatna degradacija prirodne okoline kao posljedice rada tog postrojenja. Ako takva ekonomija, kao što je američka, ne nalazi snage da zbog ekoloških razloga zatvori izgrađenu, iako pogrešno lociranu elektranu, mnogo je manje vjerojatno da će to biti moguće u jednoj objektivno maloj ekonomiji.

Pouka je iz povijesti takvih projekata da u postupak planiranja, prije donošenja bilo kakve odluke, treba uključiti sustavnu optimizaciju i prilagodbu uvjetima.

3. JADRANSKO PRIOBALJE KAO LOKACIJA: UVJETI I OGRANIČENJA

Jadran, iako ne samo on, postaju ozbiljno razmatrane lokacije za izgradnju novih energetske postroje-

nja [12]. Ne mora se posebno naglašavati da povećanje ekonomičnosti elektrana zahtijeva i povećanje njene jedinične snage. Standardna nuklearna elektrana zahtijeva i povećanje njene jedinične snage. Standardna nuklearna elektrana bliže budućnosti bit će vjerojatno između 1 i 2 GWe. Projektiranje elektrana na uvezani ugljen, ako se o takvom pothvatu počne razmišljati kao što je to bio slučaj za Vir, također će zahtijevati koncentraciju postrojenja na jednoj lokaciji istog reda veličine. Ako bar za potrebe ovih razmatranja izostavimo spominjanje ekonomske dimeznije, još uvijek moramo razmotriti međudodnos tehnologije i ekoloških ograničenja. To posebno stoga što našu prisutnost na obalama jednog malog poluzatvorenog mora ne promatramo ni primarno, a sigurno ne isključivo sa stajališta sektorske dohodovnosti, već sa stajališta nacionalne dobrobiti, drugih tradicionalnih djelatnosti, kao i životnog prostora osobite kvalitete.

Locirati treba na dobro prostrujanim priobalnim područjima, koja ujedno nisu mjesta vezana za biološku reprodukciju ribljih vrsta ili školjkaša. Ako takva elektrana izgara kruto ili tekuće gorivo, trebat će skuberima ispirati izlazne plinove od krutih čestica i SO_2 . Doprema i pretovar ugljena dugoročno će opteretiti more i dno česticama prašine koja se sporo razgrađuje, a prije toga sljepljuje sediment i onemogućava razvoj trave (algi) i svih pridnenih životnih zajednica (npr. škampa). Utjecaj se može prostirati i na više desetaka kilometara od neposredne lokacije ako uvjeti kretanja vodenih masa to određuju. U slučaju nuklearnih elektrana treba uza sve mjere opreza pretpostaviti tehnološki otpust od 10^{11} Bq, od čega možda 1 % dugoživućih radionuklida. Pri tome treba predvidjeti da zagrijavanje mora prvlači ribe i druge organizme za vrijeme hladnog (zimskog) razdoblja u neposrednu blizinu i time opterećuje usisni sustav. Iako se ispust može tehnološki izvesti i ispod površine, topla se voda ipak ispušta u površinski sloj: to može pospješiti zamagljivanje atmosfere uz određene meteorološke uvjete.

Ne treba zaboraviti ni subjektivne utjecaje na lokalnu ili povremenu populaciju (turiste). Taj psihički činiac je realna gospodarstvena kategorija koja utječe na cijenu proizvedene energije zbog eventualnog gubitka drugih privrednih djelatnosti.

4. ANALIZA PARAMETARA RIZIKA, IZVORA NESIGURNOSTI PODATAKA I SUSTAVA DONOŠENJA ODLUKA

Lociranje i izgradnja elektrane zahtijeva niz kompleksnih odluka u kojima niz ekonomskih, tehnoloških i ekoloških ciljeva treba brižljivo uravnotežiti sa socio-političkim činiocima [13,14]. U suvremenim uvjetima industrijske civilizacije ekološki činoci dobivaju dimenzije koje prelaze sva segmentirana područja društvenog djelovanja. Htjeli ili ne, programiranje energetske proizvodnje i potrošnje postaje civilizacijski problem najširih dimenzija. On je time nadišao, i po dimenzijama i po važnosti, sektorski način razvojnog planiranja.

Pokazala se potreba da se razvojno planiranje baš u području energetike postavi na sustavnu, uređenu i konzistentnu osnovicu. Poznate su različite metodologije koje se široko primjenjuju, pogotovo kada je glavni motivator takvog planiranja uvođenje ekološki podesnih tehnoloških rješenja. Nije potrebno naglasiti da idealna ekološka rješenja ne postoje, a da su mnoga od onih najpoželjnijih često podložna kratkoročnim ekonomskim ograničenjima.

Postoji težnja k formalizaciji postupaka donošenja odluka. Ono što treba odmah naglasiti jest da:

- (i) ne postoji takva formalizirana (ili normativizirana) metodologija donošenja odluka koja oslobađa donosioca od odgovornosti;
- (ii) ne postoji stanje »etičke neutralnosti« u ekološkim problemima; i
- (iii) logičku manipulaciju ulaznih podataka ne treba smatrati objektivnim prosuđivanjem.

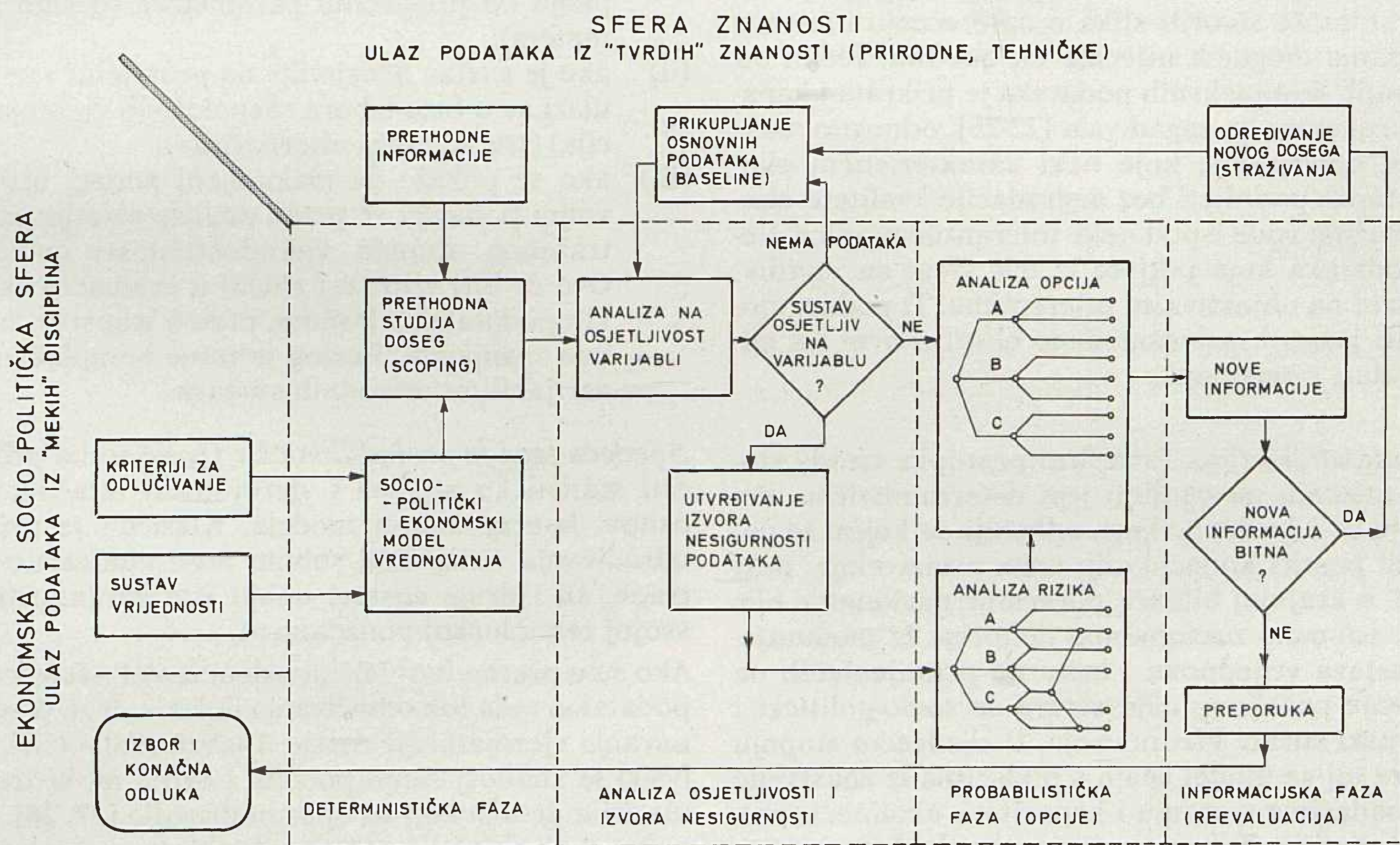
Vrlo često primjenjivana metoda jest ona koja je proizvod koncepta analize sustava (Systems Analysis): naziva se analizom donošenja odluka (Decision Analysis, DA) [15–18]. Ona se zasniva na definiciji vrijednosnog sustava, kriterija za odlučivanja, a ugrađuje u sebi analizu rizika, te procjenjuje prednosti i manjkove raspoloživih opcija (»analiza alternativa«), uključivši tu i opciju odustajanja od izvedbe projekta (No Action Option). Pri tome treba još naglasiti da definicija vrijednosnog sustava ne mora biti, i u odnosu na ekološke probleme ni ne smije biti, isključivo na monetarnoj osnovici. Nadalje, metoda analize donošenja odluka ne smije se identificirati s analizom troška i dobiti (Cost-Benefit Analysis, CBA) koja je, u najboljem slučaju, samo njen manji sastavni dio. CBA se može primijeniti samo u takvim društvenim sustavima koji su zasnovani na principi-

ma apsolutizacije tržišta i gdje su takva mjerila društveno prihvaćena. CBA ima posebno slabu stranu u ocjeni ekoloških vrijednosti, jer nije u stanju zaokružiti svoju logičku cjelinu bez pridodavanja cijene ljudskom životu (a to je etički problem), a niti je pogodna za usporedbu postojećih opcija koje se razlikuju u stupnju subjektivnog ili objektivnog rizika. O metodi CBA mnogo se pisalo i ta je metoda u tančine proučavana [19–21], te o njoj u primjeni na lociranje elektrana i odabir tehnologije ne bismo ovdje više raspravljali.

Metoda analize donošenja odluka (DA) zasniva se na definiciji vrijednosnog sustava i odabiru kriterija. Ona je naročito važna u društvima koja imaju tradicijom ili ideologijom ugrađenu averziju prema riziku, a posebno tamo gdje djelatnost uključuje neki makar vrlo mali rizik neugodnih ili vrlo loših posljedica. Nuklearna energija je upravo takav slučaj. Metoda DA podrazumijeva da kriteriji uključuju unaprijed izraženu sklonost struktura koje donose odluke prema nekim idejnim ili političkim rješenjima, a ne samo ciljeve ekonomske efikasnosti. Ovo nije trivijalno pitanje zato što se kod nas često događalo da su se neizbježni činiooci političke uvjetovanosti pokušavali zaodjenuti u ruhu ekonomskih odluka. U odlukama čije se posljedice mogu vrlo jako odraziti na socijalnu strukturu kriteriji odlučivanja moraju biti u skladu s poimanjem društvenih vrijednosti.

Sve navedeno doima se kao očito i već davno poznato. Nažalost, mnogi primjeri govore da u velikom broju neuspjelih projekata svi navedeni kriteriji nisu nikada bili sustavno uključeni u odlučivanje niti su bili jasno izraženi.

Na slici 1. pokazan je princip izrade studije o utjecaju na okolinu primijenjen na jednu zamišljenu elek-



Slika 1. Shematski prikaz izrade SUO pod uvjetima višestrukih izvora nesigurnosti podataka metodom analize odluka (Decision Analysis) (3)

tranu. Problem je reduciran na pitanje koja je od mogućih lokacija najbolja, te koji tip tehnologije za odbacivanje rashladne vode treba na toj lokaciji primijeniti.

Ulaz podataka za odlučivanje potječe iz dviju različitih sfera. Shematski je na lijevom kraju pokazana ekonomska i socio-politička sfera. Na vrhu dijagrama je znanstvena i tehnološka sfera. Ekonomska i socio-politička sfera naziva se u svjetskoj literaturi [2,22] područjem »mekih« znanstvenih disciplina. U tom području podaci dolaze kao posljedica ispitivanja mišljenja ljudi, odražavaju političku misao, socijalne tradicije, te na kraju i ekonomski sustav, koji je uvijek i u svakoj zemlji odabran kao posljedica političke misli. Utjecaj te sfere sastoji se u tome da se definira sustav vrijednosti i kriteriji za odlučivanje.

Sustav vrijednosti sastoji se u tome da se definiraju neki elementi društvenih i političkih odnosa koji moraju biti zadovoljeni neovisno od tehn-ekonomskih razmatranja. Takav se pristup primjenjuje u svim zemljama bez obzira na društveno-političko uređenje: razlika je jedino u tome što se u nekim slučajevima jasno postavljaju socio-politička opredjeljenja i ograničenja, a dok se u drugim slučajevima ti isti elementi sakrivaju unutar nekih ekonomskih natuknica, kod nas često u sintagmi »dogovorne ekonomije«. Kriteriji za odlučivanje uključuju određivanje prioriteta: taj može biti maksimalizacija profita, ili maksimalizacija zaštite okoline, ili davanje prednosti domaćoj tehnologiji ili upotrebi nekih domaćih rješenja, materijala ili strojeva.

Iz znanstvene sfere ulazni podaci odnose se na karakteristike tehnologije, te na poznavanje karakteristika okoline. Podaci o okolini vrlo su često kompleksni i traže duge vremenske nizove mjerenja prije nego što se može stvoriti slika o opterećenju i izvršiti predviđanje mogućih utjecaja na okolinu. Jedan od najvažnijih kompleksnih podataka je prikrata i kapacitet ekosustava za zagađivala [22-25], odnosno maksimalno opterećenje koje neki karakteristični ekosustav može podnijeti bez degradacije kvalitete okoliša, posebno vode ispod neke tolerantne granice. Većina podataka koja potječe iz ove sfere su »tvrđi«, zasnovani na objektivnim mjerenjima. Ti podaci moraju biti jasno i nedvosmisleno eksplicitarni i s njima se ulazi u postupak.

Deterministička faza. Prva faza postupka izrade studija o utjecaju na okolinu jest deterministička. Postavljaju se određeni ciljevi, odlučuje se kojim se putem želi postići konačni cilj; neka proizvodnja, neki učin ili, u krajnjoj bilanci, povećanje nacionalne blagodati, odnosno nacionalnog dohotka. Iz međuutjecaja sustava vrijednosti i kriterija primijenjenih na ostvarenje poželjnog cilja stvara se socio-politički i ekonomski sustav vrednovanja. U sljedećem stupnju iste faze taj se model spaja s podacima iz znanstvene sfere, podacima o stanju i kapacitetu okoline, u prethodnu studiju. Takva studija je predviđena i u našim Pravilnicima (npr. u Pravilniku o izradi Studija o utjecaju na okolinu SRH) [26]. Prethodna studija za-

snovana na tim podacima mora proći sustavnu provjeru.

Faza analize osjetljivosti i utvrđivanja izvora nesigurnosti podataka. Nakon uspostavljanja prethodne studije ulazi se u fazu analize osjetljivosti i utvrđivanja izvora nesigurnosti. Očito je da u jednom kompleksnom razvojnom projektu nisu svi podaci jednako osjetljivi na tehnološke i ekološke promjene, niti su dostupni s istim stupnjem preciznosti, točnosti i pouzdanosti u vremenskom nizu.

Primjerice, varijacije temperature rashladne vode na usisnom dijelu utječu na stupanj djelotvornosti tehnološkog sustava kao cjeline. One se mogu kompenzirati prilagodbom brzine ili kapaciteta prostrujavanja. Djelotvornost sustava je, prema tome, varijabla osjetljiva na varijacije u predskazanoj temperaturi vode. Održavanje stalnog koeficijenta prijenosa topline u izmjenjivaču osjetljivo je na stupanj biološke aktivnosti u području iz kojeg se crpi rashladna voda, i to zbog stvaranja taloga na pločama ili cijevima izmjenjivača. Tehnološki se to može kompenzirati udarnim kloriranjem ili oksigenacijom vode, ali se to plaća povećanim negativnim utjecajem na kvalitetu okoline ispuštom povećanih količina toksičnih organika. Obrat smjera usisa i ispusta, ako je predviđen tehnološkim rješenjima nosi sobom također cijenu u djelotvornosti sustava barem kroz kraći vremenski period.

U toj fazi se prikupljanjem niza podataka te vrste i količine, kako je navedeno, ulazi u prvi krug odlučivanja. Ako se ukaže osjetljivost sustava na promjene nekih varijabli, odlučuje se na sljedeći način:

- (i) ako je sustav osjetljiv, moraju se utvrditi izvori nesigurnosti, odnosno vjerojatni razlozi odstupanja od prosječnih parametara (design parameters);
- (ii) ako je sustav neosjetljiv na promjenu varijabli, ulazi se u fazu izbora raspoloživih rješenja (opcija) (tzv. »analiza alternativa«);
- (iii) ako se pokaže da prikupljeni podaci nisu dovoljni ponavlja se petlja analize osjetljivosti do traženog stupnja vjerodostojnosti podataka. Ovo će biti vrlo čest slučaj u evaluaciji ekoloških podataka, u kojima, prema iskustvu, uvijek ima manjkova. Razlog je tome kompleksnost i varijabilitet prirodnih sustava.

Sljedeća faza je probabilistička. Ovdje treba primijeniti statističku analizu i vjerojatnost izračunati na osnovi konceptualnih modela. Klasičan je primjer određivanja rizika koji sobom nose nuklearne elektrane, ali i drugi sustavi imaju iste karakteristike u svojoj tehnološkoj pouzdanosti.

Ako su u prethodnoj fazi utvrđeni izvori nesigurnosti podataka, tada tok odlučivanja dolazi u fazu proračunavanja vjerojatnosti rizika. Analiza rizika (risk analysis) je znanost sama po sebi i ovdje ne bi trebalo ulaziti u detalje koji su opisani drugdje [27, 28]. Ipak treba naglasiti da je pojam subjektivne percepcije rizika jednako toliko važan za sustav socio-političke sfere koliko i onaj objektivni, statistički. Tehnokrat-

ske strukture to vrlo često zaboravljaju i time ostvaruju nepotrebne sukobe. Ako društvo nije sklono prihvatu rizika (a upravo socijalistička društva stvaraju sustave socijalne sigurnosti lišene rizika), onda treba izabrati između raspoloživih opcija onu koja uključuje optimum između subjektivnog i objektivnog rizika.

Kada je opcija optimuma utvrđena na ovaj način, prilazi se konačnoj analizi opcija. Tu se na osnovi lokacijskih i tehnoloških opcija ide putem razgranatih funkcija gustoće vjerojatnosti. Funkcije gustoće vjerojatnosti mogu biti razne vrste; od onih poznatih u sekvencijalno statističkim procesima do onih koji upotrebljavaju složenu statističku vjerojatnost, do granice stohastičkih procesa.

Informacijska faza. Izabrano rješenje podvrgava se još jednom testiranju na osnovi pretraživanja dotoka novih informacija. Time izrada SUO ulazi u informacijsku fazu, odnosno fazu reevaluacije. U normalnim postupcima tu se sa SUO izlazi na javnu raspravu. Ako su nove informacije bitne (kao što je to npr. bila informacija o černobilskoj katastrofi) u subjektivnom ili objektivnom poimanju rizika, ulazi se u petlju određivanja novog dosega istraživanja. Postupak se mora vratiti u fazu analize osjetljivosti podataka na bazi tih novih informacija.

Ako konačna analiza pokaže da nove informacije nisu bitno izmijenile spoznaje na kojima se zasniva analiza utjecaja, dolazi se do preporuke. Preporuka je konačni čin u sferi interakcije svih društvenih činilaca, a pogotovo stručnjaka iz tehnologije, ekonomije i prirodnih znanosti.

Konačna odluka. Izbor i konačna odluka donosi se u socio-političkoj sferi. Tu činjenicu treba naglasiti stoga što je, posebno u našoj nedavnoj povijesti, bilo mnogo nastojanja prema alibizmu. Za promašaje se optuživala znanost, a nerijetko i znanstvenici. Ovaj sustavni postupak, kako je rečeno u uvodu, ne oslobađa nikog od tehnološke, materijalne, etičke ili moralne odgovornosti. On ima samo tu prednost da se u svakoj pojedinoj fazi kontrolom izvora informacija jasno definira odgovornost, ali i stupanj pouzdanosti podataka ili metodologija njihova prikupljanja.

LITERATURA

- [1] B. Commoner, H. Boksenbaum and M. Corr (urednici serije) Energy and Human Welfare, Vol. I, The Social Cost of Power Production, McMillan Information/Scientists' Institute for Public Information, New York, 1975, ISBN 0-02-46842-1.
- [2] J. MAYDA, Environmental Legislation in Developing Countries: Some Parameters and Constraints, Ecology Law Journal, Special Issue 1985.
- [3] GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/AEA/WHO/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution), V. PRAVDIĆ and G. HAWELLS, Chairmen, Thermal Discharges in the Marine Environment, Rep. Stud. GESAMP 24 (1984), FAO, Rim.
- [4] UNESCO, W. MAJEWSKI and D. C. MILLER (Editors), Predicting Effects of Power Plant Once-through Cooling on Aquatic Systems, Int. Hydrological Programme, Paris 1979.
- [5] UNEP/WHO, Waste Discharge into the Marine Environment: Principles and Guidelines for the Mediterranean Action Plan, Pergamon Press, Oxford 1982, ISBN 0-08-026194-9.
- [6] V. PRAVDIĆ, Effects of Thermal Water Discharges in the Marine Environment, IRPTC (International Register of Potentially Toxic Chemicals) Data Profiles for Chemicals for the Evaluation of their Hazards to the Environment of the Mediterranean Sea, UNEP, Geneva 1978.
- [7] Batelle Pacific Northwest Laboratories, J. R. Vanderhorst (Editor), Effects of Chlorine on Marine Benthos, EPRI (Electric Power Research Institute), Palo Alto, CA. USA 1982, Research Project 1224-4.
- [8] USEPA (United States Environmental Protection Agency), Workbook of Thermal Plume Prediction, National Environmental Research Center, Corvallis, Oregon, USA 1974, Doc. No. R-2-72-0056.
- [9] K. FEDRA, Mathematical Modelling — A Management Tool for Aquatic Ecosystems, Helgolander Meeresunters. 34 (1980) 221-235.
- [10] R. G. E. FRANKS, Modelling and Simulation in Chemical Engineering, Wiley-Interscience, New York 1972. Posebno vidi poglavlje IX: Distributed Systems, pp. 260-316.
- [11] A. THORHAUG, Tropical and Subtropical Thermal Pollution, Thalassia Jugosl. 20 No. 2 (1984) 103-113. Više detalja nalazi se u istom volumenu časopisa, koji je bio posvećen simpoziju »Thermal Pollution: Scientific Aspects of Marine Environmental Protection from heated Discharges and their Use, Prirnošten, 14. do 16. 05. 1984.
- [12] Institut za elektroprivredu, Zagreb, N. Malbaša (urednik), Izbor preliminarnih mikrolokacija za lociranje nuklearnih elektrana na području Dalmacije, IEP, Zagreb 1983.
- [13] J. V. WINTER and D. A. CONNER, Power Plant Siting, Van Nostrand-Reinhold, New York 1978, ISBN 0-442-29554-5.
- [14] G. E. BEANLANDS and P. N. DUINKER, An Ecological Framework for Environmental Impact Assessment in Canada, Inst. for Resource and Environmental Studies, Dalhousie University, Halifax, N. S. Canada, 1983.
- [15] R. A. HOWARD, Decision analysis: Applied Decision Theory, u: Proc. 4th Intl. Conf. on Operations Research, D. B. Hertz and J. Malese (Editors), Wiley-Interscience, New York 1966.
- [16] R. A. HOWARD, Social Decision Analysis, Proc. Inst. Elect. Electron. Eng. 63 No. 3 (1975) 359-371.
- [17] R. A. HOWARD, Editor, Readings in Decision Analysis, Decision Analysis Group, Stanford Research Institute, Menlo Park, CA. 1976.
- [18] C. SPETZLER and C. A. S. STAEL VON HOLSTEIN, Probability Encoding in Decision Analysis, Manage. Sci. 22, No. 3 (1975) 340-358.
- [19] P. BURROWS, The Economic Theory of Pollution Control, Martin Robertson & Co. Oxford, 1979, ISBN 0-85520-128-2.
- [20] World Bank, Environmental Considerations for the Industrial Development Sector, World Bank, Washington, D. C. USA, 1978.

- [21] N. STARC, Cost-Benefit analiza: njeni nosioci, postupak i teorijska osnova, Ekonomski pregled 3/4 (1980) 135 – 148.
- [22] GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution), V. Pravdić, Chairman, Environmental Capacity: An Approach to Marine Pollution Prevention, Rep. Stud. GESAMP No. 30, FAO, Rim 1986.
- [23] E. D. Goldberg (Editor), Assimilative Capacity of U. S. Coastal Waters for Pollutants, Proc. Workshop, Crystal Mountain, Wash. USA., US Dept. of Commerce /NOAA, Boulder, Colo. USA 1979.
- [24] Ju. A. IZRAELJ, Ekologija i kontrolj sotojanjija prirodnoj sredy, Gidrometoizdat, Leningrad 1979.
- [25] V. PRAVDIĆ, Prihvatni kapacitet okoline, ekološke studije i Studije o utjecaju na okolinu kao osnovni elementi integralnog planiranja razvoja, Kem. ind. 33 (1984) 199 – 208.
- [26] Rep. Komitet za gradivinarstvo, urbanizam, stambene i komunalne poslove i zaštitu čovjekove okoline SRH, Pravilnik o izradi studije o utjecaju na okolinu, Narodne novine SR Hrvatske br. 31 (1984). Ovaj Pravilnik se ispravnije nazivao »Pravilnikom za izradu ekoloških studija«, stoga što ne ulazi u elemente integralnog planiranja već samo propisuje način prikupljanja podataka i ocjenu utjecaja na okolinu.
- [27] H. ASHLEY, R. L. RUDMAN, and Ch. WHIPPLE, Energy and the Environment: A Risk-Benefit Approach, Pergamon Press, New York 1976. ISBN 0-08-020873-8.
- [28] A. V. White and I. Burton (Editors), Environmental Risk Assessment, Wiley, New York, 1980, ISBN 0-471-27701-0.

ENERGETICS AND ECOLOGY**Methodology of optimisation by sistem planning**

In the article is elaborated a multidisciplinary approach for TPP site evaluation on the sea coast and impact of technology on the environment.

ENERGETIK UND UMWELTSCHUTZ**Methodologie der Optimierung durch systematische Planung**

Im Artikel wird das Prinzip der multidisziplinären Wahl der Location der Wärmekraftwerke am Meeresufer behandelt, sowie ihre Technologien hinsichtlich des Einflusses auf die Umwelt.

ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ

Разрабатывается принцип мультидисциплинарного подхода к выбору местоположения тепловой электростанции на морском побережье и ее технология с учетом влияния на окружающую среду.

Naslov pisca:

**Dr. Velimir Pravdić, dipl. inž.
Institut »Ruđer Bošković«
41000 Zagreb, Bijenička cesta 54**

Uredništvo primilo rukopis
1987 – 04 – 26

ENERGETSKA POLITIKA EVROPSKE ZAJEDNICE

Mr. Vinko Kandžija, Zagreb

UDK 620.9:327(4)

PREGLEDNI RAD

U radu se obrađuje zajednička energetska politika zemalja Evropske ekonomske zajednice koja je dovela do smanjenja ovisnosti Zajednice o uvozu energije.

Ključne riječi: ugljen, nuklearna energija, nafta, alternativna energija, supstitucija, solidarnost

1. UVOD

Za Evropsku zajednicu energetske resursi imaju prvorazredno značenje. Zajednica je prvi svjetski uvoznik nafte. Funkcioniranje cjelokupnog političkog i ekonomskog sistema Zajednice direktno ovisi o adekvatnoj snabdjevenosti energentima. Problem opskrbe energijom posebno se pojavio 1973. godine, otkada Zajednica tom problemu pridaje posebnu pozornost.

Kako je Zajednica izrazito ovisna o uvozu energenata, a posebno nafte, to je dvanaest zemalja te integracije uvelo zajedničku energetska politiku kako bi zajedničkim istraživanjima povećale vlastite resurse i smanjile ovisnost o inozemstvu.

2. RAZVOJ ZAJEDNIČKE ENERGETSKE POLITIKE EVROPSKE ZAJEDNICE

Područje energetike u stvaranju Evropske ekonomske zajednice jest najparadoksalnije područje. Naime, u integriranju Zajednice ugljen je imao prvorazredno mjesto: proces ujedinjavanja Evrope započeo je Evropskom zajednicom za ugljen i čelik (Montanska unija) koja je osnovana pariškim sporazumom 1951. godine. Tada je postavljen kamen-temeljac i trasiran put prema ujedinjenju evropskih zemalja. Pri samom ujedinjenju evropskih zemalja snabdjevanje energentima imalo je vitalno značenje. Međutim uskoro su ugljen potisnuli drugi energenti.

Kako objasniti taj razvoj? U razdoblju od 1950. godine do 1980. godine odvijale su se dvije obrnute spektakularne situacije. Pedesetih godina Evropa je imala većih poteškoća u opskrbi energijom naročito zbog pomanjkanja inozemnih sredstava plaćanja. Situacija između šest zemalja Evropske zajednice za ugljen i čelik (CECA) bila je izrazito različita: nasuprot zemljama koje su bile relativno bogate energentima, kao SR Njemačka i Belgija, postojale su i zemlje koje su praktički bile bez energenata — Italija. Jedan od ciljeva pariškog sporazuma jest i stavljanje na

upotrebu njemačkog ugljena svim kupcima u cijeloj Zajednici uz jednake uvjete. S druge strane, zbog poteškoća u opskrbi u energentima osnovana je Evropska zajednica za atomsku energiju (CEEA ili Euratom) 1957. godine u Rimu s ciljem da u mirnodopske svrhe unaprijede zajedničku proizvodnju nuklearne energije.

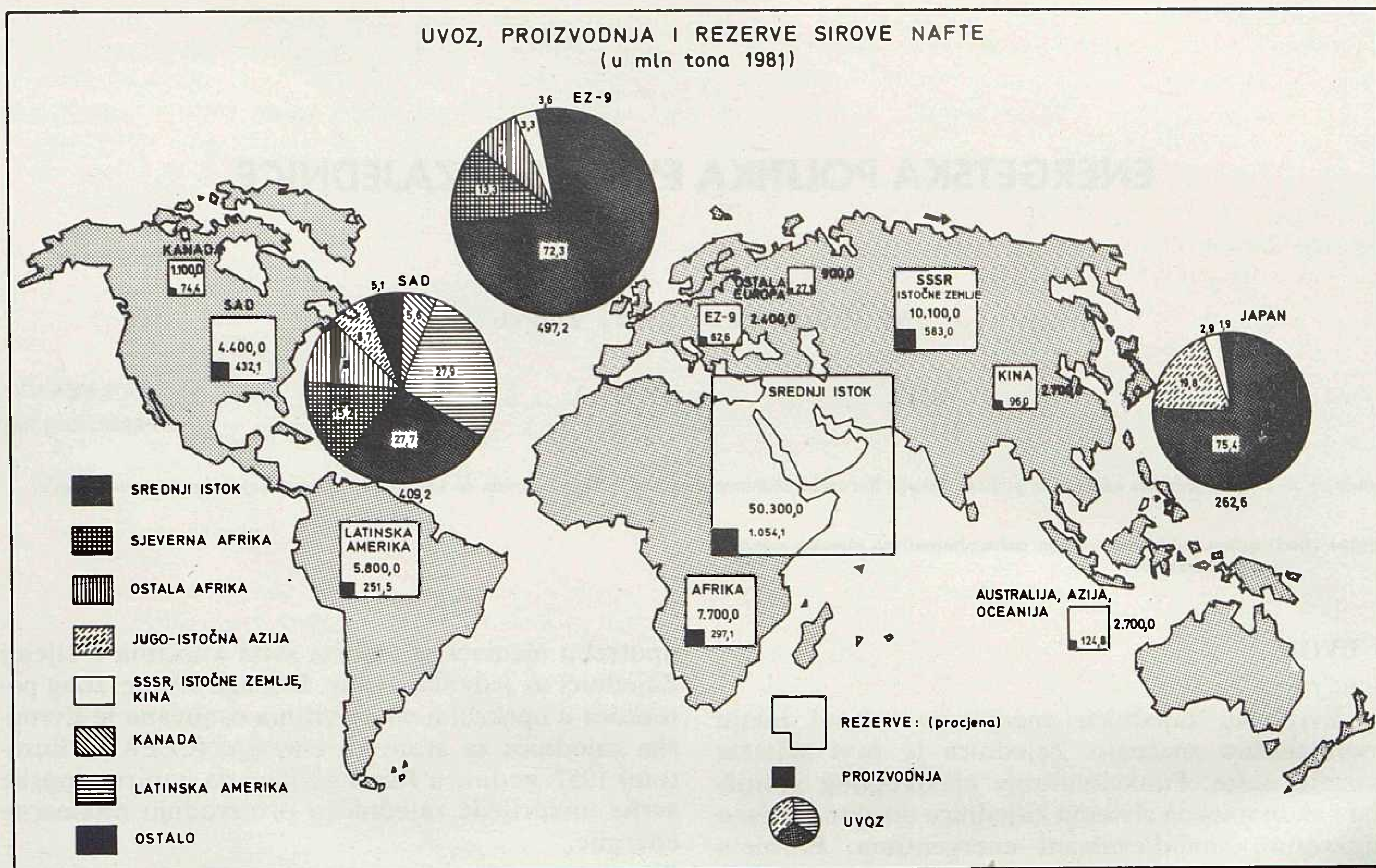
Šezdesetih godina situacija se promijenila. Nafta se pojavljuje u velikim količinama uz cijene koje su neprestano padale zbog golemih nalazišta nafte na Srednjem istoku, koje se eksploatirala uz veoma niske troškove (slika 1).

Ne samo da je nafta odgovorila naraslim potrebama energetske potražnje nego je i obezvrijedila ugljen, čije se značenje u energetici smanjuje ne samo u relativnoj nego i u apsolutnoj vrijednosti. Međutim, tržište nafte postaje nestabilno. Naime, osim proizvodnje po niskim troškovima (Srednji istok) pojavljuju se proizvođači koji eksploatiraju naftu uz mnogo veće troškove (Venezuela, SAD) i dolazi do jednog stalnog oblika rente što je išlo u prilog potrošačima koji su željeli nisku cijenu nafte. Međutim, perspektiva za zemlje koje su raspolagale takvim zemnim bogatstvom nije bila adekvatna perspektivi zemalja koje su gradile svoje kapacitete na uvoznoj nafti.

Sedamdesetih godina stvara se organizacija zemalja izvoznica nafte (OPEC) i dolazi do modifikacije u kalkuliranju cijene nafte što je zaustavilo pad cijena energiji (nafti). Time se Zajednica okreće racionalizaciji energije i povećavanju vrednovanja ostalih izvora energije.

Nakon pojave energetske krize Evropska zajednica pokušava definirati i uvesti zajedničku energetska politiku, ali mjere koje je poduzela krajem 1973. i početkom 1974. godine bile su bez veće koordinacije i solidarnosti, što je umanjivalo efikasnost i sadržavalo određenu opasnost u konstrukciji Zajednice.

Međutim, konvergencija nacionalnih politika i elaboriranje zajedničke energetske politike jest kapitalni element integracije zemalja Evropske zajednice, a mjere koje se poduzimaju unutar tih zemalja jačaju



Slika 1.

položaj Zajednice na međunarodnoj sceni, što stvara veću snagu i efikasnost i jača solidarnost dvanaest zemalja Zajednice koje danas objedinjuju oko 321 milijun stanovnika.

Prvi napori evropskih institucija u trasiranju zajedničke energetske politike ne potječu od jučer. Naime, Radna grupa za energiju prihvatila je u lipnju 1962. godine Memorandum o energetskej politici koji je težio realizaciji slobodnog kretanja energetskih proizvoda u sklopu zajedničkog tržišta i sadržavao detaljnije propozicije o diverzifikaciji vanjskog snabdjevanja energentima, podržavanju unutrašnje proizvodnje, naročito ugljena, bržem razvoju nuklearne energije, zalihama, porezima i režimu uvoza. Memorandum je prvi istinski pokušaj stvarne energetske politike Evropske zajednice. [L 2].

Napori Komisije Evropske zajednice su se multiplicirali nakon »Prve orijentacije zajedničke energetske politike« koju je prosljedila Savjetu ministara Evropske zajednice u prosincu 1968. godine. Značajna su dva rada koje je Komisija dostavila Savjetu ministara: Nužan napredak zajedničke energetske politike u listopadu 1972. godine i Orijehtacija i prioritetne akcije u zajedničkoj energetskej politici u travnju 1973. godine. Zadnji rad odnosi se na probleme nove konfiguracije svjetskog tržišta energijom.

Naftna kriza i njezine implikacije dovole su do konferencije na vrhu zemalja Evropske zajednice koja se je održala u Kopenhagenu 14. i 15. prosinca 1973. Pokazalo se nužnim da Zajednica odmah poduzme efikasnije mjere energetske politike, a da bi to lakše realizirala, osnovan je novi organ: Komitet za energiju

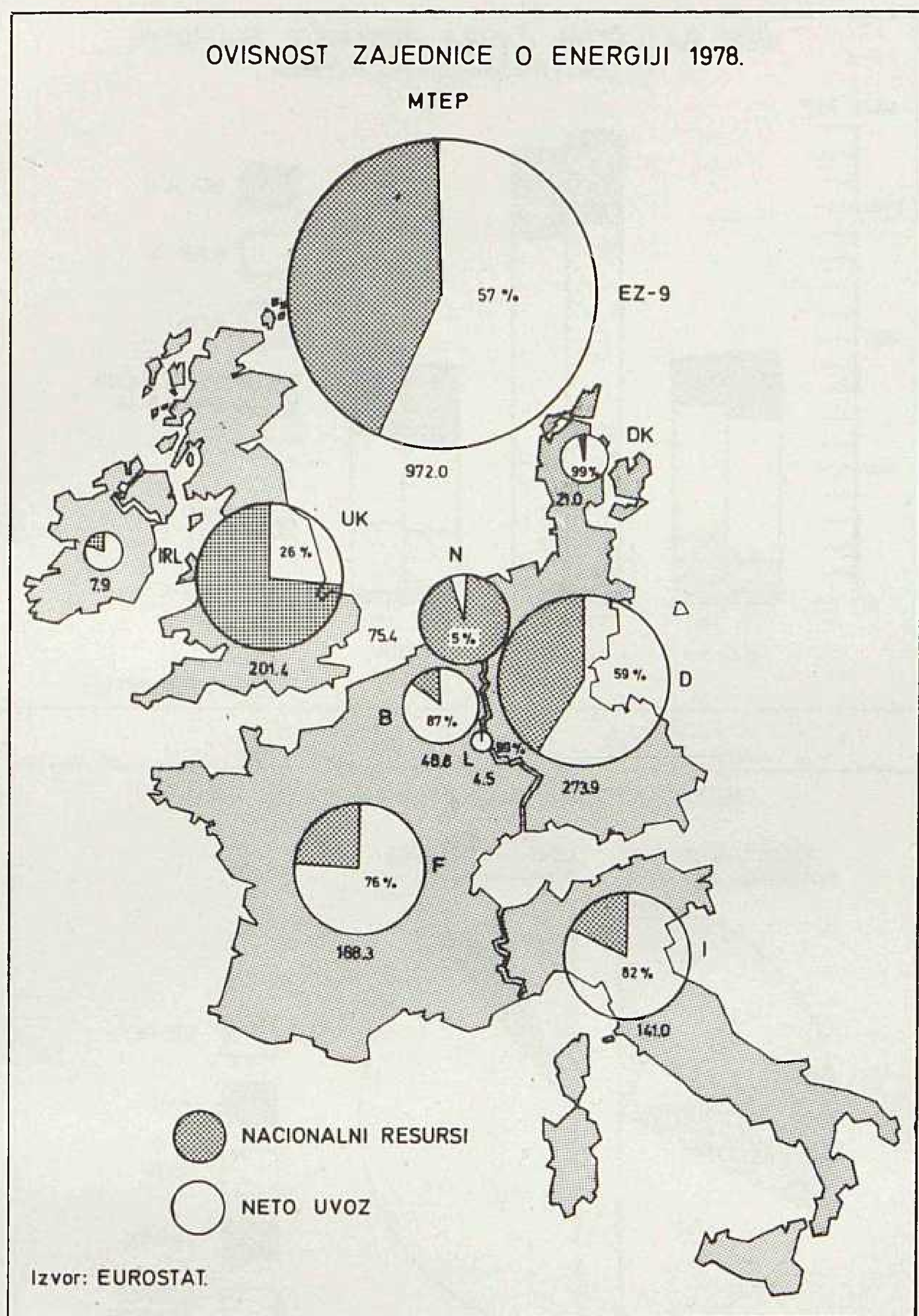
koji je sastavljen od predstavnika zemalja članica na kojem presjedava član Komisije Evropske zajednice. Komitet ima za cilj da osigurava primjenu koordinacije između zemalja članica u mjerama koje poduzima Zajednica, daje informacije i konzultacije zemljama članicama i Komisiji Zajednice o uvjetima opskrbe i predviđanjima te da pomaže Komisiji u elaboriranju svojih propozicija.

U svibnju 1974. godine Komisija je prosljedila Savjetu ministara komunikaciju pod naslovom »Prema novoj strategiji energetske politike Evropske zajednice«. Predložila je Savjetu ciljeve koji su se odnosili na strukturu snabdjevanja Zajednice energentima u 1985. godini: [L 3]. Navedeni materijal obuhvatao je prijedloge svih zemalja Zajednice na temelju sektorskog stanja svih oblika energije nametnutih novim uvjetima.

Tenzije koje su se pojavile u 1979. godini, kao i poteškoće u ostvarivanju ciljeva za 1985. godinu dovele su do toga da je Komisija u svojoj komunikaciji Energetske ciljevi Zajednice za 1990. godinu i politika konvergencije zemalja članica dala točnu strukturu potrošnje energenata po pojedinim energentima. Ti novi ciljevi su precizirani u Energetskom programu Evropske zajednice koji je donesen 1979. godine.

Od 1973. godine, od početka energetske krize, problem energije sastavni je dio svih dnevnih redova Evropskog savjeta, gdje se sastaju šefovi država ili vlada zemalja Evropske zajednice.

Orijehtacija energetske politike koju je predlagala Komisija Evropske zajednice inspirirana je s nekoli-



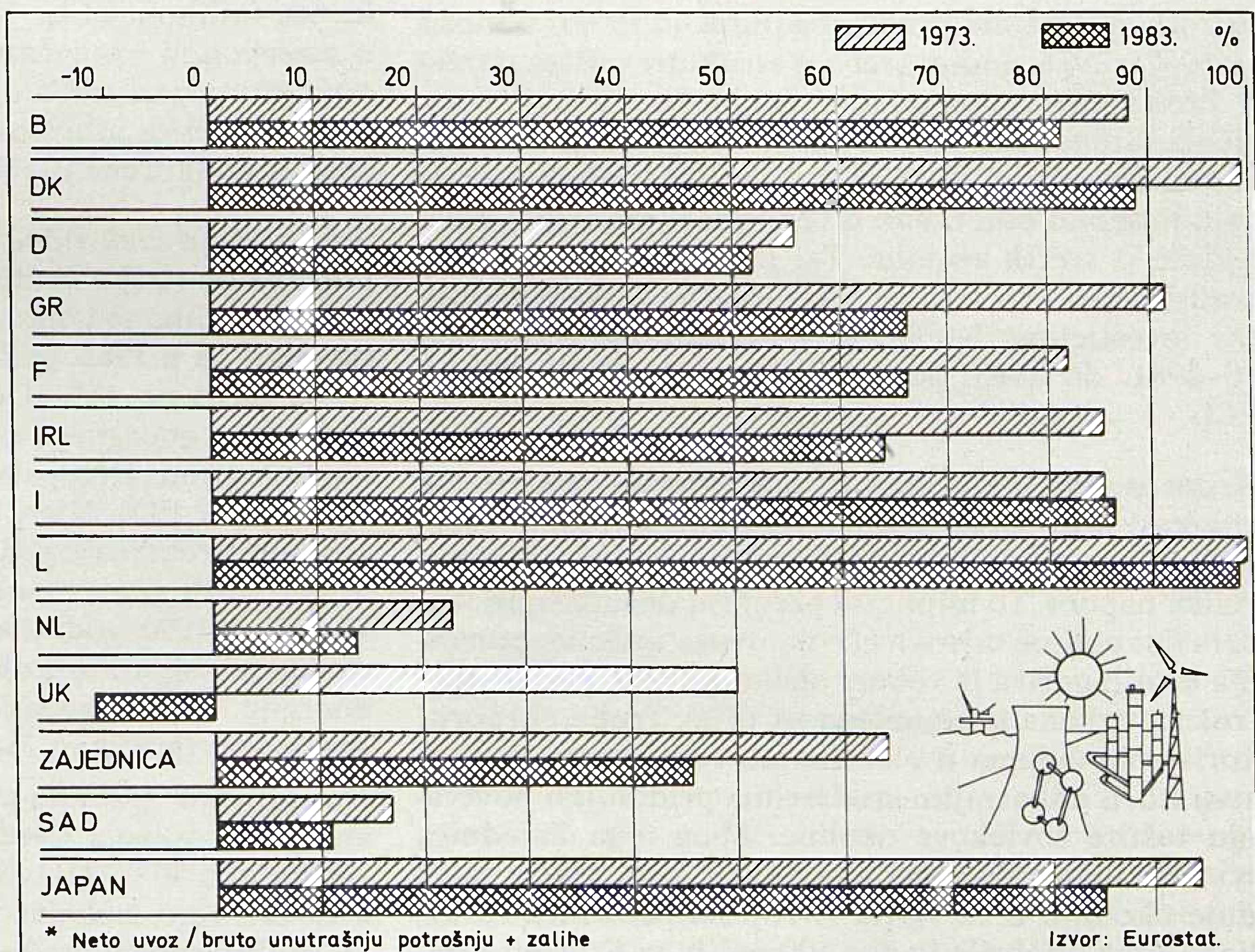
Slika 2.

ko fundamentalanih ciljeva. Na prvom mjestu, prihvatila je da je opskrba Zajednice energentima u budućnosti (kratkoročno, srednjoročno i dugoročno) stvarno najvažniji zadatak ekonomske politike.

Opskrbljenost energentima količinski treba biti: zadovoljavajuća regularnata uz povoljne i stabilne cijene. Opskrba mora biti oslobođena arbitrarnih elemenata i naglog povećanja cijena. Treba, dakle, težiti visokom stupnju autonomnosti uz uvjet prihvatljivih cijena. To implicira veće korištenje unutrašnjih resursa Zajednice, što dovodi do većeg stupnja sigurnosti opskrbe. To također implicira da Zajednica mora prionuti otkrivanju i primjeni novih energetskih izvora ili novih tehničkih ekstrakcija, obnavljanju napuštenih resursa, transformaciji i većem ekonomiziranju energije.

Treba, dakle, učvrstiti vezu između zemalja uvoznica i zemalja izvoznica Zajednice kako bi se uveo sistem ekonomskih i finansijskih odnosa koji će garantirati jednake uvjete i stabilnost u snabdijevanju vitalnim energentima i pronaći takva finansijska sredstva koja će omogućiti daljni tehnički i ekonomski unutarregionalni razvoj energije. Time bi se postigao temeljni cilj zajedničke energetske politike Evropske zajednice o smanjenju ovisnosti Zajednice o uvozu energije iz izvanregionalnih zemalja, koja je po zemljama Evropske zajednice dosta različita (slika 2. i grafikon 1). Komisija Evropske zajednice fiksirala je ciljeve koje Zajednica mora ostvariti u strukturi snabdijevanja [L 4]. Esencijalni cilj je smanjenje ovisnosti uvoza energije na oko 50% u 1985. godini u odnosu na 1973. godinu, kada je ovisnost Zajednice o inozemstvu iznosila 61%. Tako je struktura globalne potražnje energije u 1985. godini trebala u odnosu na 1973. godinu izgledati ovako:

STUPANJ OVISNOSTI ZAJEDNICE O ENERGETICI *



Grafikon 1.

— kruta goriva	17% umjesto 10%
— nafta	47% umjesto 64
— prirodni plin	20% umjesto
— hidroelektrane	3% umjesto 2%
— nuklearna energija	13% umjesto 9%.

Dakle, reducira se uvoz nafte i zaustavlja se pad proizvodnje ugljena, razvijaju se ostali izvori energije i inteziviraju se mjere za razvoj nuklearne energije. Osim toga, postojeći izvori energije efikasnijom i racionalnijom upotrebom energije bolje se iskorištavaju.

3. ANALIZA PLANIRANIH CILJEVA

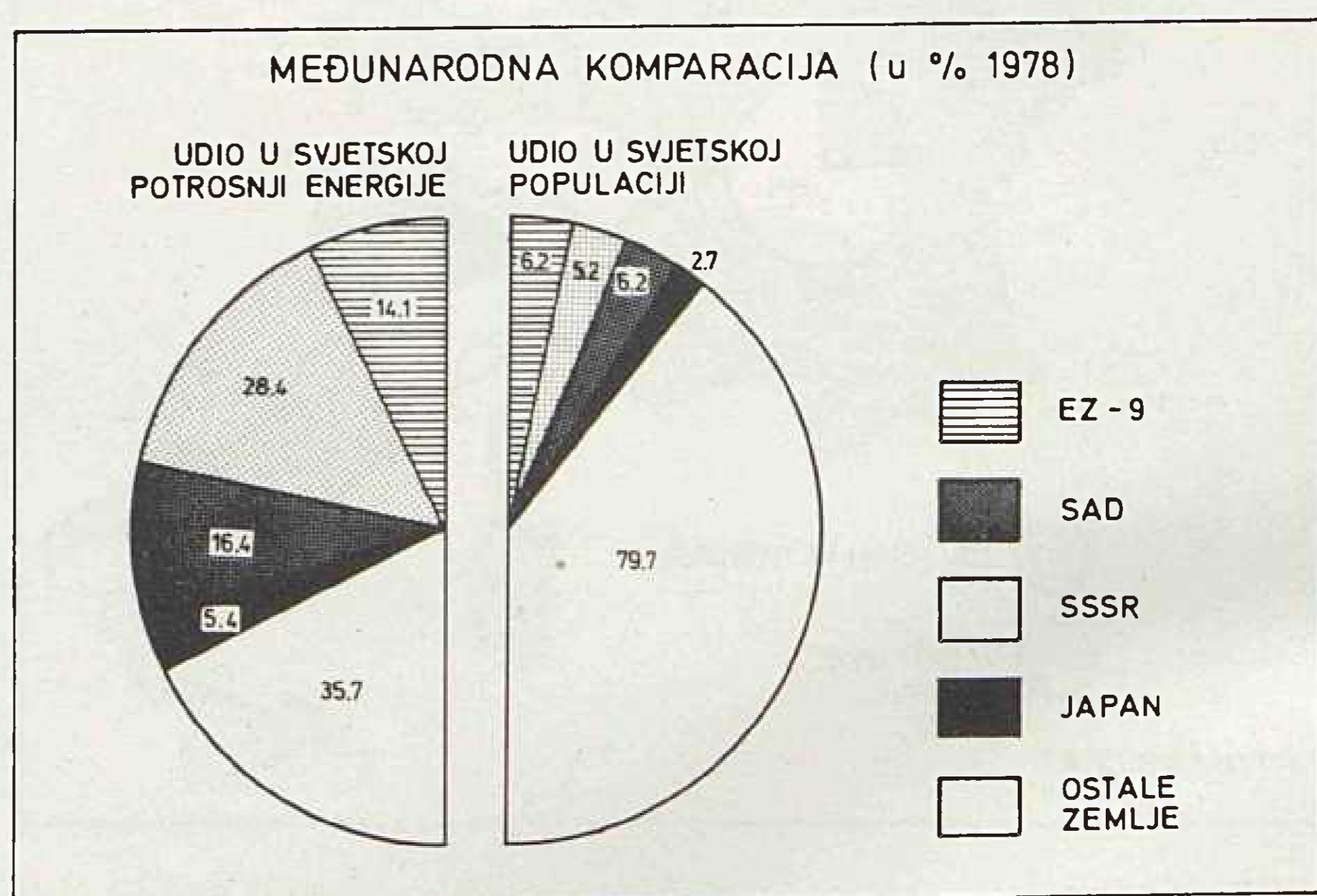
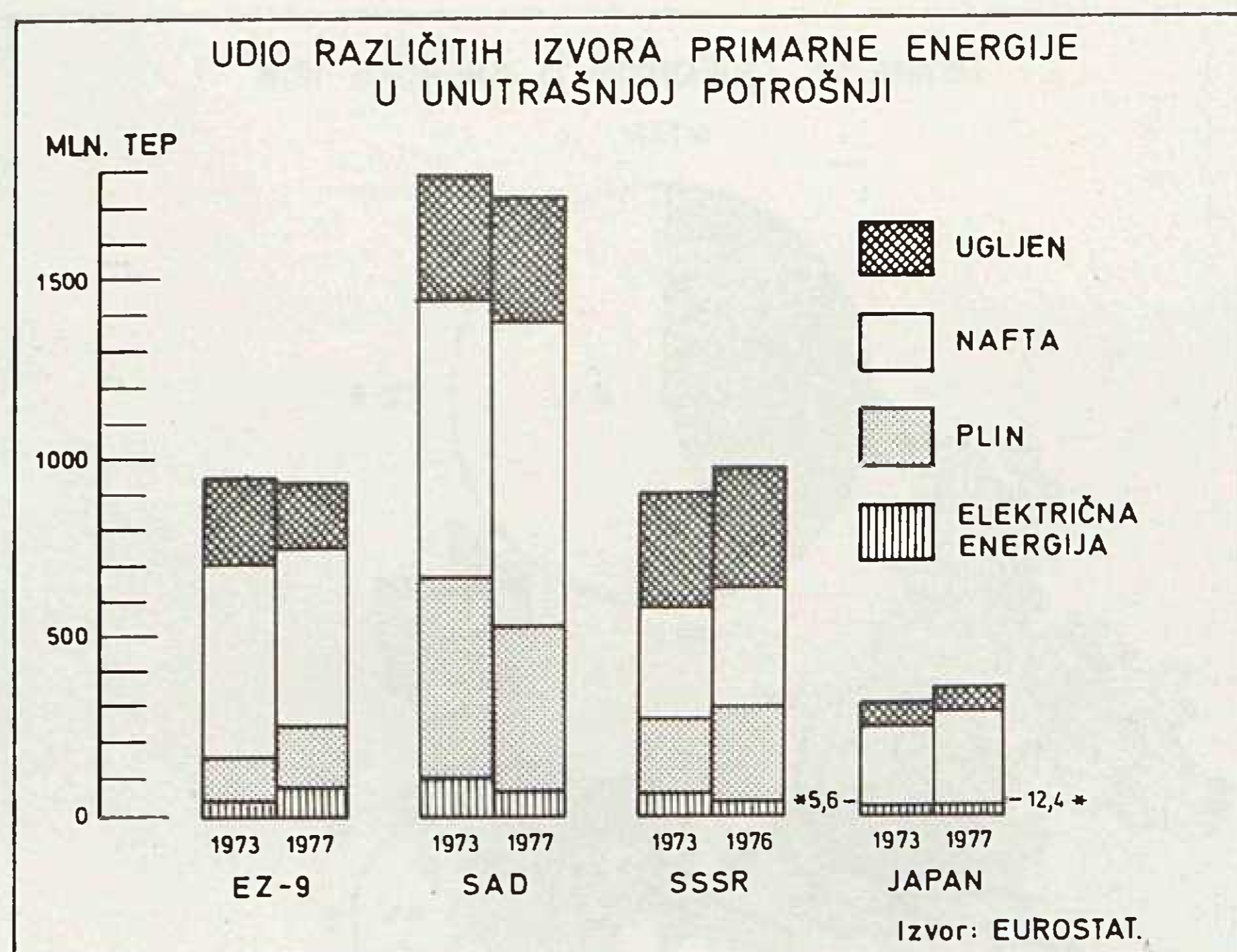
Usprkos napretku u povećanju samodovoljnosti Zajednice u energiji, Zajednica dvanaestorice još uvijek je posebno osjetljiva na planu energije. U 1985. godini vanjska snabdjevenost energijom pokrivala je više od 44% unutrašnjih potreba Zajednice, dok je ovisnost SAD o inozemstvu oko 12%.

3.1. Stanje po izvorima

Nafta. Između 1973. i 1975. godine Zajednica je svela udio uvezene nafte u ukupnoj potrošnji energije sa oko 62% na 31%. Radi održavanja postojećeg uvoza nafte na trećinu konzumacije ukupne energije potrebno je voditi politiku ekonomije i supstitucije i ohrabriti eksploataciju i unutrašnju proizvodnju. Napori supstitucije trebaju se posebno odnositi u sektoru supstitucije u proizvodnji električne energije koja se mora okrenuti drugim izvorima (grafikon 2). Zajednica je već uvela mnoge projekte supstitucije: razvoj nove tehnologije u sektoru nafte i plina — eksploatacije, proizvodnje, zalihe, transportu. [L 5].

Prirodni plin. Udio prirodnog plina od 19% u odnosu na 50% u 1973. godini treba u strukturi tržišta održati. Proizvodnja plina u Zajednici ima tendenciju smanjenja. Stoga treba enkuražirati istraživanja i oživiti konkurentne uvjete. Zemlju Evropske zajednice trebaju posebno bdjeti nad diverzifikacijom uvoza porijeklom iz trećih zemalja. Taj je uvoz u 1984. godini predstavljao oko trećine konzumacije; Zajam Evropske investicione banke, za konstruiranje plinovoda od 1981. do 1985. godine. iznosio je 972 milijuna ECU.

Kruta goriva. Zajednica pokušava svim sredstvima povećati udio ugljena u energetske potrošnji: 1985. godine iznosio je 23%. Realizacija tog cilja zahtijeva velike napore. To implicira preokret dosadašnjih tendencija: unatoč udvostručenju uvoza ugljena, potrošnja krutih goriva je veoma opala od 1973. godine (potrošnja ugljena je smanjena za 16%). Treba ohrabriti korištenje ugljena u električnim centralama, kućanstvu itd. a efikasnijim sredstvima pridonijeti povećanju zaštite čovjekove okoline. Zbog toga Zajednica pomaže uvođenju nove tehnologije koja manje zagađuje okolinu. U tu svrhu Evropska zajednica za ugljen i čelik odobrila je oko 500 milijuna ECU od 1981.

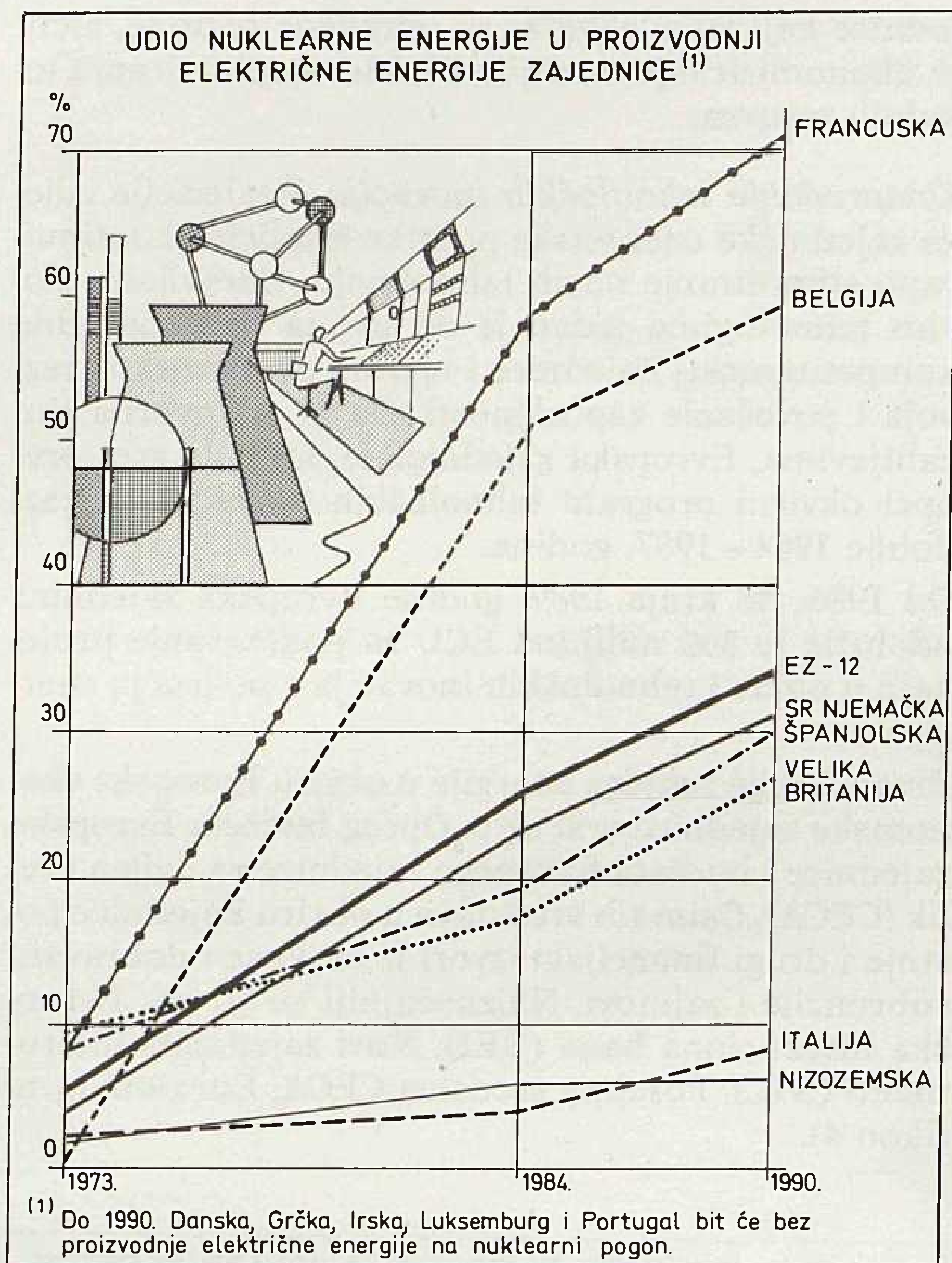


Grafikon 2.

godine do 1985. godine, a Evropska investiciona banka 506 milijuna ECU. Novi zajednički režimi pomoći u proizvodnji i pojačani istraživački napor, razvoj i novi pronalasci treba da pridonesu većoj kompetitivnosti evropske proizvodnje u odnosu na poraslu inozemnu konkurenciju (SAD).

Proizvodnja električne energije. Sve više se nameće potreba upotrebe krutih goriva i urana. Udio nafte i naročito plina smanjen je na polovicu od 1973. godine, tako da u 1983. godini iznosi 23%, a 1995. godine treba pasti na 15%. Od 1973. do 1984. godine udio nuklearne energije u zadovoljavanju ukupne potražnje energijom Evropske zajednice povećan je od 2% na više od 10%. Njen udio u proizvodnji električne energije premašuje postotak od 27. Prema programu angažiranih sredstava krajem 1984. godine predviđa se da bi u 1990. godini kapaciteti centrala na nuklearni pogon osiguravali oko 35% proizvodnje električne energije i zadovoljavali oko 14% ukupnih potreba za energijom (grafikon 3).

Na temelju indikativnih programa o nuklearnoj energiji Evropska zajednica je planirala da će u 1995. godini oko 40% električne energije proizvoditi nuklearne centrale. Nakon toga do kraja stoljeća udio nuklearne energije u proizvodnji ukupne električne ener-



Grafikon 3.

gije iznosit će oko 50%. U 1995. godini bit će 120 gigavata u upotrebi; tako da bi se od 1991. godine do 1995. godine stavilo u upotrebu 25 gigavata iz nuklearnih izvora.

Nove energije. Udio nove energije koja će zamijeniti konvencionalna goriva znatno će se povećati do 2000 godine. Eksploatacija biomase i otpadaka, solarna energija, geotermika pokrivat će do kraja stoljeća oko 5% proizvodnje električne energije. Između 1978. godine i 1985. godine odobreno je oko 170 milijuna ECU za realizaciju oko 500 projekata nove energije. Osim tih sredstava Evropska investiciona banka između 1978. i 1985. godine odobrila je više od 200 milijuna ECU za stotinjak manjih projekata.

Racionalno korištenje energije. Od 1978. godine pa do 1995. godine Zajednica će poboljšati barem za 20% randman finalne potražnje energije. Taj cilj je sasvim moguć, jer za isti volumen proizvodnje efikasnost u energiji već je povećana na više od 20% između 1973. godine i 1983. godine. To se posebno odnosi na ekonomiziranje nafte. Svi sektori su obuhvaćeni: usluge (38% konzomacija, 50% moguća ušteda), industrija, poljoprivreda, transport (ovise o nafti oko 100%). Komisija Evropske zajednice se je posebno zauzela da pripremi programe koji će se odnositi na te sektore i širi rezultate nacionalnih projekata i projekata na nivou Zajednice koji omogućavaju da se testira prihvatljivost industrije i trgovine novim projektima.

3.2. Realizacija ciljeva

Radi realizacije tih projekata Komisija Evropske zajednice namijenila je iznos od 150 milijuna ECU, čime je obuhvaćeno više od 370 projekata radi ekonomiziranja energijom, dok je Evropska investiciona banka odobrila zajam od 3,3 mln. ECU za realizaciju projekata manjih i srednjih dimenzija. Komisija Evropske zajednice uvela je odredbe o upotrebi različitih aparata, proizvoda ili materijala; također postoji odluka Evropske zajednice o parnim kotlovima, termičkoj izolaciji građevinskih objekata, potrošnji automobila i kućanskih aparata.

Realizacija navedenih sektorskih ciljeva zajedničke energetske politike Evropske zajednice popraćena je realizacijom horizontalnih ciljeva koji se odnose na sve izvore energije. Najznačajniji su [L 1]:

Integracija unutrašnjeg tržišta. U oblasti energije kao i u ostalim oblastima integracija unutrašnjeg tržišta Evropske zajednice je nužna iz više razloga: smanjenja troškova, povećanja konkurentnosti i jačanja ekonomske kompetitivnosti energetske industrije. Integracija povećava sigurnost opskrbe jer omogućuje bolju podjelu resursa u slučaju krize. Tržište derivata nafte već je integrirano, a s ugljenom je situacija teža. Postoji mogućnost povećanja unutrašnje razmjene kod plina i električne energije. Treba, dakle, ankuražirati dugoročne uvozne ugovore i međudržavne investicije i razviti tako nužnu jedinstvenu energetska mrežu, za što je Evropska investiciona banka odobrila zajam od 302 mln. ECU.

Princip zajedničkog određivanja potrošačkih cijena. Za dobro funkcioniranje zajedničkog tržišta energijom potrebno je u svim energetske sektorima uvesti princip zajedničkog određivanja cijena zasnovanog na transparentnosti i realnom karakteru. Realne cijene su ključ cijelog sistema efikasnog snabdjevanja energentima: garantiraju kompetitivnost industrije osiguravajući efikasnu konkurenciju između različitih energenata, sprečavaju rasipništvo, ohrabruju razvoj novih pronalazaka, vode korektno potrošnju u njezinom izboru i u njenu investiranju. U tom cilju Zajednica je uvela potrebne informacije o cijenama. Multiplirala je analize koje se odnose na plin, električnu energiju i naftu. Osim toga apelira na sve zemlje Zajednice da reduciraju desparitete cijena koje nisu rezultat realnih razlika nivoa troškova; ona je zahtijevala ukidanje svih reglementarnih mjera, fiskalnih i ostalih koje dovode do distorzije konkurencije između industrije ili koje sprečavaju uvođenje hijerarhije cijena koje su u skladu s ciljevima zajedničke politike.

Veća sigurnost snabdjevenosti. Postiže se povećanjem zajedničke proizvodnje energenata u uvjetima zadovoljavajuće kompetitivnosti, diverzifikacijom uvoza, većom fleksibilnosti potrošnje i postojanjem efikasnijih mjera u kriznim uvjetima. Tako zakonodavstvo Evropske zajednice predviđa zalihe goriva kod elektrana za potrošnju od 30 dana, a specifične mjere koje se odnose na naftu predviđaju zalihe na-

fte za potrošnju od 90 dana (krizni mehanizmi u slučaju poteškoće u opskrbi).

Razvoj vanjskotrgovinskih odnosa. Paralelno s unutrašnjim mjerama i koordiniranim unutarregionalnim približavanjem omogućava se razvoj vanjskotrgovinskih odnosa čime se jača položaj Zajednice na svjetskom tržištu energije i njezinih članica sa 320 milijuna stanovnika na koje otpada oko 14% globalne potrošnje energije. Visok nivo međuzavisnosti o svjetskom tržištu energije nameće izrazito veliku kooperaciju svih partnera: industrijsko razvijenih zemalja – velikih potrošača; zemalja uvoznica u razvoju; zemalja proizvođača. Zajednica širi novu tehnologiju u mnogim nerazvijenim zemljama, pomaže u razvoju njihovih energetske resursa. Sa zemljama proizvođačima nafte Zajednica je sklopila različite sporazume: sa zemljama (Golfa) sporazum o ekonomskoj kooperaciji; sa zemljama Organizacije arapskih zemalja izvoznica nafte intenzivne ekonomske odnose, a sa Organizacijom zemalja izvoznica nafte višestruku razmjenu informacija. U sektoru nuklearne energije određenu stabilnost u opskrbi Zajednica osigurava sporazumom s glavnim snabdjevačima urana (Australija, Kanada i SAD).

Zaštita okoline. Politika čovjekove okoline mora uzimati u obzir imperativne energetske politike, a energetska politika dimenzije zaštite čovjekove okoline. Energetska politika mora pronaći takve pronalaskes koji će na zadovoljavajući način naći ravnotežu između ekologije i energetike. Tako, favorizirajući racionalno korištenje energije; primjenjujući atipolucione ekonomske iskoristive tehnologije, zajednička energetska politika Evropske zajednice pridonosi ozdravljenju čovjekove okoline.

Regionalni razvoj. Energetska politika Evropske zajednice treba pojačati impakt na nedovoljno razvijene regije. Radi se o favoriziranju i rekonverziji regija koje su pogođene padom proizvodnje ugljena i ostalih izvora energije i koji su defavorizirani investicijskom politikom što ima za posljedicu pad ukupne proizvodnje i rast nezaposlenosti.

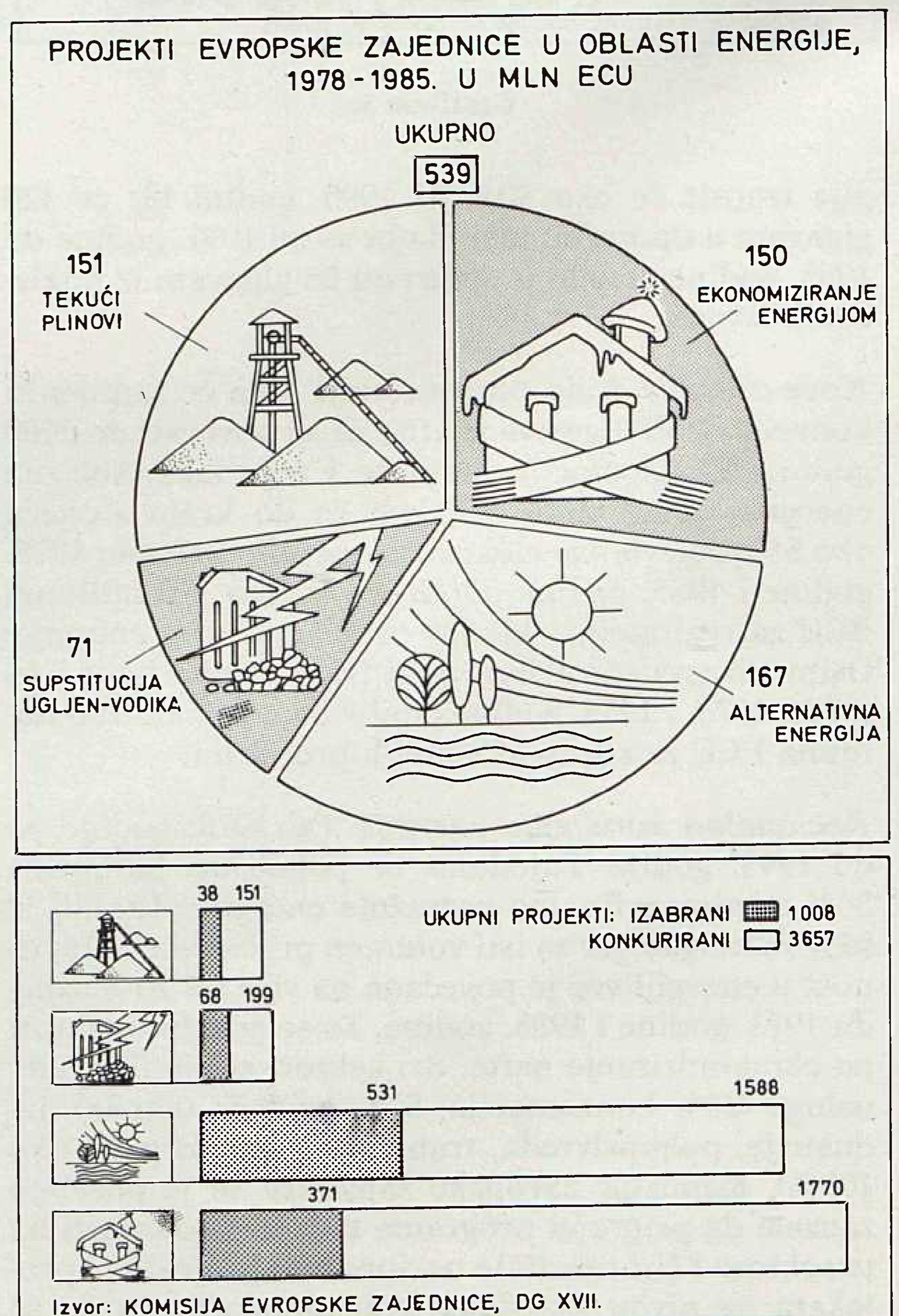
Obnova i modernizacija ugljenokopa izrazito su favorizirani financijskim sredstvima Evropske zajednice za ugljen i čelik, Evropskog fonda za regionalni razvoj i Evropskog socijalnog fonda. Evropski fond za regionalni razvoj [L 6] i Evropska investiciona banka odobravaju između ostalog i velika sredstva u obliku pomoći i zajmova kojima se unapređuje investiranje u energetiku u nerazvijenim regionima i područjima Evropske ekonomske zajednice [L 7]. Tako su i zajednički integralni mediteranski programi uvedeni za Grčku i u mediteranska područja Francuske i Italije velikim dijelom namijenjena za rješavanje energetskih problema [L 8]. Iz sredstava Evropskog fonda za regionalni razvoj namijenjeno je 400 mln ECU za petogodišnji program Valoren. Njime se valoriziraju energetske resursi u manje razvijenim regijama koje su posebno ovisne o uvozu nafte: alternativna energije i racionalno korištenje energije. Ti programi su pripremljeni u institutima Evropske ekonomske za-

jednice koji su adekvatni za određene regione, a cilj je ekonomiziranje energije i lakše eksploatiranje lokalnih resursa.

Unapređenje tehnoloških inovacija. Realizacija ciljeva zajedničke energetske politike implicira kontinuirano stimuliranje novih tehnologija. Upravljanje novim tehnologijama jedan je od uvjeta međunarodne kompetitivnosti Zajednice i njezina ekonomskog razvoja i povećanje zaposlenosti. Da bi odgovorila tim zahtjevima, Evropska zajednica je donijela svoj prvi opći okvirni program tehnoloških inovacija za razdoblje 1984 – 1987. godine.

Od 1986. do kraja 1989. godine Evropska zajednica odobrila je 360 milijuna ECU za podržavanje projekata u oblasti tehnoloških inovacija s područja energije.

Financiranje sektora energije u okviru Evropske ekonomske zajednice vrši se iz Općeg budžeta Evropske zajednice i budžeta Evropske zajednice za ugljen i čelik (CECA). Osim tih sredstava u okviru Zajednice postoje i drugi financijski izvori iz kojih se odobravaju subvencije i zajmovi. Najznačajniji su [L 10]. Evropska investiciona banka (BEI), Novi zajednički instrumenti (NIC), Posebna sredstva CECA, Euratom (grafikon 4).



Grafikon 4.

4. ZAKLJUČAK

Ujedinjenje zemalja sadašnje Evropske ekonomske zajednice započelo je 1951. godine kada je šest zemalja ujedinio tada veoma važan energent — ugljen. Kri-za energije koju je 1973. godine izazvala nafta prisili-lo je zemlje Evropske zajednice da trasiraju zajednič-ku energetska politiku i da tako zajedničkim napori-ma i solidarnošću na višem nivou smanje ovisnost Zajednice o uvozu energenata te omoguće nesmetan razvoj cjelokupne svoje privrede. Zajedničkom stra-tergijom Evropska je zajednica smanjila ovisnost o uvozu energije, odnosno znatno je povećala vlastite resursne, i to kako klasične izvore energije, tako i al-ternativne izvore. Evropa je svjesna da samo zajed-ništvom može ubrzati proces integriranja koji je za-počela ugljenom, a završit će ga totalnom ekonom-skom unijom.

LITERATURA

- [1] CE, Une stratégie industrielle pour l'Europe, Bruxelles 11/1984.
- [2] CE, Des énergies nouvelles pour la Communauté, Bruxelles 2/1980.
- [3] CE, Energie, objectif 1990: où en sommes-nous?, Bruxelles 12/1981.
- [4] CE, investir pour économiser l' énergie, Bruxelles 17/1981.
- [5] CE, Economies d' énergie, énergies alternatives: la Communauté et la démonstration, Bruxelles 1/1983,
- [6] V. KANDŽIJA, Evropski fond za regionalni razvoj, Ekonomika Beograd, 12/1986.
- [7] V. KANDŽIJA, Zajednička regionalna politika Evrop-ske ekonomske zajednice, Komuna Beograd 3/1986.
- [8] V. KANDŽIJA, Globalna mediteranska politika Evrop-ske ekonomske zajednice, Poduzeće-banka, Zagreb 11/1986.
- [9] CE, Le budget de la Communauté européenne, Bruxelles 18/1984.
- [10] V. KANDŽIJA, Budžet Evropske ekonomske zajednice, Finansije Beograd 8-9/1986.

THE ENERGY POLICY OF EUROPEAN COMMUNITY

In the article is described the energy policy of European Community that resulted in decreased energy import.

ENERGETISCHE POLITIK DER EWG

In der Arbeit wird die gemeinsame energetische Politik der EWG Länder, die zur Ver-ringierung der Abhängigkeit von der Energieeinfuhr der Gemeinschaft führte, behan-delt.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА ЕВРОПЕЙСКОГО СООБЩЕСТВА

В работе обрабатывается совместная энергетическая политика стран Европейс-кого экономического сообщества, которая привела к снижению зависимости Сообщества от импорта энергии.

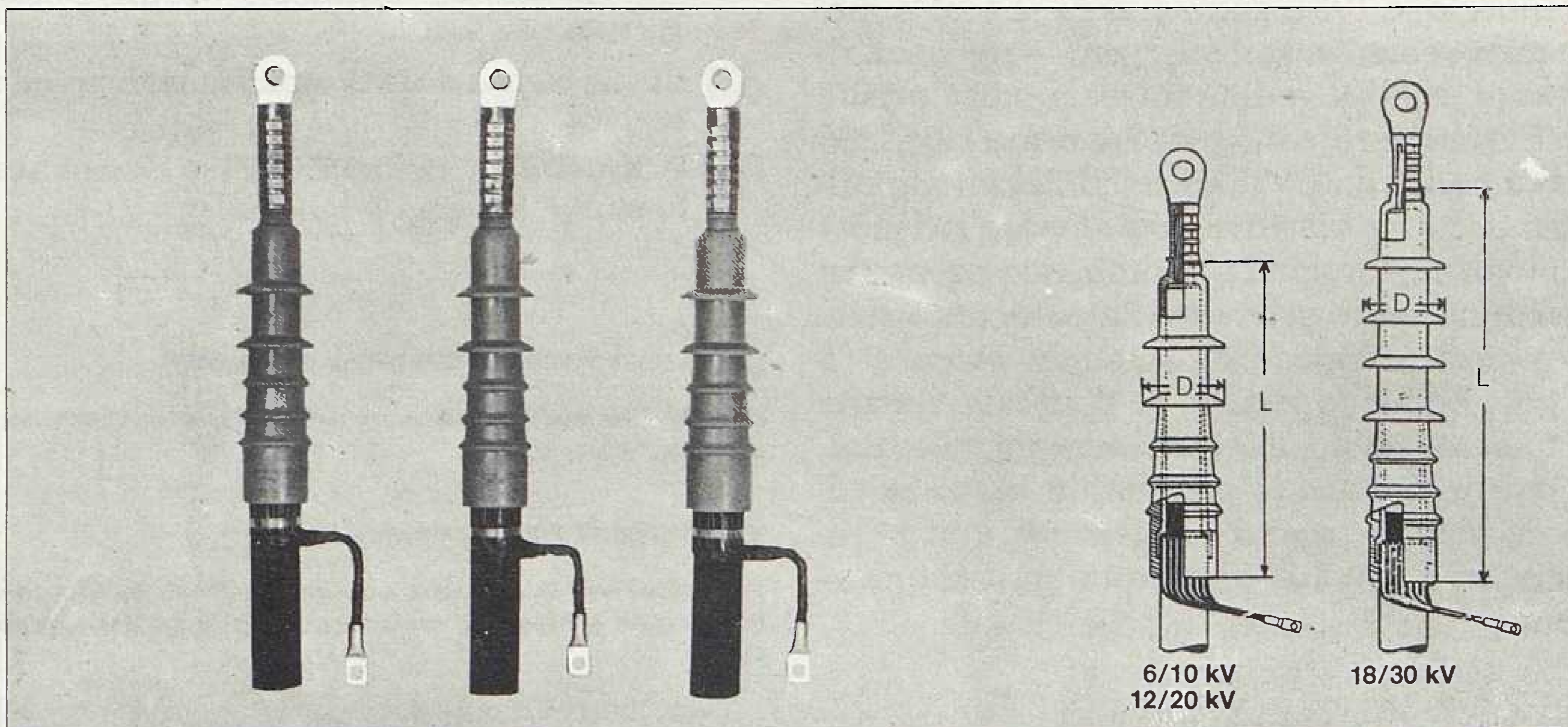
Naslov pisca:

**Mr. Vinko Kandžija, dipl. ecc.
Republički zavod za društveno
planiranje SR Hrvatske
41000 Zagreb, Strossmayerov trg
9, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis
1987 – 03 – 09

Kabelske glave za unutarnju montažu u tehnicima navlačenja za jednožilne kabele s izolacijom od PVC-a, PE-a i UPE-a

Kabelske glave za unutarnju montažu
 $U_0/U = 6/10 \text{ kV}$
 $U_0/U = 12/20 \text{ kV}$
 $U_0/U = 18/30 \text{ kV}$



Područje primjene

Kabelske glave za unutarnju montažu u tehnicima navlačenja koriste se za završavanje jednožilnih kabela sa izolacijom od PVC-a, PE-a i UPE-a. Mogu se upotrijebiti za kabele s grafitnim i ekstrudiranim slabovodljivim slojem, a s obzirom na konstrukciju i materijal izolatora, pogodne su i za prostore s povećanom količinom prašine i vlage u zraku.

Ispitivanja

Ove kabelske glave zadovoljavaju ispitne uvjete prema normama VDE 0278 dio 1/6.80 i dio 4/6.80, a u skladu s ispitnim protokolima broj 2947 i 2948 Ureda za električna ispitivanja u Münchenu.

Izvedba i karakteristike

Izolator kabelske glave je izrađen od silikona dobrih električnih i mehaničkih osobina i velike otpornosti na puzne struje. U izolator je ugrađen dio za oblikovanje električnog polja refraktivnim načinom.

Podaci za narudžbu

Kabelske glave se isporučuju kao slog od tri silikonska izolatora s priborom i uputstvom za montažu.

Napomena

3M proizvodi kabelski pribor (kabelske glave i spojnice) za sve tipove kabela bez obzira na vrstu izolacije. Navedeni primjer je samo izvadak iz ukupnog proizvodnog programa.

3M (East) AG ima poslovno tehničku suradnju sa **TEP** Zagreb
 Zastupnik 3M (East) AG za Jugoslaviju je **Chemcolor** Zagreb
 Proleterskih brigada 37-a

6/10 kV		12/20 kV		Dimenzije mm	18/30 kV		Dimenzije mm	Promjer preko izolacije mm	Težina po slogu kg	Broj komada po pakovanju
Tip	Presjek vodiča mm ²	Tip	Presjek vodiča mm ²		Tip	Presjek vodiča mm ²				
92-ER71-1	25 – 50	—	—	L = 200 D = 43	—	—	—	14 – 19	0,55	1 Satz
92-ER72-1	70 – 95	93-ER72-1	25 – 35	L = 200 D = 46	—	—	—	17 – 22	0,57	1 Satz
92-ER73-1	120 – 150	93-ER73-1	50 – 95	L = 200 D = 50	94-ER73-1	35 – 50	L = 285 D = 50	20 – 26	0,75	1 Satz
92-ER74-1	185 – 240	93-ER74-1	120 – 150	L = 200 D = 54	94-ER74-1	50 – 70	L = 285 D = 54	24 – 30	0,82	1 Satz
92-ER75-1	300 – 400	93-ER75-1	185 – 240	L = 200 D = 58	94-ER75-1	95 – 150	L = 285 D = 58	28 – 35	0,86	1 Satz
92-ER76-1	500 – 630	93-ER76-1	300 – 500	L = 200 D = 64	94-ER76-1	185 – 300	L = 285 D = 64	33 – 42	1,00	1 Satz

3M (East) AG

Baarerstrasse 8
 6301 Zug / Switzerland
 Tel. 042 232131 / Telex 868873

KARAKTERISTIKE KONDENZACIJSKO – ODUZIMNOG RADA TURBINE ZA NUKLEARNU ELEKTRANU SNAGE 1 000 MW

Zdravko Mužek, Zagreb

UDK 621.039.5:621.165

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Analiziraju se energetske karakteristike kondenzacijsko-oduzimnog rada turbine za nuklearnu elektranu snage 1 000 MW pri različitim shemama oduzimanju ogrjevnog toplina iz turbine. Osim funkcijske ovisnosti snage na stezaljkama generatora električne struje o oduzimanju toplinskom toku i polaznoj temperaturi vode toplovoda, daje se i račun proizvodnje električne energije u protutlačnom radu i karakteristike rada pri smanjenoj snazi nuklearnog reaktora.

Ključne riječi: turbina, nuklearna elektrana, centralizirani toplinski sistem

1. UVOD

Korištenje nuklearne energije u nuklearnim elektranama doseglo je u svom tridesetogodišnjem razvoju takav stadij da je ono danas ekološki prihvatljivo i ekonomski konkurentno ostalim načinima dobivanja električne energije. Na konkurentnosti je nuklearna energija posebno dobila sedamdesetih godina provokacijom skoka cijena fosilnih goriva. Tim porastom na ekonomičnosti su dobile tehnologije s većim odnosom investicija i eksploatacijskih troškova, pa i korištenje uranija za transformaciju u električnu energiju postaje privlačno. Usprkos određenom zastoj u izgradnji nuklearnih elektrana, koji je danas prisutan u svijetu (uzroci zastoja su nabrojani u npr. [L 1]), daljoj izgradnji nuklearnih elektrana nema valjane alternative, posebno ne u našoj zemlji. Prisutna je stoga tendencija strukturnih promjena pri energiji za transformaciju u električnu energiju u korist nuklearne energije. Ta tendencija nužno će se preslikavati i na zamjenu dijela fosilnih goriva uranijem za pridobivanje topline potrebne krajnjim korisnicima. Takve težnje uzele su već zamah u svijetu, a na pragu primjene nalazimo se i mi.

U procesu korištenja topline dobivene konverzijom nuklearne energije nužno je, zbog prirode tog procesa, koristiti posredni način predaje topline krajnjem korisniku. Ako se toplina koristi za zadovoljavajuće ogrjevnih potreba, moguće je u tu svrhu (kao nositelj topline) koristiti vodu. Nadalje, zbog relativno visokog nivoa ekonomski prihvatljivih toplinskih snaga nuklearnog izvora ogrjevnog toplina potrebno je objediniti veći broj korisnika u centraliziranom toplinskom sistemu (time je omogućeno aglomeriranje konzuma do većih nivoa toplinskog opterećenja).

U pogledu tipa nuklearnog postrojenja za pridobivanje ogrjevnog toplina moguć je znatan broj rješenja. Usvoji li se broj transformiranih oblika energije kao principium divisionis, treba razlikovati:

- a) nuklearna postrojenja za dobivanje topline tzv. izravnog procesa i
- b) nuklearna postrojenja za zajedničko dobivanje topline i električne energije.

U nuklearnim postrojenjima izravnog procesa toplina se predaje vodi prijenosnog (ili distributivnog) sistema bez prethodne pretvorbe u mehaničku odnosno električnu energiju. Do stadija idejnog projekta razvijeno je u svijetu nekoliko tipova ovih jedinica s lakovodnim nuklearnim reaktorom PWR tipa sa svrhom da posluže za opskrbu korisnika ogrjevnom toplinom. Na ovom mjestu spomenut će se, radi ilustracije finsko-švedski SECURE toplinske snage 200 ili 400 MJ/s, KWU-ov reaktor toplinske snage od 200 do 400 MJ/s, FRAMATOMOV THERMOS toplinske snage 100 – 150 MJ/s, te AECLOV (Kanada) Slowpoke toplinske snage 2 do 20 MJ/s. Posebno treba istaknuti sovjetski nuklearni reaktor AST – 500, toplinske snage 500 MJ/s, jer su dvije takve jedinice u gradnji i trebalo je da 1985. godine započnu s opskrbom ogrjevnom toplinom gradova Gorkoga i Novovoronježa [L 2]. Nuklearna postrojenja izravnog procesa nisu predmet razmatranja u ovom članku, pa se neće detaljnije ni opisivati. Opravdano je, međutim, pretpostaviti da bi nuklearni izvori izravnog procesa mogli već i u bližoj budućnosti imati širu primjenu. Neke analize pokazale su da već danas mogu u određenim uvjetima konkurirati klasičnim postrojenjima za dobivanje topline (vidi npr. [L 3]).

Kod nuklearnih postrojenja za zajedničko dobivanje topline i električne energije moguće je razlikovati:

- a) postrojenja s visokotemperaturnim nuklearnim reaktorom (tzv. HTR – high temperature reactor),
- b) postrojenja s nuklearnim reaktorom za proizvodnju zasićene pare (tzv. SDR – saturated steam reactor).

Visokotemperaturni nuklearni reaktor jest izuzetno povoljno tehničko rješenje sa stajališta mogućnosti

zajedničkog dobivanja topline i električne energije. Dva načina primjene visokotemperaturnih nuklearnih reaktora čine se danas najperspektivnijim: u elektranama s plinskom (helij) turbinom te u kombiniranim postrojenjima s plinskom (helij) i parnom turbinom. Nažalost, ovi tipovi reaktora ne mogu danas, a vjerojatno neće moći ni u dogledno vrijeme, ekonomski konkurirati do sada u komercijalne svrhe korištenim nuklearnim reaktorima sa zasićenom parom.

Kod nuklearnih elektrana s reaktorom za proizvodnju zasićene pare zajedničko dobivanje topline i električne energije moguće je bez obzira na izvedbu reaktora (PWR, BWR ili HWR). U ovom slučaju, iako je moguće oduzimanje topline za ogrjevne korisnike i direktnom predajom topline (preko površinskog izmjenjivača) iz primarnog dijela postrojenja (ispred turbine), u pravilu bi trebalo toplinu oduzimati s turbine.

Navedenu tvrdnju moguće je dokazati već grubljim, konzervativnim računom. Naime, razlika investicija u navedene sisteme je zanemariva zbog karakteristika sheme sekundarnog kruga nuklearne elektrane (pri oduzimanju pare ispred turbine i predaje topline ogrjevnom mediju nužno je kondenzat vratiti u pojni spremnik) i ograničenja (ekonomske prirode) u visini tlaka medija za transport topline do korisnika. U eksploataciji, opet, sistem oduzimanja topline s turbine pokazuje nesporni energetski bonitet prema onim pri kojim je oduzimanje istog nivoa toplinskog toka ispred turbine. Zbog navedenog, u nastavku se neće analizirati karakteristike nuklearne elektrane pri kojoj se toplina za potrebe ogrjevnih korisnika oduzima ispred turbine. Sva pažnja usmjerit će se na analizu energetskih karakteristika zajedničkog dobivanja električne energije i topline u nuklearnoj elektrani pri kojoj se toplina za potrebe ogrjevnih korisnika oduzima s turbine.

U vezi s koncepcijom izbora tipa turbine za NE – TO moguća su tri slučaja:

- a) razvoj i izgradnja specijalne kondenzacijsko-oduzimne turbine projektirane za uvjete određenog centraliziranog toplinskog sistema,
- b) neregulirano oduzimanje topline sa standardne kondenzacijske turbine bez bilo kakvih konstrukcijskih zahvata na tijelu turbine,
- c) neregulirano oduzimanje topline sa standardne kondenzacijske turbine prilagođene određenim konstrukcijskim izmjenama za oduzimanje većih volumnih tokova pare, s tim da njezine energetske karakteristike u kondenzacijskom radu ostanu neizmijenjene.

U vezi s prvim slučajem valja istaći da se razvoju specijalnih kondenzacijsko-oduzimnih turbina za NE-TO posvetila dosad pažnja samo u SSSR-u (posljedica je to planiranja veće primjene korištenja topline iz NE-TO i opredjeljenja glede koncepcije korištenja NE-TO u centraliziranim toplinskim sistemima). Spomenut će se samo projekt turbina TK-450/50-68 i TK-450/50-60 (detaljniji podaci dani su u [L 1] i TK-1000/50-68. Mogućnost izgradnje slične speci-

jalne kondenzacijsko-oduzimne turbine neće se razmatrati u ovom radu. Naime, opredjeljenje je da je osnovni cilj izgradnje nuklearnih elektrana u nas proizvodnja električne energije, dok je korištenje topline tek sekundarno i ne treba da mu je podređen i jedan aspekt izgradnje elektrane. Takav pristup koincidira donekle sa zapadnoevropskom koncepcijom izgradnje kondenzacijsko-oduzimnih turbina za klasične termoelektrane. Tendencija te koncepcije jest da kondenzacijsko-oduzimne turbine budu u istoj porodici s kondenzacijskim turbinama. Pri tome se kondenzacijsko-oduzimne turbine razvijaju modifikacijama kondenzacijskih turbina, pri čemu se teži da se u što mjač mjeri pogorša stupanj korisnog djelovanja u kondenzacijskom pogonu i da povećanje investicija bude minimalno.

Osnovna karakteristika kondenzacijsko-oduzimne turbine ad (a) jest regulirano oduzimanje pare s turbine i tom je faktoru dobrano podređena koncepcija turbine. Turbine koncipirane, kao što je definirano ad (b) i (c), također omogućavaju izvedbu reguliranog oduzimanja pare, i to zaklopkama ugrađenim u prestrujne vodove od VT do NT turbine (razumljivo, regulirano oduzimanje je u tom slučaju na prestrujnom vodu ispred zaklopki). Ta se mogućnost samo spominje, a neće se razmatrati jer nema praktično značenje kako zbog položaja nuklearne elektrane u baznom dijelu dijagrama opterećenja elektroenergetskog i toplinskog sistema i kompatibilnosti parametara uobičajene izvedbe kondenzacijske turbine za nuklearne elektrane s parametrima sistema za prijenos topline do urbanog područja, dakle tehničkih razloga, tako i zbog već u prethodnom stavku istaknutog opredjeljenja o sekundarnom karakteru korištenja topline iz NE-TO (regulacija snage je prema dijagramu opterećenja u elektroenergetskom sistemu).

2. DEFINIRANJE KARAKTERISTIKA STANDARDNE KONDENZACIJSKE NUKLEARNE ELEKTRANE – MODEL A

Prije negoli se započne analiza oduzimanja ogrjevnog topline s turbine, potrebno je definirati karakteristike nuklearne elektrane koja će poslužiti kao model za ta razmatranja. Izbor modelne elektrane (posebno standardne kondenzacijske turbine koja će poslužiti kao model) otežan je zbog činjenice da faza planiranja u kojoj se danas nalazi naš nuklearni program ne omogućava ni orijentacijsko definiranje tehničkih karakteristika budućih nuklearnih elektrana (osim nivoa snage oko 1000 MW). Potrebno je stoga, bez pretenzija da se pogode karakteristike komponenata buduće nuklearne elektrane ili da se prejudicira njihov izbor, prema osobnom nahodjenju definirati karakteristike elektrane koja će poslužiti kao model za istraživanje mogućnosti oduzimanja topline za potrebe ogrjevnih korisnika. Valja naglasiti da je izbor dobrim dijelom uvjetovan raspoloživošću podataka o karakteristikama elektrane primjena koje bi bila primjerena za izgradnju na lokaciji NE Prevlaka (primarnoj lokaciji u nas za primjenu koncepta opskrbe ogrjevnom toplinom).

Imajući rečeno pred očima, za model se usvaja nuklearna elektrana PWR-tipa, parogeneratora (3 kom) ovih termodinamičkih karakteristika:

- toplinska snaga parogeneratora (ukupno) $\phi_p = 3,027 \text{ MJ/s}$
- parametri svježe pare (maseni tok, specifična entalpija, tlak, vlažnost) $q_m = 1\,645 \text{ kg/s}$, $h = 2\,776,3 \text{ kJ/kg}$, $p = 6,45 \text{ MPa}$, $x = 0,25\%$
- parametri pojne vode (specifična entalpija, tlak, temperatura) $h = 936,1 \text{ kJ/kg}$, $p = 7,60 \text{ MPa}$, $t = 218 \text{ }^\circ\text{C}$.

Od standardnih kondenzacijskih turbina za model se odabire turbina TK 50–6/51 karakteristike koje odgovaraju određenim turbinama zapadnoevropskih proizvođača. Oznakom je definirano da se radi o kondenzacijskoj turbini, kružne frekvencije rotora $\omega = 50 \text{ s}^{-1}$, sa tri niskotlačna kućišta (6 tokova pare u niskotlačnom dijelu turbine) i izlaznom površinom niskotlačnih kućišta $A = 51,0 \text{ m}^2$. Toplinska shema turbinskog kruga turbine TK 50–6/51 priključene na prije spomenuti parogenerator dana je na slici 1. i u tablici 1. Toplinska shema je računata za specifične izlazne gubitke energije pare od 40 kJ/kg . Ta visina izlaznih gubitaka energije usvaja se za referentnu, pa će se s njom provesti i račun svih ostalih režima rada elektrane (takav pristup je uobičajen i kod zapadnoevropskih proizvođača turbina, a istraživanja provedena u sklopu izrade studije [L 4] pokazala su da optimizacijom hladnog kraja turbina za NE proizlaze prosječne godišnje vrijednosti izlaznih gubitaka energije pare od oko spomenutih 40 kJ/kg).

Osim termodinamičkih karakteristika modelne turbine, treba definirati i određene konstrukcijske karakteristike. One su posebno važne u nekim uvjetima oduzimanja ogrjevne topline s turbine (npr. pri velikim toplinskim tokovima oduzimanja, odnosno velikim masenim tokovima vode prijenosnog toplovo-

da), jer mogu biti ograničavajući faktor u postignuću željenih energetske performansi NE-TO.

Sa standardne kondenzacije turbine ogrjevnu toplinu je moguće oduzeti s tijela turbine na mjestima predviđenim za oduzimanje pare za regenerativno zagrijavanje kondenzata i s prestrujnih vodova (parogenerator – turbina, VT turbina – NT turbina).

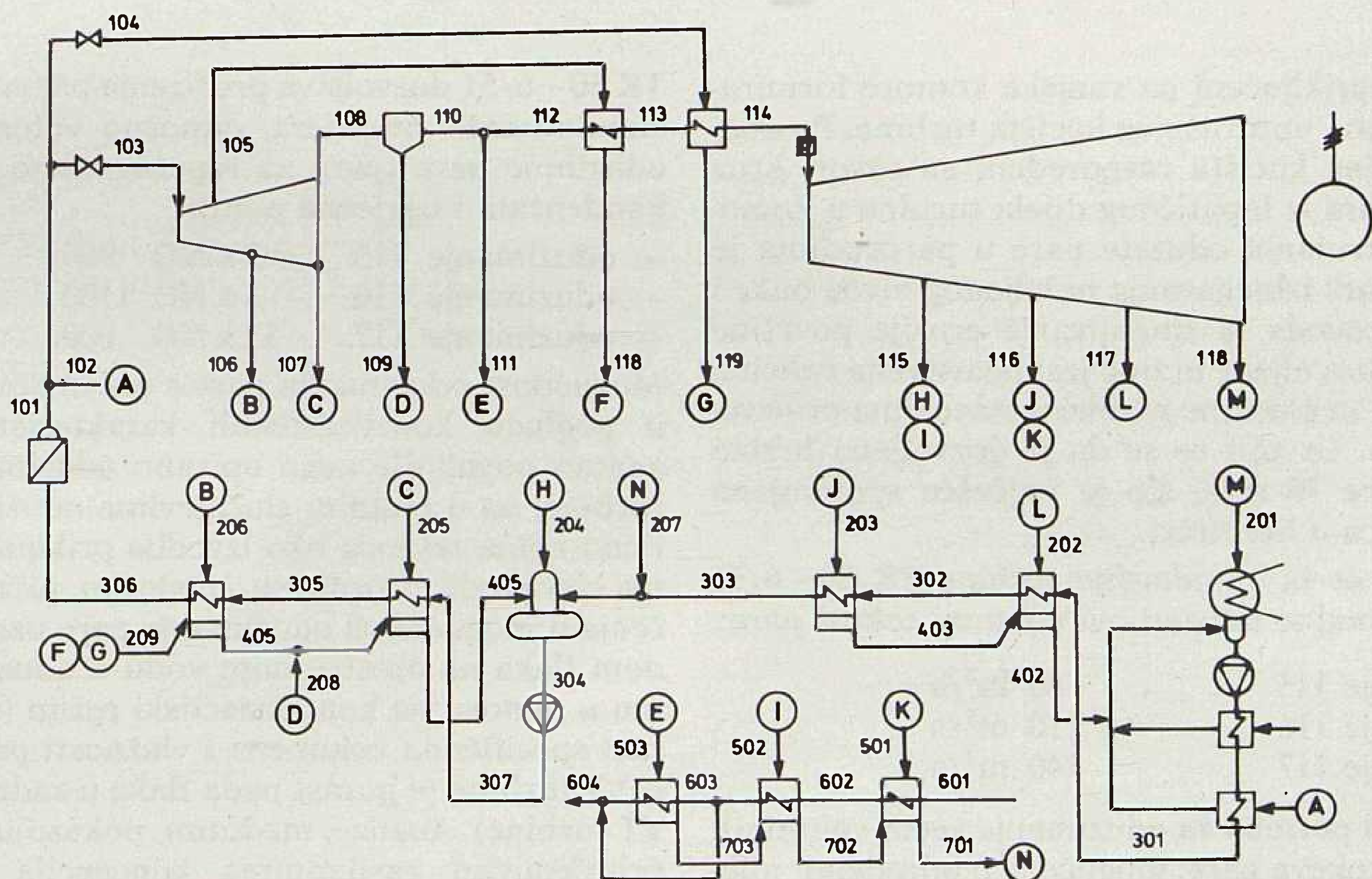
Maseni (odnosno volumni) tok ogrjevne pare koji je maksimalno moguće oduzeti sa NT turbine (anticipira se da oduzimanje s VT turbine nema opravdanja pri opskrbi ogrjevnom toplinom) ovisi o:

- veličini otvora za oduzimanje pare na kućištu NT turbine
- broju kućišta NT turbine
- dozvoljenoj brzini strujanja oduzete pare
- dimenziji parovoda za oduzimanje pare koje je moguće ugraditi na kućištu NT turbine i voditi do ogrjevnih zagrijača.

Navedenim ograničenjima treba dodati i pitanje u vezi s mehaničkim svojstvima lopatica neposredno prije mjesta oduzimanja. Naime, u režimu rada s oduzimanjem ogrjevne pare dolazi do pada tlaka u turbini na mjestu oduzimanja pare i do povećanja pada tlaka u stupnju neposredno prije oduzimanja, odnosno do povećanja aksijalnog opterećenja lopatičja u odnosu na opterećenje pri kondenzacijskom režimu rada. U praktičnim slučajevima, međutim, ta ograničenja nisu limitirajuća za mogućnost oduzimanja, jer prije nabrojana nameću oštrije zahtjeve u pogledu limita masenih tokova oduzimanja.

Pri modelnoj, standardnoj kondenzacijskoj turbini TK 50–6/51 oduzimanja pare za regenerativno zagrijavanje kondenzata izvode se sa NT turbine parovodima ovih dimenzija (oznake sa slike 1):

- | | |
|------------------|-------------|
| — oduzimanje 115 | 3 x NO 500 |
| — oduzimanje 116 | 3 x NO 800 |
| — oduzimanje 117 | 3 x NO 600. |



Slika 1.

Tablica 1. Parametri toplinske sheme ciklusa turbine TK 50–6/51 (oznake stanja prema slici 1)

Stanje	Kondenzacijski rad (modelna turbina)				Kondenzacijsko-oduzimni rad $\phi = 850 \text{ MJ/s}, t_{604} = 160^\circ\text{C}$				
					Kondenzacijsko-oduzimna turbina				Protutl. turbina
	kg/s	bar	$^\circ\text{C}$	kJ/kg	kg/s	bar	$^\circ\text{C}$	kJ/kg	kg/s
101	1 646	64,50	280,3	2776	1 633	64,50	280,3	2 776	516
103	1 581	60,44	276,0	2776	1 576	60,22	275,8	2 776	499
104	64	62,12	277,8	2776	57	62,12	277,6	2 776	17
105	71	34,22	241,2	2682	71	33,27	239,6	2 678	21
108	1 297	13,15	192,1	2540	1 276	11,23	185,0	2 520	396
110	1 128	12,77	190,8	2776	990	10,90	183,7	2 771	
113	1 128	12,63	226,2	2877	990	10,79	226,4	2 886	290
114	1 128	12,60	263,0	2963	990	10,68	264,7	2 973	290
201	907	0,08	41,5	2292	576	0,049	32,5	2 269	—
202	88	0,56	84,0	2043	48	0,36	73,7	1 935	—
203	64	1,73	115,7	2621	35	1,08	101,7	2 585	—
204	69	4,81	150,4	2795	66	3,45	138,3	2 774	24
205	116	12,75		2540	124	10,89		2 520	35
206	98	23,47	220,6	2628	113	22,24	217,8	2 621	45
306	1 646		218,1	936,9	1 633		215,0	922	516
501	—				105	1,07	101,4	2 585	105
502	—				162	3,56	139,5	2 774	162
503	—				106	10,36	181,0	2 771	106
601	—				2 008		60,0	253	2 008
602	—				2 008		91,5	383	2 008
603	—				2 008		134,5	566	2 008
604	—				2 008		160,0	676	2 008
P_g , MW	1 027,4				900,2				194,8
ϕ_g , MJ/s	3 027				3 027				956

Napomena: Pri stanju 502 i 503 dana je temperatura zasićenja pare.

Parovodi su priključeni na vanjske komore formiranih iz vanjskih i unutrašnjeg kućišta turbine. Po obodu unutrašnjeg kućišta raspoređeni su otvori kroz koje struji para iz lopatičnog dijela turbine u komoru. Brzina strujanja oduzete pare u parovodima je ograničena radi izbjegavanja neželjenog nivoa buke i vibracija parovoda te smanjivanja erozije površine cijevi. Nivo dozvoljene brzine jest iskustvena veličina i s tim u vezi su prisutne razlike u stavovima proizvođača turbina. Usvojiti će se da je dozvoljena brzina strujanja pare 70 m/s, što je najčešće spominjana gornja granica u literaturi.

Proizlazi da se sa standardne turbine TK 50–6/51 mogu maksimalno oduzeti ovi volumni tokovi pare:

- oduzimanje 115 40 m³/s
- oduzimanje 116 110 m³/s
- oduzimanje 117 240 m³/s.

Ako se pojavi potreba za oduzimanje većih volumnih (toplinskih) tokova pare, moguće je u određenoj mjeri proširiti otvore na unutrašnjem kućištu turbine i dimenzije parovoda. Definiše se da modelna turbina

TK 50–6/51 dozvoljava proširenja parovoda do maksimalno ovih promjera, odnosno volumnih tokova oduzimanje pare (para za regenerativno zagrijavanje kondenzata i ogrjevnja para):

- oduzimanje 115 3 x NO 900 130 m³/s
- oduzimanje 116 3 x NO 1100 200 m³/s
- oduzimanje 117 12 x NO 600 240 m³/s.

Mogućnost oduzimanja pare s prestrujnih vodova je u pogledu konstruktivnih karakteristika turbine znatno povoljnije nego opisano oduzimanje s tijela turbine, pa u realnim slučajevima oduzimanja praktično nema teškoća oko izvedbe priključenja i vodenja cjevovoda. I ovdje su, međutim, prisutna ograničenja u mogućnosti oduzimanja pare uzrokovana padom tlaka na prestrujnom vodu u oduzimnom režimu u odnosu na kondenzacijski režim (posljedica je rast specifičnog volumena i vlažnosti pare na izlazu iz VT turbine te porast pada tlaka u zadnjem stupnju VT turbine). Analize, međutim, pokazuju da u realno primjenjivim varijantama koncepcija oduzimanja topline iz turbine i razina oduzimnog toplinskog toka o tim ograničenjima ne treba brinuti.

3. ANALIZA MOGUĆNOSTI I KARAKTERISTIKE KONDENZCIJSKOG-ODUZIMNOG RADA TURBINE TK 50-6/51

Imaju li se pred očima prije navedena potencijalna mjesta za oduzimanje ogrjevne pare s turbine (prestrujni vod VT turbina - NT turbina te prvo, drugo i treće oduzimanje na NT turbini), proizlazi da je moguće formirati veći broj shema procesa oduzimanja topline. Neke od njih nije potrebno analizirati, jer uvjeti centraliziranih toplinskih sistema i kontekstu kojih se korištenje topline iz nuklearnih elektrana ovdje razmatra odbacuju opravdanost njihove primjene. U osnovi, realno je oduzimanje topline s turbine i njenu predaju prijenosnom sistemu izvestu u jednom, dva ili tri stupnja, pri čemu se koristi prestrujni vod i/ili prvo oduzimanje na NT turbini i/ili drugo oduzimanje na NT turbini. Navedene sheme definirane su tablicom 2 (oznake u tablici - E, I, K, N - definirane su slikom 1). Kôd 1 u tablici 2. označava prisutnost specificiranog parovoda (E, I, K), a kod 0 da se taj parovod u odgovarajućoj shemi ne izvodi (u skladu s tim izvodi se i povrat kondenzata - N - u turbinski ciklus).

Tablica 2. Definicija shema oduzimanja topline iz turbine

Broj oduzimanja	Oznake sheme	Kod prisutnosti parovoda			Povrat kondenzata
		E	I	K	N
1	S 111	1	0	0	703
	S 010	0	1	0	702
	S 001	0	0	1	701
2	S 110	1	1	0	702
	S 011	0	1	1	703
3	S 111	1	1	1	703

Oduzimanje u četiri stupnja ili neka druga kombinacija kojom bi se koristilo i treće oduzimanje na NT turbini nema praktične vrijednosti jer uslošnjanje izvedbe i eksploatacije nema adekvatnu nadoknadu u poboljšanju energetske karakteristika turbine (niske su temperature pare na tom mjestu — bliske realno postizivim povratnim temperaturama vode toplovoda, znatni su specifični volumeni pare i time dimenzije parovoda, ograničen maseni i toplinski tok pare koju je moguće oduzeti, znatna je vlažnost oduzete pare zbog relativno visoke efikasnosti interne separacije vlage na tom oduzimanju).

U jednom stupnju oduzima se para s turbine kada se teži jednostavnoj izvedbi i niskim investicijama (na račun energetske kvaliteta), pa se u tom slučaju oduzimanje u pravilu izvodi s prestrujnog voda (S100). Oduzimanje u dva stupnja moguće je u kombinacijama S110 i S011 (izbor mjesta oduzimanja pare za drugi stupanj zagrijavanja vode toplovoda ovisi o željenoj polaznoj temperaturi), a oduzimanje u tri stupnja kao što je to shematski prikazano na slici 1. (S111). Budući da se sheme s oduzimanjem u jednom i u dva stupnja mogu shvatiti kao izvod sheme S111

(slika 1), razmotrit će se prvo taj najsloženiji sistem, a zatim dati karakteristike ostalih.

U svim analizama usvojeno je da je povratna temperatura vode toplovoda ($t_{601} =$) 60°C .

3.1. Trostepeno oduzimanje topline

Na slici 2. je za turbinu TK 50-6/51, pri kojoj su maksimalno uvećane mogućnosti oduzimanja pare, i shemu oduzimanja topline S111 dijagramski prikazana ovisnost

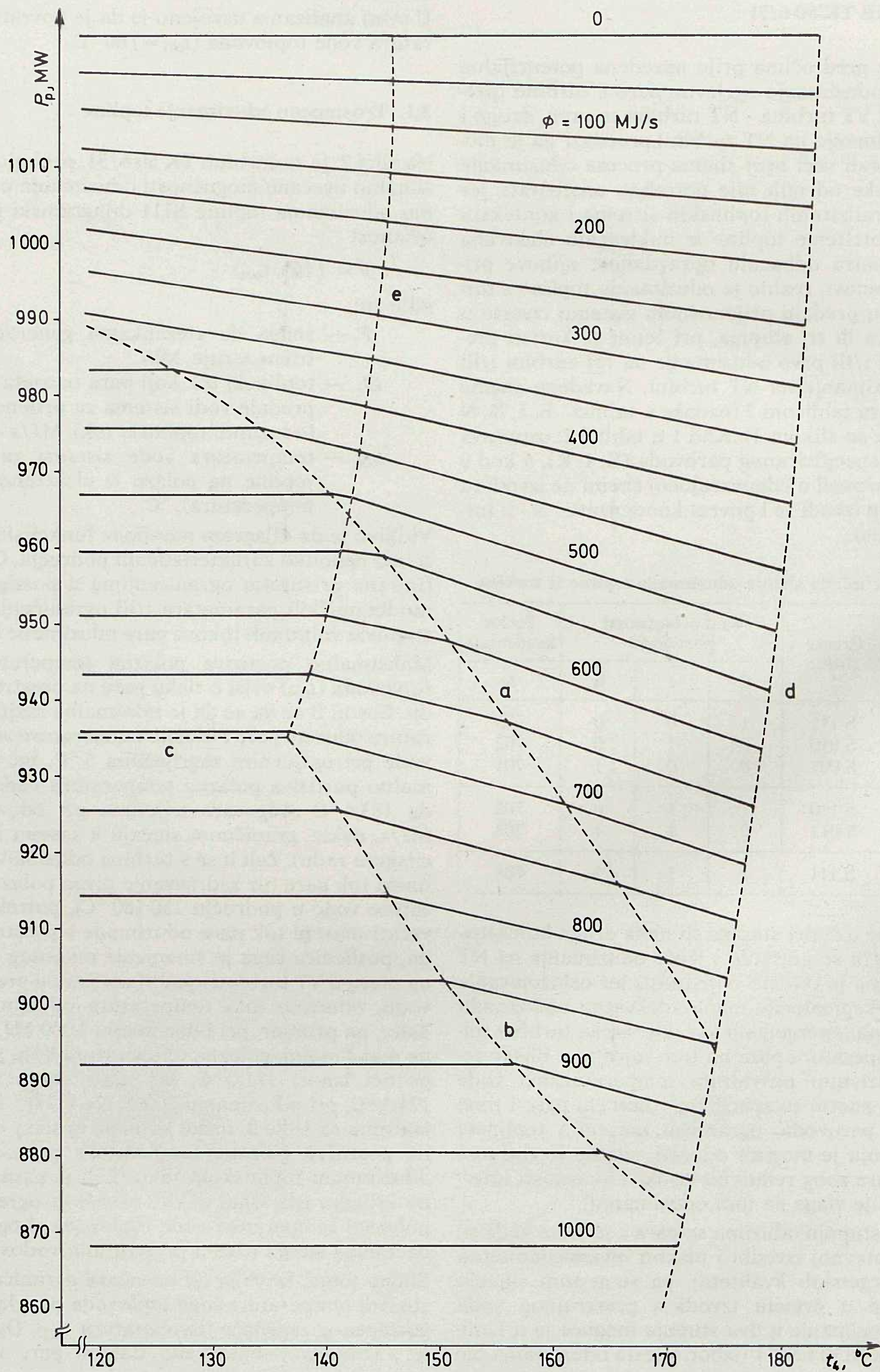
$$P = f(\varnothing, t_{604})$$

gdje su:

- P — snaga na stezaljkama generatora električne struje, MW
- \varnothing — toplinski tok koji para oduzeta s turbine predaje vodi sistema za prijenos topline (oduzimni toplinski tok), MJ/s
- t_{604} — temperatura vode sistema za prijenos topline na polazu iz elektrane (polazna temperatura), $^{\circ}\text{C}$.

Vidljivo je da dijagram navedene funkcijske ovisnosti ima nekoliko karakterističnih područja. Ona su definirana prisutnim ograničenjima u postignuću termodinamičkih parametara i/ili ograničenjima u postignuću volumnih tokova pare oduzimane s turbine. Maksimalno postiziva polazna temperatura vode toplovoda (t_{604}) ovisi o tlaku pare na prestrujnom vodu. Usvoji li se da se da je minimalna razlika temperature oduzete pare i izlazne temperature vode toplovoda pri ogrjevnim zagrijačima 5°C , bit će maksimalno postiziva polazna temperatura vode toplovoda $183,4^{\circ}\text{C}$ (odgovara uvjetima pri oduzimanju 0 MJ/s, dakle, graničnom slučaju k sasvim kondenzacijskom radu). Želi li se s turbine oduzimati veći toplinski tok pare (uz zadržavanje nivoa polazne temperature vode u području $150-180^{\circ}\text{C}$), potrebno je povećati maseni tok pare oduzimane s prestrujnog voda, posljedica čega je smanjenje masenog toka pare na ulazu u VT turbinu i pad tlaka pare u prestrujnom vodu, odnosno niža temperatura oduzimane pare. Tako, na primjer, pri oduzimanju 1000 MJ/s s turbine maksimalna polazna temperatura koju je moguće postići iznosi $171,0^{\circ}\text{C}$, pri oduzimanju 850 MJ/s $174,3^{\circ}\text{C}$, pri oduzimanju 700 MJ/s $177,0^{\circ}$ itd. Na dijagramu sa slike 2. točke kojih su apscise maksimalne postizive polazne temperature pri određenom oduzimnom toplinskom toku (koji je parametar) čine krivulju (d). Ona, dakle, označava ograničenje u polaznoj temperaturi vode toplovoda zbog termodinamičkog stanja pare u prestrujnim vodovima.

Slično tome, krivulja (e) označava ograničenje u postizivoj temperaturi vode toplovoda po izlazu iz drugostepenog zagrijača (temperatura t_{603}). Ograničenje je, razumljivo, uvjetovano tlakom pare na prvom oduzimanju s NT turbine pri oduzimanju određenog toplinskog toka pare. Proizlazi da u polju lijevo od krivulje (e) nije potrebno oduzimati paru s prestrujnog voda, jer se željena polazna temperatura vode toplovoda i željeni toplinski tok oduzimne pare mo-



Slika 2. Snaga na stezaljkama generatora električne struje pri oduzimanju ogrjevne topline s turbine TK 50 – 6/51 prema shemi S111 modificirana

gu postići i dvama oduzimanjima s NT turbine. Desno od krivulje je, dakle, područje pri kojem je potrebno oduzimati paru i s prestrujnog voda žele li se postići traženi termodinamički parametri. Budući da »prijelaz« iz područja lijevo od krivulje u ono desno znači u pogledu sheme oduzimanja »prijelaz« s dva na tri oduzimanja, odnosno uključivanje oduzimanja višeg termodinamičkog nivoa, past će toplinska valjanost procesa (pretpostavka je da parametar - toplinski tok ostaje pri tom nepromijenjen) pa je vidljiv lom krivulje $\varnothing = \text{konst.}$ u sjecištu s krivuljom (e).

Horizontalni pravac (c) jest pravac ograničenja oduzimanja topline s NT turbine. Maksimalni toplinski tok koji je moguće oduzeti s NT turbine iznosi 720 MJ/s (veći toplinski tok nije moguće oduzeti bez obzira na to koja je polazna temperatura vode toplovoda). Podsjeća se da postavka vrijedi uz u početku poglavlja istaknutu pretpostavku da su maksimalno uvećane mogućnosti oduzimanja pare (prošireni otvori na kućištu, povećane dimenzije parovoda). Područje omeđeno krivuljom (e) i pravcem (c) jest dakle područje u kojem se željeni parametri oduzimanja postižu i samim oduzimanjem NT turbine.

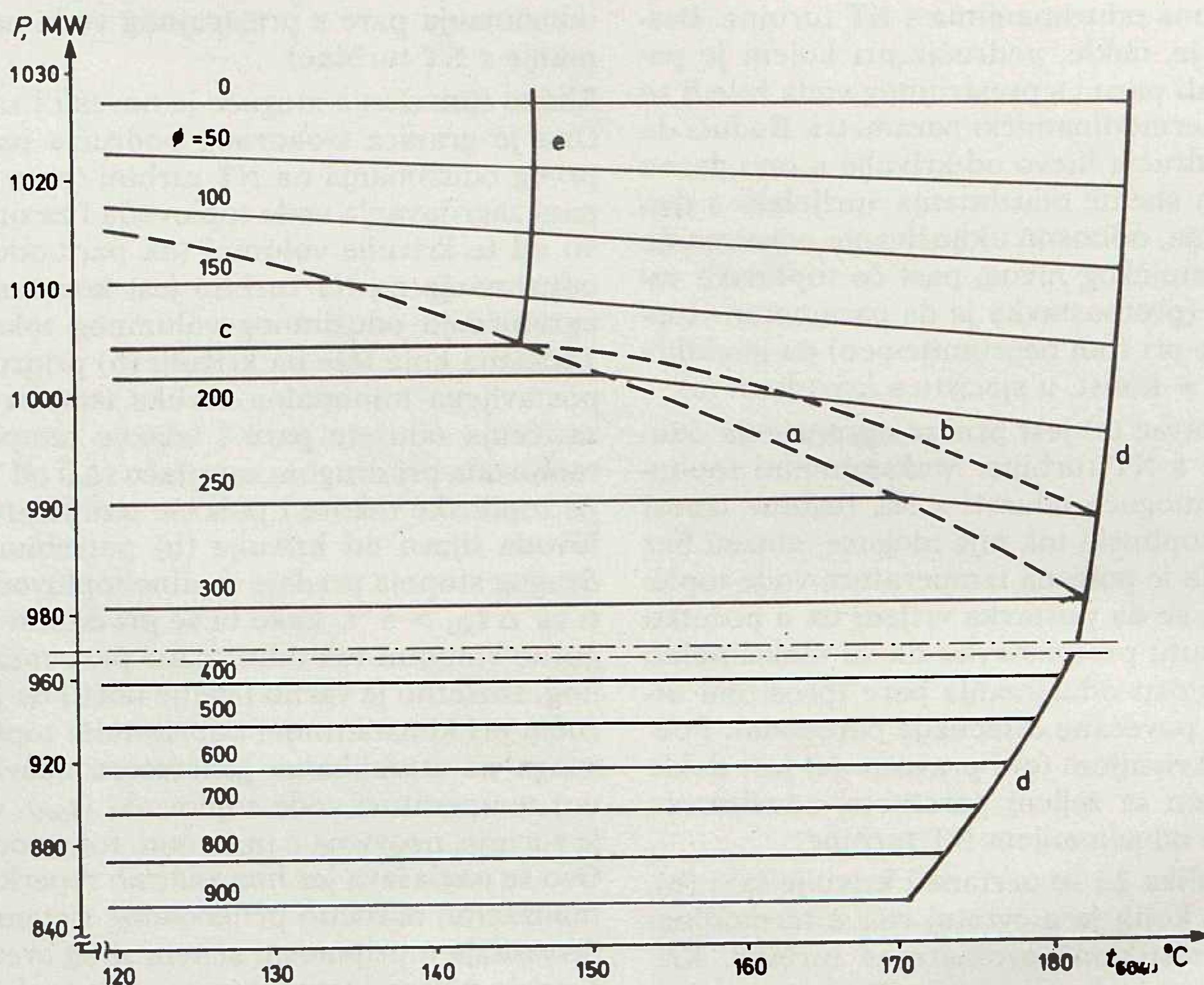
Na dijagramu (slika 2.) su ucrtane i krivulje (a) i (b), fizikalni smisao kojih je u čvrstoj vezi s termodinamičkim karakteristikama promatrane turbine. Krivulja (a) je granica izohornog područja (uvjetno izohornog, jer se radi o volumnim tokovima) pare oduzete s drugog oduzimanja na NT turbini (para za prvi stupanj zagrijavanja vode toplovoda i za regenerativno zagrijavanje kondenzata). Lijevo od te krivulje je volumni tok pare oduzete s drugog oduzimanja na NT turbini konstantan i jednak ograničenju oduzimnog volumnog toka (130 m³/s). Točkama koje leže na krivulji (a) pridružena je pretpostavljena maksimalna razlika između temperature zasićenja oduzete pare i izlazne temperature vode toplovoda pri prvom zagrijaču (t_{602}) od $\Delta t_{602} = 5^\circ\text{C}$. Za toplinske tokove i polazne temperature vode toplovoda iz područja lijevo od krivulje (a) potrebno je zagrijače prvog stupnja predaje topline toplovodu projektirati za veće Δt_{602} , takve da se pri danim uvjetima osigura da volumni tok oduzimane pare ne premaši granični.

U području toplinskih tokova i polaznih temperatura vode lijevo i od krivulje (e) i od krivulje (a) bit će pri konstantnom oduzimnom toplinskom toku snaga na stezaljkama generatora električne struje neovisna o polaznoj temperaturi vode toplovoda (t_{604}). Uzrok je već istaknut: budući da se s drugog oduzimanja na NT turbini već oduzima maksimalni mogući toplinski tok pare, smanjivanje polazne temperature vode, odnosno povećanje masenog toka vode toplovoda (te varijable se međusobno ovisne), ne mijenja raspored oduzimnih toplinskih tokova s pojedinog oduzimanja. U području lijevo od krivulje (a), ali pri trostepenom oduzimanju topline (područje desno od krivulje e), ista pojava uzrokuje lom krivulja $\varnothing = \text{konst.}$ (iscrpljivanje mogućnosti povećanja oduzimanja pare s drugog oduzimanja na NT turbini ostavlja da se pri smanjivanju polazne temperature vode toplovoda — povećanja masenog toka toplovoda, povećana snaga na generatoru dobije samo na račun preraspodjele

oduzimanja pare s prestrujnog voda na prvo oduzimanje s NT turbine).

Slično tumačenje moguće je navesti i za krivulju (b). Ona je granica izohornog područja pare oduzete s prvog oduzimanja na NT turbini (para za drugi stupanj zagrijavanja vode toplovoda i za otplinjač). Lijevo od te krivulje volumni tok pare oduzete s prvog oduzimanja na NT turbini jest konstantan i jednak ograničenju oduzimnog volumnog toka (200 m³/s). Točkama koje leže na krivulji (b) pridružena je pretpostavljena minimalna razlika između temperature zasićenja oduzete pare i izlazne temperature vode toplovoda pri drugom zagrijaču (t_{60}) od $\Delta t_{603} = 5^\circ\text{C}$. Za toplinske tokove i polazne temperature vode toplovoda lijevo od krivulje (b) potrebno je zagrijače drugog stupnja predaje topline toplovodu projektirati za $\Delta t_{603} > 5^\circ\text{C}$ kako bi se pri danim uvjetima osigurao volumni tok oduzimane pare manji od graničnog. Izuzetno je važno i ovdje uočiti da je u tom području pri konstantnom oduzimnom toplinskom toku snaga na stezaljkama generatora neovisna o polaznoj temperaturi vode toplovoda (t_{604}), odnosno, što je zornije, neovisna o masenom toku vode toplovoda. Ovo se naglašava jer ima znatnih reperkusija na optimalizaciju, naročito prijenosnog sistema (povećanje investicija u prijenosni sistem zbog eventualnog snižavanja polazne temperature vode toplovoda. Ovo se naglašava jer ima znatnih reperkusija na optimalizaciju, naročito prijenosnog sistema (povećanje investicija u prijenosni sistem zbog eventualnog snižavanja polazne temperature vode toplovoda nema nikakve »kompenzacije u dobitku snage na generatoru električne struje«).

Na slici 3. dan je dijagramski prikaz ovisnosti $P = f(\varnothing, t_{604})$ za standardnu turbinu TK 50-6/51 na kojoj nisu izvedeni zahvati radi povećanja mogućnosti oduzimanja pare. Kvalitativno, dijagram je jednak onom sa slike 2. Zanimljivo je da su krivulje a i b, za razliku od onih sa sheme na slici 2, relativno »blizu«, odnosno, drugim riječima, da je pri bliskim uvjetima oduzimanja topline iz turbine (toplinski tok, polazna temperatura toplovoda) dosegnut granični volumni tok pare oduzimane iz NT turbine. Uzrok je u polaznoj pretpostavci o standardnoj izvedbi otvora na kućištu turbine i parovoda za oduzimanje pare iz turbine, koji su dimenzionirani za uvjete kondenzacijskog rada. Oduzimanjem ogrjevne pare zadržava se približno jednaka proporcija volumnih tokova ukupnog oduzimanja pare na prvom i drugom oduzimanju iz NT turbine, proporciji volumnih tokova pare oduzete u kondenzacijskom radu za regenerativno zagrijavanje kondenzata. Za ilustraciju se navodi da je odnos volumnih tokova pare na prvom i drugom oduzimanju iz NT turbine 0,44 u kondenzacijskom radu, a pri oduzimanju 200 MJ/s ogrjevne topline (i polaznoj temperaturi vode toplovoda $t_{604} = 160^\circ\text{C}$) odnos volumnih tokova pare (ogrjevna plus ona za regenerativno zagrijavanje kondenzata) 0,42. Pri modifikaciji turbine radi povećanja mogućnosti oduzimanja pare s turbine (slika 2) remeti se ova proporcionalnost (mogućnosti proširenja otvora na kućištu turbine i povećanja promjera parovoda ovise o konstrukcij-



Slika 3.

skim uvjetima na mjestu prvog i drugog oduzimanja iz NT turbine) pa se krivulje a i b »razmiču«.

Usporede li se energetske karakteristike turbine sa standardnom izvedbom oduzimanja i one modificirane, očita je prednost ove potonje u dobrom dijelu domene (\varnothing , t_{604}). Budući da ukupna razlika investicija između ove dvije varijante izvedbe turbine (i parovoda) ne iznosi za određeni oduzimni toplinski tok i polaznu temperaturu vode toplovoda više od 3 % cijene turbine i da turbina u ukupnim investicijama za elektranu ne sudjeluje s više od 5 %, proizlazi da ta razlika iznosi tek oko 0,15 % elektrane ili novčani ekvivalent snazi od oko 1,5 MW (radi se o elektrani od 1 000 MW). Usporedbom dijagrama sa slike 2. i 3. proizlazi da je i pri osrednjim oduzimnim toplinskim tokovima dobitak snage na generatoru električne struje zbog modificiranja turbine za red veličine veći od izračunatih 1,5 MW. Navedeni grubi konzervativni račun navodi na zaključak da je od praktične vrijednosti analizirati samo karakteristike turbine s povećanim mogućnostima oduzimanja (pri zaključivanju se imalo na umu da u oduzimnom radu NE-TO radi samo u ogrjevnom periodu.

3.2. Dvostepeno oduzimanje topline

Želi li se voda toplovoda zagrijavati u dva stupnja realno je razmotriti već spomenute dvije varijante defi-

nirane shemama S 110 i S 011. Budući da je u prethodnom poglavlju (3.1) pokazana prednost modificirane turbine (proširivanje otvora i povećanje promjera parovoda), u nastavku će se imati pred očima isključivo ta izvedba.

Funkcijska ovisnost snage na stezaljkama generatora električne struje o oduzimnom toplinskom toku (\varnothing) i polaznoj temperaturi toplovoda (t_{604}) dana je za shemu S 110 slikom 4. Oznake b, c, d, e i njihov fizikalni smisao indentičan je onom sa slike 2, pa nije potrebno ponavljati objašnjenja iz poglavlja 3.1.

Iako nije uputno zaključivati o ekonomskim preferencijama nekog tehničkog rješenja bez adekvatnog računa ekonomskih veličina, čini se da usporedba dijagrama sa slike 2 i 4 (i ocjena reda veličine razlike investicija između izvedbe prema shemi S111 i S110) dozvoljava da se ustvrdi primjenjivost ovog rješenja eventualno u uvjetima malih oduzimnih toplinskih tokova i viših temperatura polaza vode toplovoda (u ostaloj domeni toplinskih tokova i temperatura vjerojatno je povoljnije primjeniti shemu S111 ili S011). Vidljivo je, naime, da se rastom oduzimnog toplinskog toka snaga na stezaljkama generatora električne struje smanjuje u odnosu na prikaz sa slike 2.

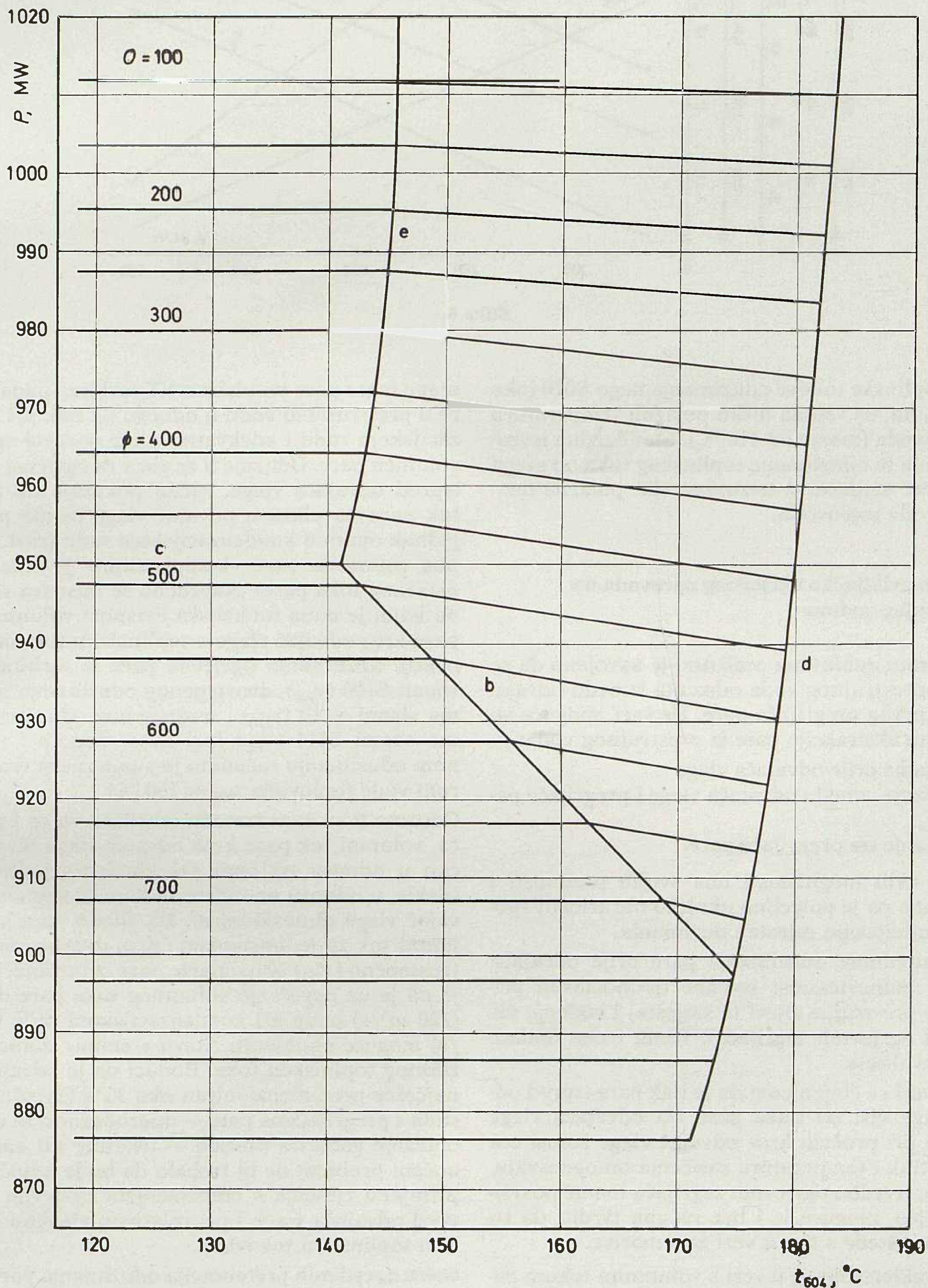
Drugi slučaj, shema S011, implicite se već analizirao u prethodnom poglavlju 3.1 (slika 2). Polje omeđeno koordinatnim osima, krivuljom e i krivuljom c oslikava upravo oduzimanje topline prema shemi S011.

3.3 Jednostepeno oduzimanje topline

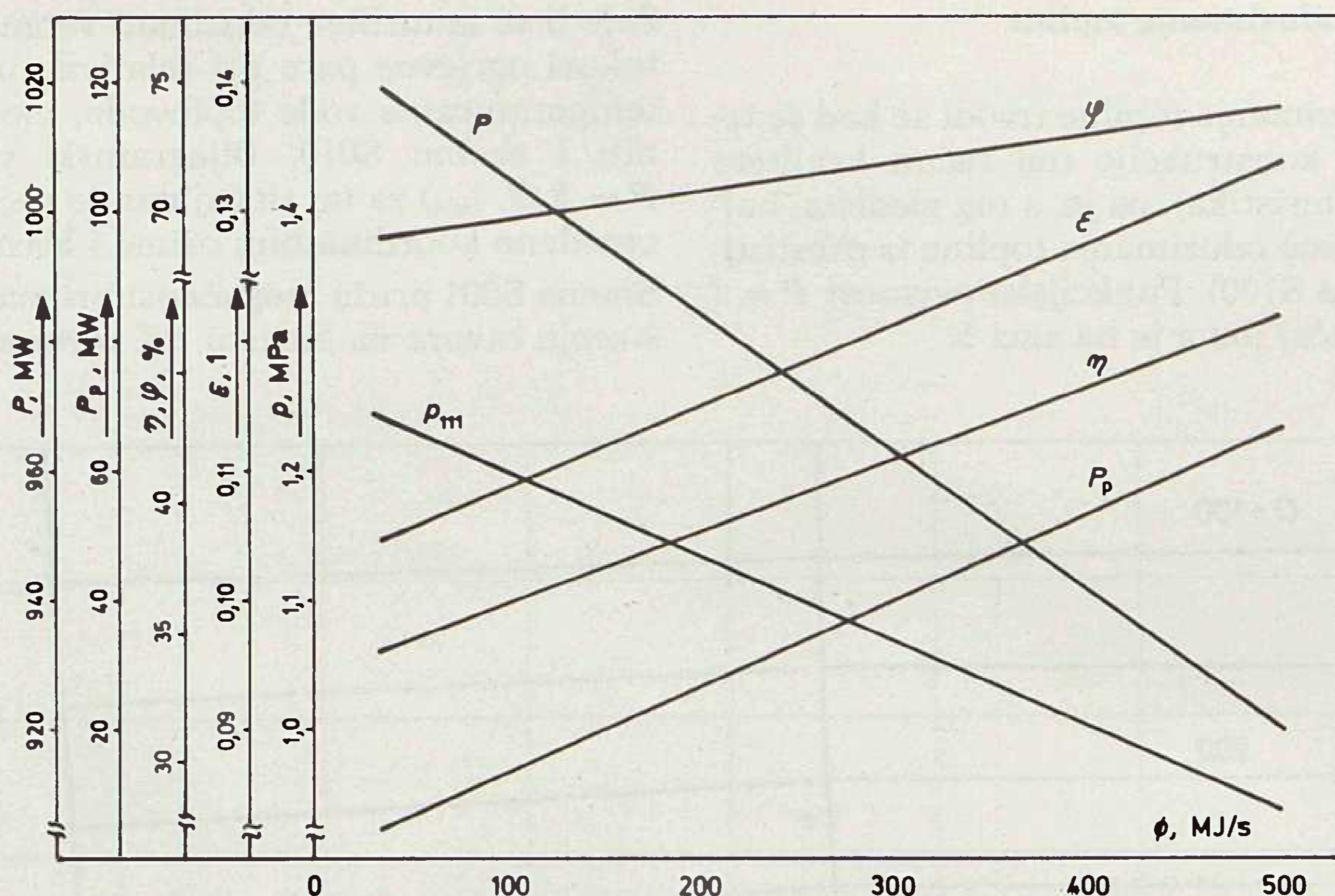
Jednostepeno oduzimanje topline izvodi se kad se teži jednostavnosti konstrukcije (na račun kvalitete energetske karakteristike), pa je, s tog gledišta, najprihvatljivije rješenje oduzimanja topline iz prestrujnih vodova (shema S100). Funkcijska ovisnost $P = f(\varnothing, t_{604})$ za taj slučaj dana je na slici 5.

Žele li se iz turbine oduzimati veoma mali toplinski tokovi ogrjevnice pare pri relativno niskim polaznim temperaturama vode toplovoda, moguće je primijeniti i shemu S010. Dijagramski prikaz ovisnosti $P = f(\varnothing, t_{604})$ za taj slučaj dan je već na slici 3 (polje omeđeno koordinatnim osima i krivuljama c i e).

Shema S001 pruža mogućnost pri maksimalnom proširenju otvora na kućištu NT turbine i parovoda ne-



Slika 4. Snaga na stezaljkama generatora — turbina TK 50-6/51, dvostepeno oduzimanje ogrjevnice pare, shema S 110



Slika 5.

što veće toplinske tokove oduzimanja nego S010 (oko 250 MJ/s), no, uz veoma nisku polaznu temperaturu vode toplovoda (manje od 110 °C). Standardna izvedba dopuštala bi oduzimanje toplinskog toka od svega 155 MJ/s uz mogućnost neznatno više polazne temperature vode toplovoda.

3.4. Mjesto priključka ogrjevnog parovoda na prestrujne vodove

U prethodnim analizama prešutno je usvojeno da se toplina iz prestrujnog voda oduzima između odvajača vlage i prvog pregrijača pare. Ustvari, moguće su tri varijante ekstrakcije pare iz prestrujnog voda:

- oduzimanje prije odvajača vlage
- oduzimanje između odvajača vlage i pregrijača pare
- oduzimanje iza pregrijača pare.

Svaka od ovih mogućnosti ima svojih prednosti i svojim mana pa je potrebno ukratko obrazložiti spomenutu anticipaciju mjesta oduzimanja.

Osnovna prednost oduzimanja pare prije odvajača vlage jest jednostavnost izvedbe (jednostavan priključak na prestrujne cijevi te smještaj i vođenje parovoda od ogrjevnih zagrijača). Tomu treba dodati još dvije kvalitete.

Prva je u vezi sa činjenicom da je tlak pare ispred odvajača vlage viši od tlaka pare iza odvajača vlage (pad tlaka pri prolazu kroz odvajač vlage iznosi cca 3%). Viši tlak i temperatura zasićenja omogućavaju, u principu, izvedbu ogrjevnih zagrijača manje površine cijevi. No, moguće je i bez računa tvrditi da su eventualne uštede s tim u vezi zanemarive.

Druga karakteristika je u vezi s volumnim tokom pare kroz odvajač vlage. Naime, zbog oduzimanja pare iz prestrujnog voda, odnosno, bolje reći, zbog sma-

njene mase pare na ulazu u NT turbinu, pada tlak pare u prestrujnom vodu u odnosu na tlak pri kondenzacijskom radu i adekvatno tome poraste specifični volumen pare. Oduzme li se para za ogrjevni zagrijač ispred odvajača vlage, račun pokazuje da volumni tok pare na ulazu u odvajač vlage ostaje približno jednak onom u kondenzacijskom radu (rast specifičnog volumena pare »kompenziran« je smanjenjem masenog toka pare). Navedeno se ilustrira slikom 6. na kojoj je dana funkcijska ovisnost volumnog toka pare kroz odvajač vlage o toplinskom toku jednostepenog oduzimanja ogrjevnice pare iz turbine prema shemi S100 (v_{100}), dvostepenog oduzimanja pare prema shemi S110 (v_{110}) i trostepenog oduzimanja prema shemi S111 (v_{111}) (pri dvostepenom i trostepenom oduzimanju računato je s polaznom temperaturom vode toplovoda $t_{604} = 160$ °C).

Oduzme li se para između odvajača vlage i pregrijača, volumni tok pare kroz odvajač vlage bit će povećan u odnosu na onaj pri kondenzacijskom radu (dakle, u odnosu na uvjete za koje se standardni odvajač vlage dimenzionira). Na slici 6. dan je taj volumni tok za jednostepeno (v_{100}), dvostepeno (v_{110}) i trostepeno (v_{111}) oduzimanje pare iz turbine. Uočljivo je da je uz povećanje volumnog toka pare do 120% (220 m³/s) onog pri kondenzacijskom radu (170 m³/s) moguće obuhvatiti čitavu »realnu« domenu oduzimanog toplinskog toka. Budući da je odvajač vlage najčešće predimenzioniran oko 30% (zajednička posuda s pregrijačima pare — mjerodavnim za dimenzioniranje gabarita posude — uvjetuje taj kapacitet), uočeni problem ne bi trebalo da bude odlučujući za primjenu rješenja s oduzimanjem ogrjevnice pare ispred odvajača vlage i pri relativno visokim oduzimanim toplinskim tokovima.

Osim navedenih preferencija oduzimanja pare ispred odvajača vlage, prisutan je i jedan važan nedostatak koji može eliminirati ovo rješenje: erozijska korozija

parovoda prestrujni vod — ogrjevni zagrijač. Erozijska korozija proporcionalna je brzini strujanja pare i vlažnosti pare, a ovisi i o geometrijskom obliku kanala u kojem struji para i temperaturi vlažne pare. Stanje pare na mjestu oduzimanja (vlažnost, temperatura) upućuje na opasnost od erozijske korozije parovoda pa vodeći zapadnoevropski proizvođači turbina [L 5, L 6] izbjegavaju oduzimanje ogrjevnice pare prije odvajanja vlage.

Oduzimanjem pare između odvajanja vlage i pregrijača pare izbjegavaju se teškoće u vezi s erozijskom korozijom parovoda prestrujni vod — ogrjevni zagrijači. Smatra se da je navedeno dovoljan razlog da se ovoj varijanti da prednost pred onom s oduzimanjem pare ispred odvajanja vlage.

Osim već razmatranog nedostatka ovog rješenja (u vezi s povećanjem volumnog toka pare kroz odvajanje vlage), ono traži i određena manja konstrukcijska prilagodavanja. Naime, sve suvremene izvedbe odvajanja vlage i pregrijača pare smještaju ove uređaje u zajedničku posudu pa je nužno prodorima kroz plašt posude omogućiti ekstrakciju pare željenih termodinamičkih parametara. S tim u vezi analizirani su odvajanja vlage — pregrijači pare vodećih zapadnih proizvođača (BBC, KWU, Westinghouse). Pokazalo se da je moguće oduzeti paru između odvajanja vlage i pregrijača pare i da su potrebna ulaganja u tu rekonstrukciju zanemariva [L 7].

Treba, na kraju, spomenuti i razlog za eliminaciju oduzimanja pare iza odvajanja vlage — pregrijača. U tom slučaju oduzima se s prestrujnog voda para višeg eksergetskog nivoa nego je to u slučaju oduzimanja ispred odvajanja vlage ili pregrijača. Lošija toplinska valjanost takve izvedbe nema adekvatnu kompenzaciju u smanjenju investicija za prilagodbu postrojenja oduzimanju pare.

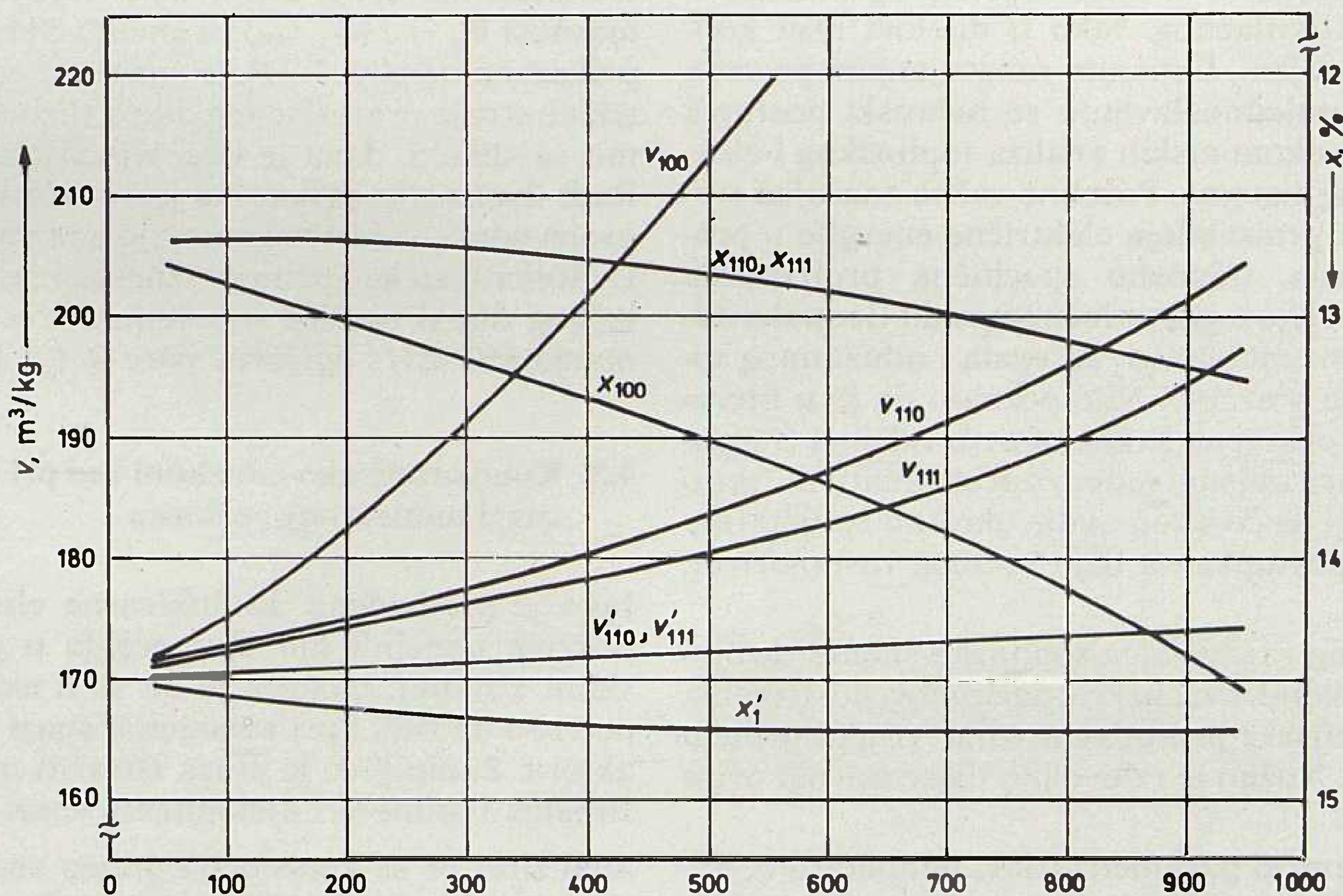
4. ENERGETSKE KARAKTERISTIKE TURBINE TK 50-6/51 U KONDENZACIJSKO-ODUZIMNOM RADU

4.1. Snaga na stezaljkama generatora električne struje, stupanj korisnog djelovanja i toplinske valjanosti procesa, termodinamički parametri toplinskog ciklusa

U prethodnom poglavlju analizirane su mogućnosti i uvjeti oduzimanja pare s turbine koristeći dijagrame funkcijske ovisnosti $P = f(\varnothing, t_{604})$. Time je ujedno definirana i najvažnija karakteristika elektrane u kondenzacijsko-oduzimnom radu: snaga na stezaljkama generatora električne struje. Da se istraže navedene ovisnosti, bio je potreban golem napor koji je rezultirao određenim spoznajama u vezi s primjenjivošću pojedinih rješenja u nas u nepsrednoj budućnosti. Nema stoga potrebe da se za čitavu prije analiziranu domenu toplinskih tokova i polaznih parametara vode toplovoda iskazuju i ostale karakteristike turbinskog ciklusa. Dat će se u opsegu dovoljnom da se ilustriraju značajke procesa.

U skladu s tim u tablici 1. dani su osim parametara toplinske sheme ciklusa topline TK 50-6/51 u kondenzacijskom radu, i adekvatni parametri pri radu u kondenzacijsko-oduzimnom režimu za jedno stanje rada ($\varnothing = 850 \text{ MJ/s}$, $t_{604} = 160 \text{ °C}$). Podaci omogućavaju dimenzioniranje sistema za predaju topline vodi toplovoda i ukazuju na promjene parametara u odnosu na kondenzacijski rad.

Stupanj korisnog djelovanja ukupnog procesa definiran kao odnos ukupno transformirane energije i energije za transformaciju nije primarna značajka za odluku o eventualnoj primjeni analiziranog rješenja. Može, međutim, poslužiti za ilustraciju povećanja efi-



Slika 6.

kasnosti korištenja primarnog oblika energije (urani-ja). Za najjednostavniju shemu oduzimanja topline — S100 — dana je ova značajka (η) na slici 5. u ovisnosti o oduzimnom toplinskom toku. Vidljivo je da se korištenjem spojnog procesa poboljšava stupanj korisnog djelovanja transformacije nuklearne energije i do 2 puta u odnosu na kondenzacijski rad. Pri ostalim prije razmatranim shemama kondenzacijsko-oduzimnog rada (S110, S011, S111 itd.) dobila bi se i kvantitativno približno jednaka ovisnost $\eta = f(\phi)$. Naime, mogućnost povećanja snage na stezaljkama generatora električne struje usavršavanjem toplinske sheme oduzimanja topline je za dva reda veličine manje od ostalih veličina u brojniku i nazivniku razlomka koji definira stupanj korisnog djelovanja procesa.

Stupanj korisnog djelovanja procesa ne razlikuje kvalitetu transformirane energije. Proces stoga bolje oslikava stupanj toplinske valjanosti procesa (ν) temeljen na drugom glavnom stavku termodinamike. Usvoji li se da kontrolna granica procesa obuhvaća čitav turbinski ciklus sa slike 1. osim parogeneratora, dakle da siječe vezu 101 i 306 (ostavljajući parogenerator izvan kontrolne granice), vezu 601 i 604 (obuhvaćaju toplinsku stanicu) i vezu generatora električne struje s elektroenergetskom mrežom, bit će toplinska valjanost procesa kao što je dano na slici 5. Navedena funkcijska ovisnost $\nu = f(\phi)$ odnosi se na shemu S100, a približno (iz istih razloga kao i pri stupnju korisnog djelovanja vrijedi i za ostale prije razmatrane sheme.

4.2. Proizvodnja električne energije u protutlačnom radu

Svaki agregat (turbina i generator električne struje) s kondenzacijsko-oduzimnom turbinom moguće je formalno prikazati sastavljenim iz dva dijela: kondenzacijskog i protutlačnog. Iako ti dijelovi nisu konstrukcijski odvojeni, fiktivnim razdvajanjem procesa njihova rada pojednostavljuju se računski postupci kod energetske-ekonomskih analiza toplinskog i elektroenergetskog sistema. Posebno važna značajka s time u vezi jest proizvodnja električne energije u protutlačnom radu, odnosno specifična proizvodnja električne energije u protutlačnom radu (jednaka odnosu snage »protutlačnog« agregata i oduzimnog toka za ogrjevne potrebe). Nije poznato da je u literaturi razrađen postupak za račun ovih veličina (raspoloživa literatura opisuje jedino aproksimativni, skraćeni postupak) pa će se on ovdje ukratko iznijeti (dokaz točnosti postupka ne daje se zbog raspoloživog prostora.

Kod formalnog razdvajanja toplinske sheme turbinskog ciklusa kondenzacijsko-oduzimnog postrojenja na kondenzacijski i protutlačni »dio« vrijedi princip superpozicije. Nužno je i dovoljno da se udvolji ovim presimama:

- termodinamički parametri (tlak, temperatura, entalpija) radnog medija (vodena para, voda) u ekvidistantnim točkama kondenzacijsko-oduzimne,

kondenzacijske i protutlačne jedinice treba da su jednaki

- zbroj masenih tokova kroz ekvidistantne presjeke kondenzacijske i protutlačne jedinice treba da je jednak masenom toku kroz ekvidistantni presjek kondenzacijsko-oduzimne jedinice
- zbroj snaga na stezaljkama generatora kod kondenzacijske i kod protutlačne jedinice treba da je jednak snazi na stezaljkama generatora kondenzacijsko-oduzimne jedinice (adekvatno vrijedi i za prag elektrane).

Iz prve dvije premise proizlazi da i zbroj toplinskih tokova kroz ekvidistantne presjeke kondenzacijske i protutlačne jedinice treba da je jednak toplinskom toku kroz ekvidistantnu površinu kondenzacijsko-oduzimne jedinice.

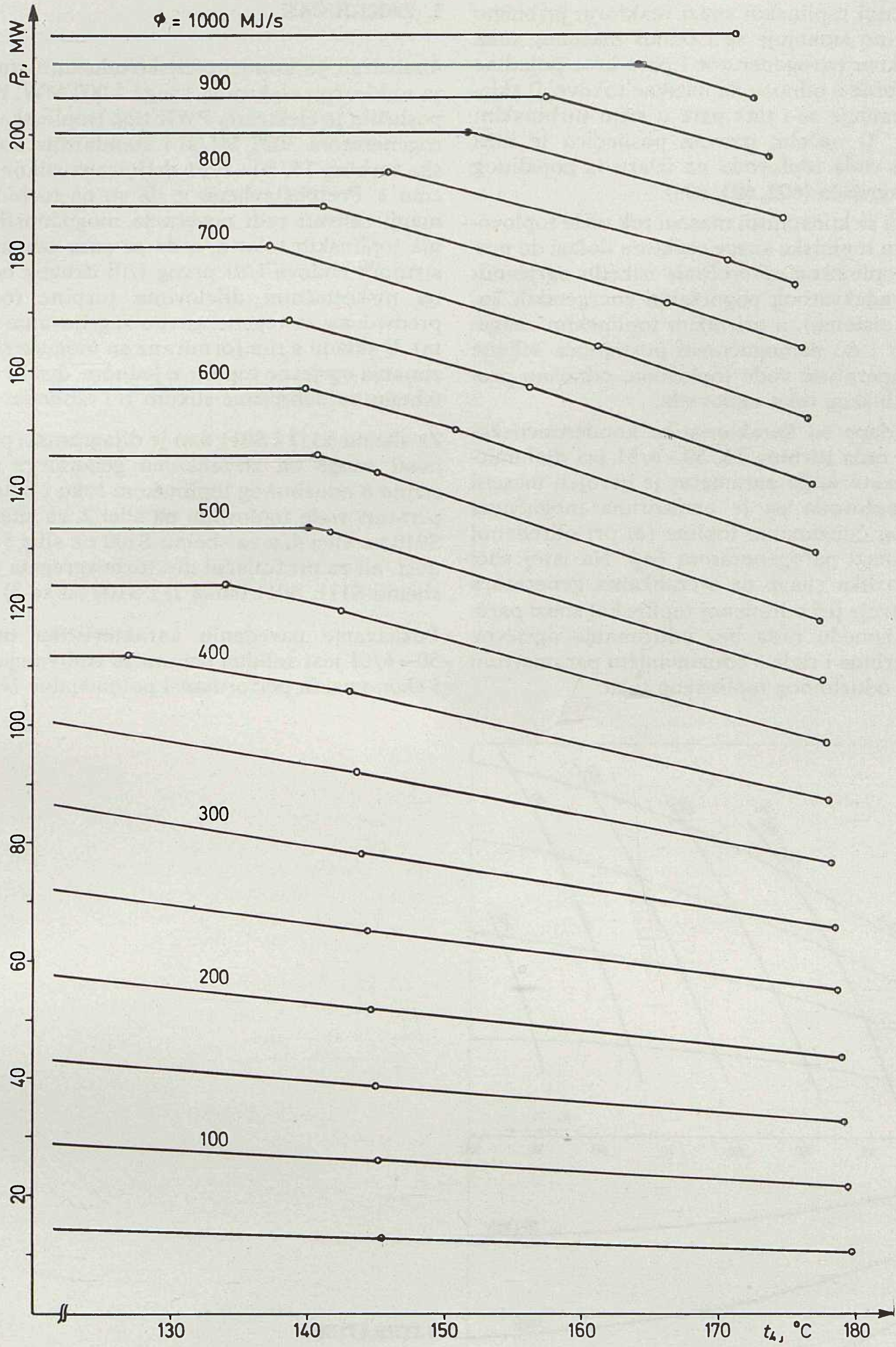
Očito je da je radi izračunavanja snage »protutlačne turbine« potrebno u prvom koraku odrediti termodinamička stanja i masene tokove u pojedinim točkama kondenzacijsko-oduzimnog turbinskog ciklusa. Time su ujedno određena i termodinamička stanja »protutlačne turbine«, shema koje je kvalitativno identična shemi kondenzacijsko-oduzimne turbine sa slike 1, uz uvjet da su maseni tokovi pri 203 (dio 116), 202 (117), 201 (118), 301, 302, 303, 403 i 402 jednaki nuli (apstrahira se razdioba zanemarivo malog toka 102). Poznavajući ta termodinamička stanja, uvažavajući definiranu shemu »protutlačne turbine« i imajući pred očima da čitava toplinska stanica »pripada« protutlačnoj turbini (s tim da su veze 501, 502, 503 i 701 poznate na osnovi proračuna kondenzacijsko-oduzimne turbine), određivanje masenih tokova u ciklusu protutlačne turbine svodi se na bilanciranje masenih i toplinskih tokova u nekoliko bilančnih sustava i rješavanje dobivenog sustava jednadžbi. Suvremena obrada na elektronskom računaru čini ovaj postupak jednostavnim.

Koristeći iznesenu metodu izračunata je funkcijska ovisnost $P_p = f(\phi, t_{604})$ za shemu S111 i dijagramski prikazana na slici 7. (P_p je snaga na generatoru električne struje protutlačnog dijela turbine). Na dijagramu sa slike 5. dana je ista ovisnost za shemu S100. Radi ilustracije, prikazana je i značajka ε (specifična proizvodnja električne energije u protutlačnom radu). U tablici 1. su kao primjer iznesena sva stanja protutlačnog dijela turbine u uvjetima trostepenog oduzimanja 850 MJ/s ogrjevne pare iz $t_{604} = 160^\circ\text{C}$.

4.3. Kondenzacijsko-oduzimni rad pri djelomičnoj snazi nuklearnog reaktora

Iako je predviđeno da nuklearna elektrana-toplana pokriva temeljni dio opterećenja u elektroenergetskom sistemu, moguće je da se u eksploataciji javi potreba da radi i pri smanjenoj snazi nuklearnog reaktora. Zanimljivo je stoga istražiti mogućnost oduzimanja topline pri djelomičnoj snazi reaktora.

Analizirat će se koncepcija prema shemi S111, a zaključci se mogu proširiti i na ostale prije definirane sheme.

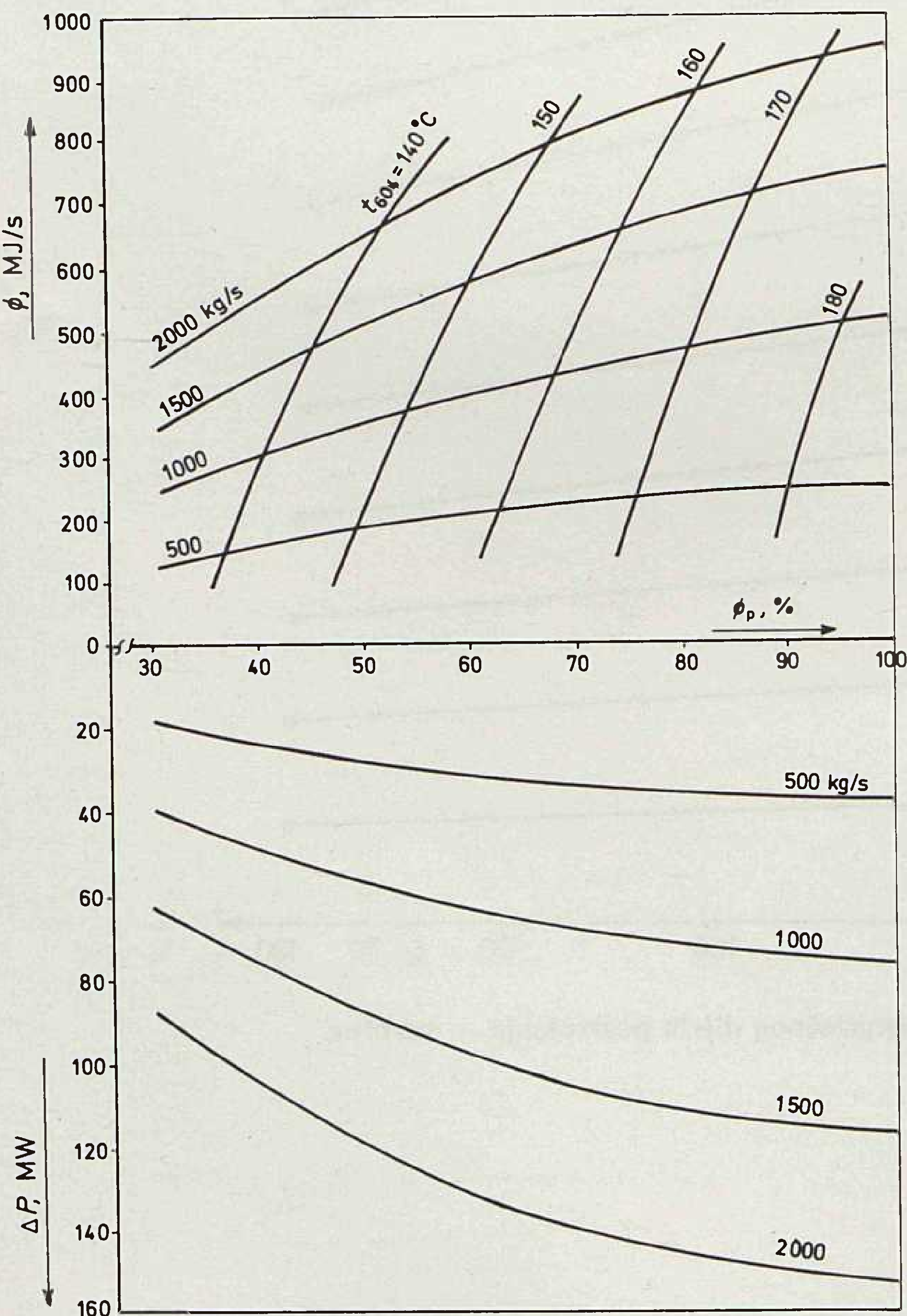


Slika 7. Snaga na staljkama generatora protutlačnog dijela postrojenja — turbina

Pri djelomičnoj toplinskoj snazi reaktora, približno proporcionalno smanjuje se i odnos masenog toka vode /pare kroz parogenerator i pare kroz pojedine presjeka turbine u odnosu na nazivne tokove. U skladu s tim smanjuje se i tlak pare u svim turbinskim stupnjevima. U načelu, izravna posljedica je niža temperatura vode toplovoda na izlazu iz pojedinog ogrjevnog zagrijača (602, 603, 604).

Pretpostavi li se konstantni maseni tok vode toplovoda, sniženjem toplinske snage reaktora dolazi do pre-raspodjele toplinskog opterećenja između ogrjevnih zagrijača (i adekvatnog pogoršanja energetske karakteristika sistema), a pri nižim toplinskim snagama reaktora i do nemogućnosti postignuća željene polazne temperature vode toplovoda, odnosno projektnog toplinskog toka toplovoda.

Na slici 8. dane su karakteristike kondenzacijsko-oduzimnog rada turbine TK 50–6/51 pri djelomičnoj snazi reaktora. Za parametar je usvojen maseni tok vode toplovoda pa je analizirana mogućnost maksimalnog oduzimanja topline (ϕ) pri određenoj toplinskoj snazi parogeneratora (ϕ_p). Na istoj slici dana je i razlika snage na stezaljkama generatora električne struje pri određenoj toplinskoj snazi parogeneratora između rada bez oduzimanja ogrjevnog topline iz turbine i rada s oduzimanjem parametrom definiranog oduzimnog toplinskog toka.



Slika 8.

5. ZAKLJUČAK

Analiziran je kondenzacijsko-oduzimni rad turbine za nuklearnu elektranu snage 1 000 MW. Kao model poslužila je elektrana PWR tipa (toplinska snaga parogeneratora 3027 MJ/s) i standardna kondenzacijska turbina TK 50–6/51 definirana slikom 1. i tablicom 1. Pretpostavljeno je da su na turbini izvedeni manji zahvati radi povećanja mogućnosti oduzimanja toplinskih tokova, a da se para oduzima iz pre-strujnih vodova i/ili prvog i/ili drugog oduzimanja na niskotlačnim dijelovima turbine (oduzimanja predviđena za regenerativno zagrijavanje kondenzata). U skladu s tim formirane su moguće sheme oduzimanja ogrjevnog topline u jednom, dva ili tri stupnja (sheme su definirane slikom 1. i tablicom 2).

Za shemu S111 i S011 dan je dijagramski prikaz ovisnosti snage na stezaljkama generatora električne struje o oduzimnog toplinskog toka i polaznoj temperaturi vode toplovoda na slici 2, za shemu S110 i S010 na slici 4, a za shemu S100 na slici 5. Ista ovisnost, ali za protutlačni dio turboagregata dana je za shemu S111, S011 (slika 7) i S100 (slika 5).

Poznavanje navedenih karakteristika turbine TK 50–6/51 jest solidna osnova za ispitivanje tehničkih i ekonomskih performansi potencijalne NE-TO.

LITERATURA

- [1] Z. MUŽEK: »Pregled opskrbe toplinom iz nuklearnih elektrana u svijetu«, Energija 5/1984, str. 377–397, Zagreb, 1984.
- [2] F. C. OLDS: »Small Nuclear Reactors for Power and Process Heat«, Power Engineering, Vol. 88/No. 11, November 1984.
- [3] M. VIDMAR: »Prethodna ocena ekonomske sprejemljivosti ogrevalnoga reaktorja za Ljubljano«, IB Ljubljana, Ljubljana, 1983.

- [4] H. KUNAJ: »Izbor parametara kombiniranog sistema hlađenja kod nuklearnih elektrana uz oduzimanje topli-
ne za potrebe daljinskog grijanja«, magistarski rad, Sve-
učilište u Zagrebu, Zagreb, 1985.
- [5] BBC — Jugoturbina, Kraftwerkstechnik (Fossil und
Nuklear bis 1300 MW), Presentacija u Karlovcu, Karlo-
vac, svibanj 1982.
- [6] KWU — IE, Symposium Aspekte zur Kernenergie, Za-
greb, 23. 11. 1982.
- [7] Tim autora: »Optimalna toplinska shema NE Prevlaka«,
Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.

CHARACTERISTICS OF CONDENSING TURBINE OPERATION FOR 1000 MW NPP

In the article are discussed characteristics of different condensing turbines with steam extraction for 1000 MW NPP in various conditions of remote heat supply. It is presented a functional dependence of electric power with extracted heat in relation to water temperature in heating line as well as calculation of electric production in counter pressure operation and operation characteristics on reactor lower power.

CHARAKTERISTIKEN DER KONDENSATIONS ABNAHME ARBEITSTECHNIK DER TURBINE FÜR DAS KERNKRAFTWERK 1000 MW

Hier werden energetische Charakteristiken der Kondensations — Abnahme Technik der turbine für das Kernkraftwerk der Stärke 1000 MW bei verschiedenen Schemen der Abnahme der Brennwärme analysiert. Außer der Funktionsabhängigkeit der Stärke an den Klemmen des Generators des elektrischen Stromes von dem Abnahme — wärmelauf und der Ausgangstemperatur des Wassers in der Fernheizungsanlage, wird auch eine Rechnung der Erzeugung der elektrischen Energie in der Gegen-druckarbeit und den Arbeitscharakteristiken bei der verringerten Kraft des Kernre-aktors gegeben.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАЦИОННО-ОТБОРОЧНОЙ РАБОТЫ ТУРБИНЫ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МОЩНОСТИ 1000 МВт

Анализируются энергетические характеристики конденсационноотборочной работы турбины для атомной электростанции мощности 1000 МВт при различных схемах отбора отопительной теплоты. Кроме функциональной зависимости мощности на зажимах генератора электрического тока от отборочного теплового потока и исходной температуры воды теплопровода, дается также расчет выработки электроэнергии при работе с противодавлением и характеристики работы при снижении мощности ядерного реактора.

Naslov pisca:

Zdravko Mužek, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
Zagreb
41000 Zagreb,
Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1987 — 01 — 29



„MONTER“

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

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

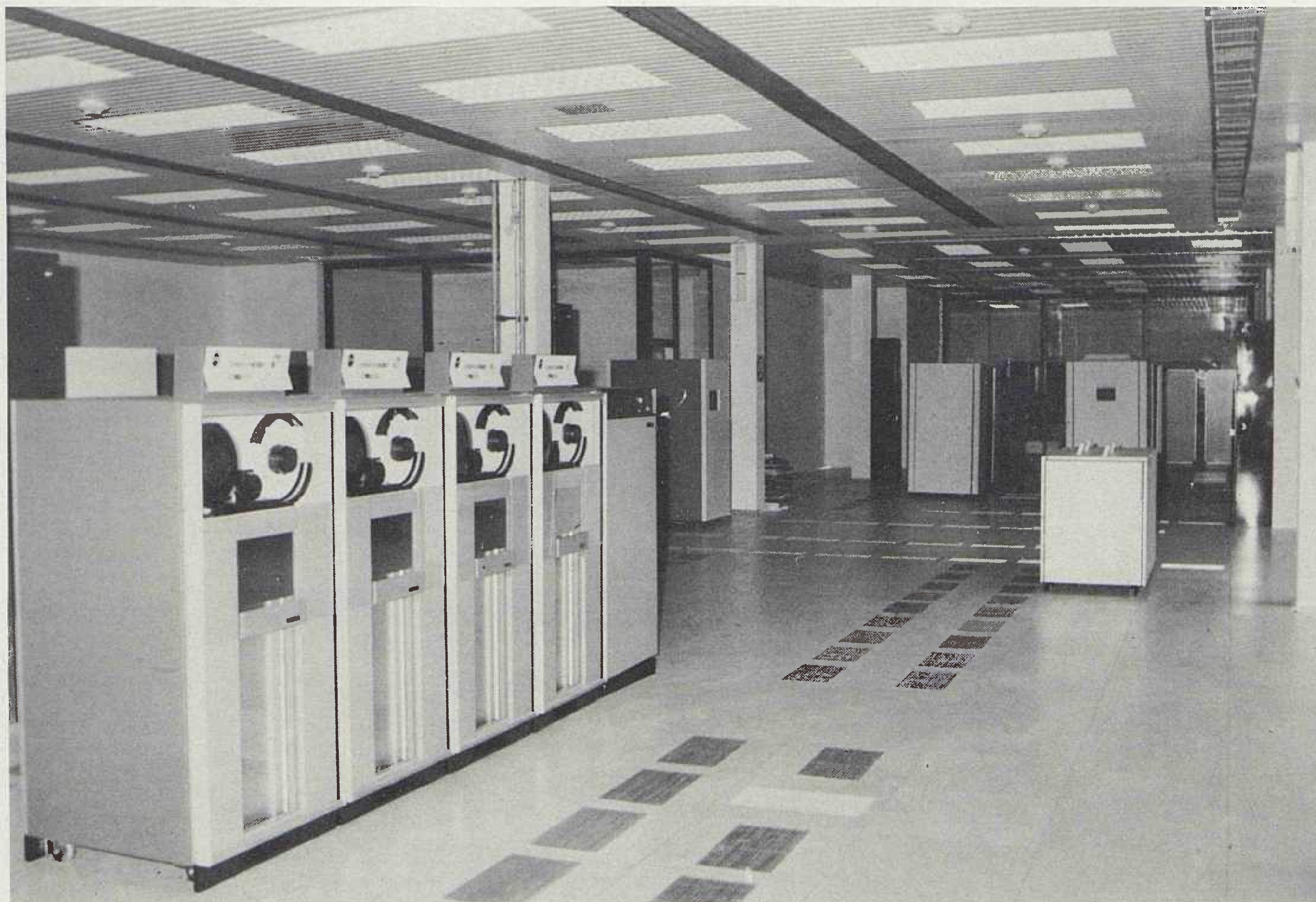
SPONZOR-SUORGANIZATOR UNIVERZIJADE '87

ZAGREB
JUGOSLAVIJA



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

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



CAOP Zagreb — instalaterske radove izvodili radnici Montera

PRORAČUN EMISIJA EKOLOŠKI ZNAČAJNIH ELEMENATA I SPOJEVA IZ TE PLOMIN I i II ZA RAZLIČITE POSTUPKE ODSUMPORAVANJA DIMNIH PLINOVA

Mr. Berislav Nadinić, Zagreb

UDK 621.311.22:502.7

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku su prikazane osnove matematičkog modela za utvrđivanje emisije ekološki značajnih elemenata i spojeva pri primjeni različitih postupaka odsumporavanja dimnih plinova. Model je izrađen na bazi svjetskih iskustava primjene različitih tehnologija odsumporavanja (prvenstveno iz SAD) i niza mjerenja koja su u TE Plomin I obavljali naši renomirani instituti.

Rezultati pokazuju utjecaj svake pojedine tehnologije na emisiju velikog broja ekoloških značajnih elemenata i spojeva iz TE Plomin I i II, te ih je potrebno uzeti u obzir u procesu izbora najpogodnije tehnologije.

Ključne riječi: odsumporavanje, matematički model, ekologija, ugljen, termoelektrane, tehnologije odsumporavanja, dimni plinovi

UVOD

Potreba za električnom energijom neprestano raste i u razvijenim i u zemljama u razvoju, jer se bilo kakav privredni napredak ne može zamisliti bez njene primjene. Proizvodnja električne energije, nažalost, vezana je uz tehnologije koje imaju značajan utjecaj na okolinu. Jedna od vodećih tehnologija na tom području u odnosu na zagađenje okoline je svakako tehnologija proizvodnje električne energije u termoelektranama na ugljen. S porastom svijesti o potrebi očuvanja čovjekove okoline počelo se razmišljati i o potrebi poduzimanja određenih mjera koje bi smanjile taj utjecaj. Tako je na nivou naše republike odlučeno da se termoelektrana Plomin II gradi s uređajem za odsumporavanje kako bi se smanjilo zagađenje čovjekove okoline.

Izbor tehnologije mora se izvršiti na temelju dva osnovna kriterija: ekonomskog i ekološkog. Ovaj drugi aspekt obrađen je u ovom članku, koji je imao za cilj da opiše kako se matematičkim modeliranjem baziranim na svjetskim iskustvima primjene različitih tehnologija odsumporavanja, kao i mjerenjima provedenim na TE Plomin I može kvantificirati utjecaj različitih tehnologija na emisiju ekološki značajnih elemenata i spojeva u okolinu TE Plomin II i uvjetno TE Plomin I. Radni naziv razvijenog matematičkog modela je »EODP« (Efekti odsumporavanja dimnih plinova) i on je pretočen u kompjutorski kôd (Fortran) na računalu PDP 11/70. Razvoj navedenog matematičkog modela s opisanom svrhom predstavlja značajan korak pri izboru tehnologije odsumporavanja TE Plomin II i kao takav je u jugoslavenskim okvirima izrazito pionirski rad.

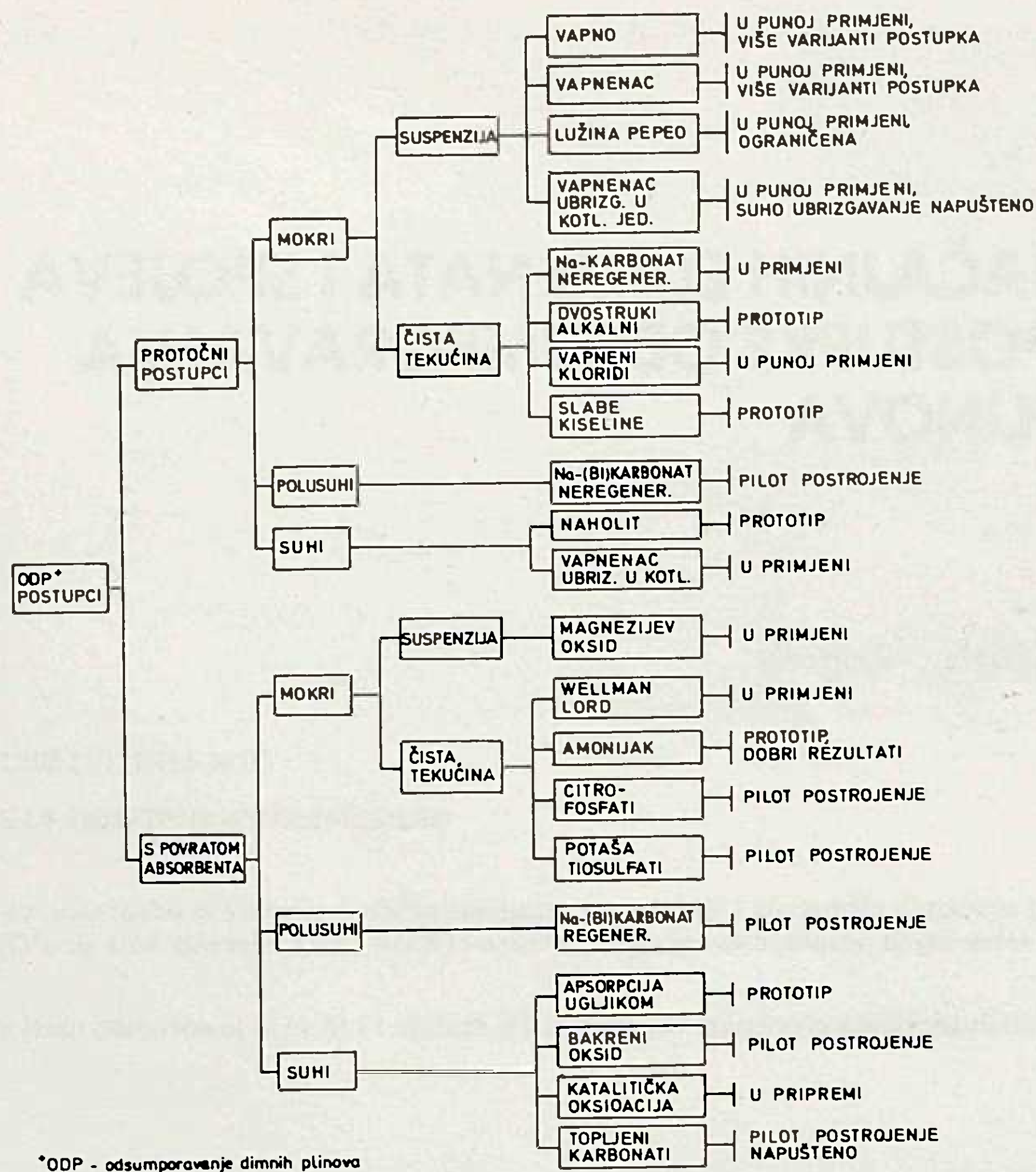
1. OSNOVNI POSTUPCI ODSUMPORAVANJA DIMNIH PLINOVA ENERGETSKIH POSTROJENJA

Sumporni spojevi mogu se odstranjivati iz izlaznih dimnih plinova primjenom niza različitih kemijskih postupaka. Prikaz glavnih metoda odsumporavanja shematski je prikazan na slici 1, s naznakom u kojoj je fazi primjene pojedini postupak bio u 1978. godini prema [15].

Glavna podjela postupaka je na protočne procese, koji nisu regenerativnog tipa, odnosno kod kojih se sav otpadni materijal odlaže, i regenerativne, kod kojih se sorbent regenerira i ponovo upotrebljava. Kod nekih regenerativnih postupaka može se izvući elementarni sumpor ili odgovarajući sumporni spojevi podobni za preradu i tržište.

Prema načinu izvođenja procesa odsumporavanja postupci se dijele na mokre, polusuhe i suhe.

Mokri postupci su podijeljeni u nekoliko kategorija: postupci sa suspenzijom i postupci s čistom tekućinom. U prvima se upotrebljava suspenzija aktivnog sorbenta. Primjeri su postupak s vapnom/vapnencom i regenerabilni proces s magnezijevim oksidom (MAGOX-proces). Mokri postupci mogu odstraniti i leteći pepeo i sumpor-dioksid direktno iz struje dimnih plinova. U praksi se mogu primijeniti i drugi načini za odvajanje letećeg pepela, odvojeno od mokrog postupka (npr. elektrostatski filteri), što se izvodi prije odsumporavanja, čime se štiti postrojenje, smanjuju mu se dimenzije, ne kontaminiraju se reagenti i nusproizvodi. Ovi postupci, nakon tretiranja, zahtijevaju dodatno zagrijavanje dimnih plinova prije uvođenja u dimnjak, kako bi se izbjegla kontaminaci-



Slika 1. Postupci ODP ispitani na kotlovima loženim ugljenom

ja, korozija sistema i smanjio vidljiv dim na otvoru dimnjaka.

U polusuhim postupcima dimni plinovi se dovode u kontakt s raspršenim npr. natrijevim karbonatom.

Tablica 1.

Parametar	Ocjene metoda odsumporavanja				
	vapno/vapnenac	dvostruki alk. postupak	magnezijev oksid	natrijev sulfat	polusuhi postupak s Na-bikarbonatom
Složenost procesa	Relativno je jednostavan i jeftin postupak. Postoje određeni problemi s taloženjem naslaga u instalaciji, začepljenjem, korozijom i erozijom sistema.	Složeni kemijski proces, veća raspoloživost i pouzdanost od postupka s vapnom.	Kompliciran kem. proces. Moguće je odvojiti regeneraciju od sistema prečišćavanjem i termoeletrane.	Najuspješniji za kotlove na tekuća goriva vrše se testiranja s ugljenom lož. kotlovima.	Predstavlja kombinaciju dvije tehnologije koje se inače šire primjenjuju u industriji.
Efikasnost odvajanja SO ₂	Vrlo dobra, više od 90%.	Odstranjuje više od 90%.	Odstranjuje više od 90%.	Odstranjuje više od 90%.	Odstranjuje više od 90%.
Otpadni produkti	Sistem proizvodi velike količine mulja i taloga za deponij. Kalcijev sulfat, kalcijev sulfat.	Odlaze se talog kalcijevih spojeva, dodatni problem čišćenja od Na ₂ SO ₄ .	Proizvodi sumpor ili sumpornu kiselinu. Minimalni deponij.	Proizvodi sumpor, sumpornu kiselinu za tržište, malo materijala za deponij u tekućoj fazi.	Proizvodi smjesu suhog praha Na i Ca sulfita i sulfata, nereg. absorbenta i letećeg pepela. Potenc. proizvod je sumpor.
Razvojna faza — stupanj primjene	Sistem je u punoj komercijalnoj upotrebi na kotlovima TE — objekata.	Puna primjena u Japanu (mazut) i u SAD se vrši instaliranje.	Sistem je izgrađen na više objekata, ali ugljeni s nižim % S.	Sistem u punoj primjeni i razvoju.	Prvi instaliran na 100 MW (1979. W) SAD, daljnjih 18 postrojenja naručeno. Iskustvo postoji s ugljenom do 3,5 % S.
Prednosti/nedostaci	Vrlo visoka efikasnost otklanjanja letećeg pepela i SO ₂ ; zbog pada tlaka d, plinova i velikog omjera T/P* troši se dosta energije; problem deponija; u upotrebi u SAD više od 10 godina.	Minimalno stvaranje kamenca u prečistaci, niski omjer T/P, nema proizvoda za plasman zahtijeva odvojene sisteme za skladištenje krutih agensa.	Nema stvaranja kamenca, mora biti izgrad. postrojenje za sumpornu kiselinu, prodaja nusproizvoda može biti problem, leteći pepeo se mora izdvajati iz procesa regen., mogućnost gubitka MgO.	Nema stvaranja kamenca, mali odnos T/P leteći pepeo se odstranjuje, korozija intenzivna, skupi konstr. materijali, visok potrošak energije.	Minimalni proces razvoja opreme jer su obje tehnologije poznate, nije potrebno mokro čišćenje, niski omjer T/P, skupi absorbent, skupi filterski uređaj nešto niži efekt odstranjivanja SO ₂ , s jeftinijim apsorberom, npr. vapnencom.

T/P — omjer tekućina/plinova

Upotrijebljeni sorbent se može odložiti ili regenerirati.

Suhi protočni postupak je ispitivan na ugljen loženim kotlovima uz dodavanje naholita (mineral s prirodnim natrijevim karbonatom) ili vapnenca, direktno u ložište te su postignuti zadovoljavajući rezultati. Suhi regenerabilni postupci izvode se na dva načina: ugljikovom apsorpcijom i postupkom s bakrenim oksidom.

Općenito gledajući, od svih navedenih postupaka za moguću upotrebu na TE Plomin zanimljivi su samo oni koji su u komercijalnoj upotrebi na energetskim postrojenjima ili postrojenju, snaga ne manjih od 50 MW, o čijem radu postoji dovoljno iskustvenih podataka. Postupci koji zadovoljavaju ova dva zahtjeva su sljedeći:

- postupci odsumporavanja dimnih plinova vapnom,
- postupci odsumporavanja dimnih plinova vapnencom
- polusuhi postupci s natrijevim bikarbonatom,
- dvostruki alkalni postupci,
- postupci s magnezijevim oksidom,
- Wellman-Lord postupci (postupak s natrijevim sulfatom).

Podaci dobiveni na bazi višegodišnje eksploatacije ovih postupaka [15] prikazani su u tablici 1.

Kemijske i fizikalne osnove navedenih postupaka koje su predstavljale polaznu osnovu za izradu matematičkog modela »EODP«, opisane su u [L. 1, 2, 3, 8, 9, 15 i 17].

2. OPIS MATEMATIČKOG MODELA

Funkcionalno matematički model »EODP« može se podijeliti u 3 osnovna dijela, i to:

- dio koji proračunava emisiju pojedinih elemenata i pepela na izlazu iz generatora pare putem šljake, letećeg pepela i u sastavu dimnih plinova
- dio koji proračunava emisiju pojedinih spojeva odnosno elemenata i pepela nakon prolaza dimnih plinova kroz elektrostatski filter i njihovu distribuciju u odvojenom pepelu (u ESF*)
- dio koji proračunava emisiju pojedinih spojeva, odnosno elemenata u atmosferu nakon prolaza dimnih plinova kroz različita postrojenja za ODP (naravno, uzeti su u obzir samo postupci za ODP koji su i opisani u prošlom poglavlju).

Na slici 2. prikazana je blok-shema sistema koje tretira matematički model »EODP«.

Kao ulazni podaci u »EODP« odabrani su sljedeći:

- termička snaga generatora pare
- stupanj efikasnosti elektrostatskih filtera za odvajanje letećeg pepela
- stupanj efikasnosti pojedinih ODP postupaka za odvajanje SO₂ iz dimnih plinova
- elementarna analiza goriva koja može sadržavati elemente čiji je pregled dan u tablici 2. U slučaju TE Plomin dana je elementarna analiza prosječnog ugljena prema [L 18], [L 20] i [L 21] u tablici 3.

Tablica 2. Opseg elementarne analize (Popis značajnih sastojaka) ugljena kakva služi kao ulaz za matematički model »EODP«

Pepeo	Željezo	Talij	Galij
Sumpor	Olovo	Cink	Rubidij
Antimon	Magnezij	Uran	Stroncij
Arsen	Mangan	Torij	Itrij
Berilij	Živa	Ugljik	Kalij
Kadmij	Nikl	Kalcij	
Krom	Selen	Titan	
Bakar	Srebro	Vanadij	

* ESF — elektrostatski filter

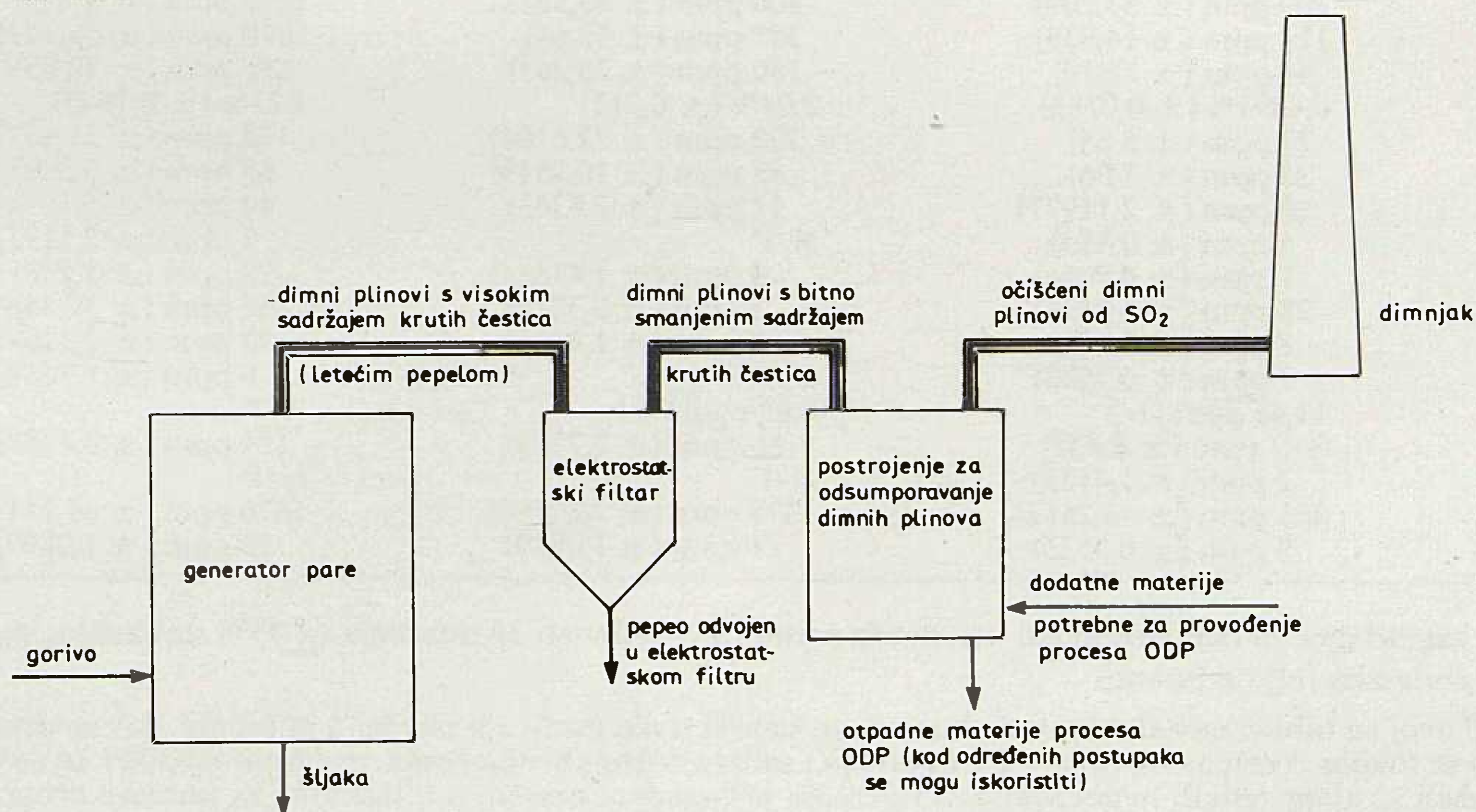
Tablica 3. Elementarna analiza prosječnog ugljena koji koristi TE Plomin prema Lit. 18, 20 i 21

Sastojak	Količina	Sastojak	Količina
Pepeo	13,972 %	Mangan	N/P
Sumpor	8,03 %	Živa	N/P
Antimon	N/P*	Nikl	22 ppm
Arsen	1 ppm	Selen	28 ppm
Berilij	N/P	Srebro	N/P
Kadmij	N/P	Talij	N/P
Krom	41 ppm	Cink	10 ppm
Bakar	22 ppm	Uran	24,7 ppm
Željezo	0,4891 %	Torij	2 ppm
Olovo	8 ppm	Ugljik	62,41 %
Magnezij	N/P	Kalcij	3,29 %
Vanadij	114 ppm	Titan	N/P
Galij	1 ppm	Stroncij	263 ppm
Rubidij	3 ppm	Kalij	11,46 ppm
Itrij	2 ppm		

* N/P — nema podataka jer nije mjereno ili taj element ni-

U skladu s navednim kompjutorski program »EODP« može proračunati raspodjelu pojedinih elemenata odnosno spojeva u šljaci koja se taloži na dnu kotla letećem pepelu koji se odvoji u elektrostatskom filteru, otpadnom mulju ODP procesa (ako egzistira) i u dimnim plinovima na izlazu iz dimnjaka za sljedeće slučajeve korištenja:

- elektrostatskog filtera i ODP vapnom,
- elektrostatskog filtera i ODP vapnencem,
- elektrostatskog filtera i ODP dvostrukim alkalnim postupkom,
- elektrostatskog filtera i ODP s manganizijevim oksidom,
- elektrostatskog filtera i ODP Wellman-Lord postupkom,
- ODP vapnom (bez prethodne upotrebe filtera),
- ODP vapnencem (bez prethodne upotrebe filtera),
- polusuhim postupkom s natrijevim bikarbonatom,
- elektrostatskog filtera bez primjene bilo kakvog ODP postupka.



Slika 2. Blok-shema sistema koji obrađuje matematički model »EODP«

Na početku ovog poglavlja rečeno je da se matematički model »EODP« može funkcionalno podijeliti u 3 osnovna dijela koji su u daljnjem tekstu opisani u glavnim crtama s posebnim osvrtom na radioaktivne elemente.

2.1. Proračun distribucije nekih elemenata i spojeva u šljaci, letećem pepelu poslije elektrostatskog filtra i pepelu odvojenom u elektrostatskom filteru TE Plomin I, II

Produkti izgaranja, kao i neizgorivi dio goriva u generatoru pare mogu na 3 načina napustiti generator pare. Prvi je da se natalože na dnu generatora pare u obliku šljake. Drugi je da u struji dimnih plinova, kao krute tvari (leteći pepeo), napuste generator pare. I treći način je da kao sastojak dimnih plinova napusti generator pare (npr. CO₂, SO₂ itd.).

Svaki element koji smo odabrali za promatranje (tablica 2) se u generatoru pare s tog gledišta ponaša različito. Tak o se neki elementi u potpunosti istalože na dnu generatora pare kao dio šljake, dok drugi većim dijelom odlaze s dimnim plinovima, odnosno letećim pepelom. Odnosi u postocima težinskog udjela, koliko kojeg elementa se istaloži u šljaci, odnosno koliko kojeg elementa u formi letećeg pepela odstruji s dimnim plinovima, dani su u tablici 4 prema podacima iz [L 18] i [L 19], a i uspoređivali su se s podacima iz [L 1 do 4].

Budući da su ovakvi podaci isključivo eksperimentalne prirode, mogu se ponajprije koristiti za određivanje emisije TE Plomin I. Međutim, budući da će TE Plomin II koristiti isti ugljen i ne bitno različite uvje-

te njegova izgaranja, može se očekivati približno ista distribucija elemenata između pepela i šljake. To će se, svakako, morati provjeriti u toku rada TE Plomin II jer faktori kao temperatura izgaranja, veličina čestica i slično mogu veoma promijeniti distribuciju elemenata između pepela i šljake. Kao dodatak tablici 4 mogu se smatrati sljedeće pretpostavke koje predstavljaju osnovu proračuna emisije TE Plomin I i II:

- U generatoru pare od ukupne količine pepela iz ugljena 20% se istaloži kao šljaka, a 80% pepela odlazi s dimnim plinovima kao leteći pepeo [L 19].
- Efikasnost elektrostatskih filtara jest 98,5%* kod TE Plomin I, a za TE Plomin II pretpostavljena je efikasnost od 99,5%.
- Sadržaj nesagorenog ugljika koji ostaje u šljaci iznosi 0,04% [L 19] od ukupne količine ugljika u ugljenu.
- Emisije dušičnih oksida u dimnim plinovima procijenjena je prema [L 1] za ložište kakvo ima TE Plomin I, a slično će imati i TE Plomin II, na 0,9% ukupne količine korištenog ugljena.
- Emisija CO dimnim plinovima procijenjena je prema [L 1] na 0,05% ukupne količine korištenog ugljena.
- Emisija CH₄ dimnim plinovima procijenjena je prema [L 1] na 0,015% ukupne količine korištenog ugljena.

Pretpostavke koje se odnose na radioaktivne elemente:

* Efikasnost elektrostatskih filtara ovisi o opterećenju i pri niskim opterećenjima može biti manja za 0,2–0,5%. Izabrana vrijednost vrijedi za 100% opterećenje.

Tablica 4. Distribucija pojedinih elemenata iz ugljena u šljaci i letećem pepelu prema mjerenjima prezentiranim u Lit. 18 i 20.

Sastojak	Ugljen	Šljaka	Leteći pepeo
S	8,03% (± 0,325)	6,84% (± 0,6465)	10,79% (± 0,4593)
Ca	3,29% (± 0,4098)	N/P	N/P
Ti	209 ppm (± 33,209)	800 ppm (± 98,5671)	1178 ppm (± 91,85)
V	114 ppm (± 14,838)	387 ppm (± 52,64)	610 ppm (± 55,119)
Cr	41 ppm (± 7,419)	180 ppm (± 28,263)	297 ppm (± 32,8557)
Fe	0,4891% (± 0,0783)	2,04% (± 0,212)	2,73% (± 0,1943)
Ni	22 ppm (± 5,65)	102 ppm (± 22,6104)	112 ppm (± 21,197)
Cu	22 ppm (± 1,06)	88 ppm (± 10,9519)	68 ppm (± 5,2993)
Zu	10 ppm (± 2,11977)	11 ppm (± 2,8263)	40 ppm (± 6,3592)
Ga	1 ppm (± 0,353)	N/P	5 ppm (± 2,1197)
As	1 ppm (± 0,7066)	4 ppm (± 1,4131)	24 ppm (± 5,299)
Se	28 ppm (± 4,2394)	1 ppm (± 0,3533)	61 ppm (± 37,4484)
Pb	8 ppm (± 0,706)	12 ppm (± 1,4131)	32 ppm (± 2,1197)
Rb	3 ppm (± 0,3533)	N/P	6 ppm (± 1,7664)
K	11,46 ppm (–)	0,88 ppm (–)	N/P
U	24,7 ppm (± 2,437)	86 ppm (± 7,7723)	184 ppm (± 8,4789)
Th	2 ppm (± 1,4131)	N/P	N/P
Sr	263 ppm (± 16,2512)	1375 ppm (± 78,0764)	1476 ppm (± 65,7114)
Y	3 ppm (± 0,3533)	11 ppm (± 1,0599)	13 ppm (± 1,0599)

Vrijednosti u zagradama su nepouzdanosti utvrđenih srednjih vrijednosti 34 mjerenja uz 95% statističku sigurnost N/P – nema podataka (nije mjereno)

Napomena: U ovoj su tablici navedeni samo elementi za koje je u okviru (L 18) izvršeno mjerenje, dok za druge nema podataka. Ako se tokom vremena budu izvršila mjerenja i sadržaja drugih elemenata, program »EODP« će se moći lako dopuniti. Podaci su zbog velikih nepouzdanosti mjerenja prilagođeni masenim bilancama za potrebe programa »EODP« na takav način da su mjerenja veličine sadržaja pojedinih elemenata u ugljenu i šljaci uzete kao točne, dok je sadržaj u letećem pepelu proračunat.

- a) Radioaktivni nizovi U^{238} , U^{235} i Th^{232} koji se nalaze u ugljenu, a koristi ih TE Plomin I, u sekularnoj su ravnoteži, tj. brzina formiranja radioaktivnih produkata svakog niza je jednaka brzini kojom se raspadaju. U tim nizovima broj atoma koji se raspadaju u jedinici vremena (aktivnost) jednaka je za sve članove niza. Zbog toga je broj prisutnih atoma obrnuto proporcionalan konstanti raspada. Na temelju navedenog se može, poznavajući masu bilo kojeg izotopa, izračunati masa nekog drugog izotopa u odgovarajućem lancu prema sljedećem izrazu:

$$m(2) = m(1) \frac{t(2) \cdot A(2)}{t(1) \cdot A(1)}$$

gdje je:

- m — masa
 A — atomska težina
 T — vrijeme poluraspada

Ovaj pristup je korišten uz poznavanje količine U^{238} i Th^{232} u ugljenu za određivanje količine nekih značajnih izotopa iz njihovih lanaca kao što su Ra^{226} , Ra^{228} , Pb^{210} , Rn^{222} , Rn^{220} .

- b) Emisija Rn^{222} i Rn^{220} u okolinu (sadržaj u dimnim plinovima na izlazu iz dimnjaka) jednaka je ukupnoj količini radona u ugljenu koja je određena na temelju sekularne ravnoteže (L 18, 20, 23)
- c) Distribucija Pb^{210} u šljaci, pepelu i letećem pepelu koji napušta ESF pretpostavljena je identičnom kao kod običnog olova.
- d) Distribucija Ra^{226} i Ra^{228} u šljaci, pepelu i letećem pepelu izabrana je na temelju pretpostavki [L 12], uz nužna prilagođavanja:

	Šljaka	Leteći pepeo odvojen u ESF	Leteći pepeo koji prođe ESF
Ra^{226}	20%	78,8%*	1,2%*
Ra^{228}	20%	78,8%*	1,2%*

(% od ukupne količine Ra^{226} odnosno Ra^{228} u ugljenu)

2.2. Proračun distribucije nekih elemenata i spojeva u dimnim plinovima na izlazu iz dimnjaka i otpadnim produktima različitih ODP procesa

Proračuni glavnih komponenti ODP mulja, kao i potrebe za određenim spojevima pojedinih procesa na bazi navedenih kemijskih osnova, tablice 6 i [L 8] (tablica 5) za svaki su od razmatranih postupaka ODP dani u sljedećem tekstu.

a) Postupci odsumporavanja dimnih plinova vapnom ili vapnencem

— Količina SO_2 koja se izdvaja iz dimnih plinova procesom odsumporavanja (q_{SO_2})

$$q_{SO_2} = q_{SO_{2u}} \cdot e_p / 100$$

gdje je:

- q_{SO_2} — količina SO_2 koja ulazi u postrojenje za odsumporavanje (t)
 e_p — postotak odvojenog SO_2 koji ovisi od izabranog procesa (vidi tablicu 1)

* Vrijedi za efikasnost ESF od 98,5%.

Tablica 5.

Varijabla	Vapno	Vapnenac	Dvostruki alkalni	Magnezijev oksid	Wellman-Lord	Oznaka u proračunu
Iskoristivost apsorbenta (udio na molarnoj bazi od kol. SO_2)	90%	80%	95%	N/P	N/P	U
Sulfitno: sulfatni omjer	3:1	3:1	3:1	N/P	N/P	X:Y
Dodatni natrijev karbonat (udio na molarnoj bazi od kol. SO_2)	N/P	N/P	3%	N/P	N/P	S_k
Sadržaj vlage u ODP mulju	50%	50%	50%	35%	35%	m
Dodatni apsorbent (udio na molarnoj bazi od kol. SO_2)	N/P	N/P	N/P	3%	3%	S
Gubici separacija (udio na molarnoj bazi od kol. SO_2)	N/P	N/P	N/P	5%	5%	G

N/P — nije primjenljivo

Tablica 6.

Sastojak	Kemijska formula	Molekularna težina
Sumporni dioksid	SO ₂	64
Vapno	CaO	56
Vapnenac	CaCO ₃	100
Kalcijev sulfit	CaSO ₃ · $\frac{1}{2}$ H ₂ O	129
Kalcijev sulfat (gips)	CaSO ₄ · 2 H ₂ O	172
Natrijev karbonat	Na ₂ CO ₃	106
Magnezijev oksid	MgO	40
Magnezijev sulfit	MgSO ₃	104
Natrijev sulfit	Na ₂ SO ₃	126
Natrijev bisulfit	NaHSO ₃	104
Natrijev bikarbonat	NaHCO ₃	84
Natrijev sulfat	Na ₂ SO ₄	142
Natrijev karbonat	Na ₂ CO ₃	106

a1) Postupak sa vapnom

— Količina vapna koju zahtijeva proces (q_{CaO})

$$q_{CaO} = q_{SO_2} (1 - u/100) + q_{SO_2} \cdot \frac{M_{CaO}}{M_{SO_2}} = 0,975 q_{SO_2} (t)$$

gdje je:

U — iskoristivost apsorventa (tablica 5) udio na molarnoj bazi

M — molekularna težina (tablica 6).

ODP mulj koji se dobije korištenjem postupka odsumporavanja vapnom sastoji se od vapna u formi vapnenca (vapnenac koji nije reagirao sa SO₂), kalcijevog sulfita i kalcijevog sulfata.

— Količina nereagiraniog vapnenca (q_{NCaCO_3}) (t)

$$q_{NCaCO_3} = q_{CaO} (1 - U/100) \cdot \frac{M_{CaCO_3}}{M_{CaO}} = 0,174 q_{SO_2}$$

— Kalcijev sulfit ($q_{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O}$) (t)

$$q_{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O} = q_{CaO} - q_{CaO} \left(1 - \frac{U}{100}\right) \cdot \frac{X}{X+Y} \cdot \frac{M_{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O}}{M_{CaO}} = 1,516 q_{SO_2}$$

X — sadržaj CaSO₃ · $\frac{1}{2}$ H₂O u smjesi sa CaSO₄ · 2 H₂O u četvrtim dijelovima smjese (prema tablici 5 iznosi 3)

Y — sadržaj CaSO₂ · 2 H₂O u smjesi sa CaSO₃ · $\frac{1}{2}$ H₂O u četvrtim dijelovima smjese (prema tablici iznosi 1)

— Kalcijev sulfat ($q_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O}$) (t)

$$q_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O} = q_{CaO} \cdot (q_{CaO} \cdot (1 - U/100)) \cdot \frac{Y}{X+Y} \cdot \frac{M_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O}}{M_{CaO}} = 0,674 q_{SO_2}$$

— Ukupna količina ODP mulja (q_{ODP}) (t)

$$q_{ODP (suh)} = q_{NCaCO_3} \cdot \frac{1}{2} H_2O + q_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O} = 2,364 q_{SO_2}$$

$$q_{ODP} = q_{ODP (suh)} \cdot \frac{100}{100 - m} = 4,728 q_{SO_2}$$

gdje je:

m — udio vlage u ODP mulju (maseni)

a2) Postupak s vapnencem

— Količina potrebnog vapnenca (q_{CaCO_3}) (t)

$$q_{CaCO_3} = q_{SO_2} (1 - U/100) + q_{SO_2} \frac{M_{CaCO_3}}{M_{SO_2}} = 1,7625 q_{SO_2}$$

ODP mulj koji se dobije korištenjem postupka odsumporavanja vapnencem sastoji se od vapnenca koji nije reagirao sa SO₂, kalcijevog sulfita i kalcijevog sulfata, što je identično kao i kod ODP s vapnom.

— Nereagirani vapnenac (q_{NCaCO_3}) (t)

$$q_{NCaCO_3} = q_{CaCO_3} (1 - U/100) = 0,3525 q_{SO_2}$$

— Kalcijev sulfit ($q_{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O}$) (t)

$$q_{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O} = (q_{CaCO_3} - q_{NCaCO_3}) \cdot \frac{X}{X+Y} \cdot \frac{M_{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O}}{M_{CaCO_3}} = 1,365 q_{SO_2}$$

— Kalcijev sulfat ($q_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O}$) (t)

$$q_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O} = (q_{CaCO_3} - q_{NCaCO_3}) \cdot \frac{Y}{Y+X} \cdot \frac{M_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O}}{M_{CaCO_3}} = 1,631 q_{SO_2}$$

— Ukupna količina ODP mulja (q_{ODP}) (t)

$$q_{ODP (suh)} = q_{NCaCO_3} + q_{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O} = q_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O} = 2,3485 q_{SO_2}$$

$$q_{ODP} = q_{ODP (suh)} \cdot \frac{100}{100 - m} = 4,697 q_{SO_2}$$

b) Dvostruki alkalni postupak

Jednadžbe su identične onima u odsumporavanja vapnom, ali ovdje postoji dodatna količina u ODP mulju zbog korištenja natrijevog karbonata.

Iskoristivost apsorventa je različita, pa su finalni koeficijenti sljedeći:

$$q_{CaO} = 0,925 q_{SO_2} (t)$$

$$q_{NCaCO_3} = 0,0829 q_{SO_2} (t)$$

$$q_{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2} H_2O} = 1,518 q_{SO_2} (t)$$

$$q_{CaSO_4 \cdot 2 H_2O} = 0,675 q_{SO_2} (t)$$

Potrebna dodatna količina karbonata ($q_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$) (t)

$$q_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = q_{\text{SO}_2} \cdot S_K \cdot \frac{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{SO}_2}} = 0,05 q_{\text{SO}_2}$$

gdje je:

S_K — dodatni natrijev karbonat (udio na molarnoj bazi (tablica 5))

— Ukupna količina ODP mulja (q_{ODP}) (t)

$$q_{\text{ODP (suh)}} = q_{\text{Na}_2\text{CO}_3} + q_{\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}} + q_{\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}} + q_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$$

$$q_{\text{ODP (suh)}} = 2,3239 q_{\text{SO}_2}$$

$$q_{\text{ODP}} = q_{\text{ODP (suh)}} \frac{100}{100 - m} = 4,6518 q_{\text{SO}_2}$$

c) **Postupak s magnezijevim oksidom**

— Potrebna količina dodatnog magnezijevog oksida zbog gubitka u procesu (q_{DMgO}) (t)

$$q_{\text{DMgO}} = q_{\text{SO}_2} \cdot S \frac{M_{\text{MgO}}}{M_{\text{SO}_2}}$$

$$q_{\text{DMgO}} = 0,01875 q_{\text{SO}_2}$$

gdje je:

S — udio dodatnog apsorbenta (MgO) na molarnoj bazi od količine SO_2 (odvojene u procesu ODP)

— Gubici separacije magnezijevog sulfita (dio koji odlazi u ODP mulj) (q_{SMgSO_3}) (t)

$$q_{\text{SMgSO}_3} = q_{\text{SO}_2} G \frac{M_{\text{MgSO}_3}}{M_{\text{SO}_2}} = 0,08125 q_{\text{SO}_2}$$

gdje je:

G — separacioni gubitak MgSO_3 (udio na molarnoj bazi od količine SO_2 (tablica 5))

— Ukupna količina ODP mulja (q_{ODP}) (t)

$$q_{\text{ODP (suh)}} = q_{\text{DMgO}} + q_{\text{SMgSO}_3} = 0,1 q_{\text{SO}_2}$$

$$q_{\text{ODP}} = q_{\text{ODP (suh)}} \frac{100}{100 - m} = 0,1539 q_{\text{SO}_2}$$

d) **Wellman Lord postupak**

Jednadžbe kod ovog postupka su iste kao i kod postupka s magnezijevim oksidom, samo što se natrijev sulfid (Na_2SO_3) koristi kao apsorber, a natrijev bisulfid (NaHSO_3) se proizvodi.

— Potrebna količina natrijevog sulfita zbog gubitka u procesu ($q_{\text{DN}_2\text{SO}_3}$) (t)

$$q_{\text{DN}_2\text{SO}_3} = q_{\text{SO}_2} \cdot S \cdot \frac{M_{\text{Na}_2\text{SO}_3}}{M_{\text{SO}_2}} = 0,059 q_{\text{SO}_2}$$

— Gubici separacije natrijevog bisulfida (q_{SNaHSO_3}) (t)

$$q_{\text{SNaHSO}_3} = q_{\text{SO}_2} \cdot G \cdot \frac{M_{\text{NaHSO}_3}}{M_{\text{SO}_2}} = 0,08125 q_{\text{SO}_2}$$

— Ukupna količina ODP mulja (q_{ODP}) (t)

$$q_{\text{ODP (suh)}} = q_{\text{DN}_2\text{SO}_3} + q_{\text{SNaHSO}_3} = 0,14025 q_{\text{SO}_2}$$

$$q_{\text{ODP}} = q_{\text{ODP (suh)}} \frac{100}{100 - m} = 0,2158 q_{\text{SO}_2}$$

e) **Polusuhi postupak s natrijevim bikarbonatom**

Na temelju kemijskih osnova proizlazi:

— Potrebna količina natrijevog bikarbonata (q_{NaHCO_3}) (t)

$$q_{\text{NaHCO}_3} = q_{\text{SO}_2} \cdot R \cdot \frac{1}{U} \frac{M_{\text{NaHCO}_3}}{M_{\text{SO}_2}} = 3,75 q_{\text{SO}_2}$$

R — stehiometrijski omjer molova NaHCO_3 i molova SO_2 koji iznosi 2 jer su potrebne dvije molekule NaHCO_3 da reagiraju sa jednom molekulom SO_2

U — iskoristivost apsorbenta na molarnoj bazi [L 13] pretpostavljena je 70%

— Otpadna materija procesa

Količina natrijevog bikarbonata koja se troši u procesu u stvari je nešto manja nego što je prikazano u prethodnoj jednadžbi zbog toga što se u sprej-sušaču odvijaju i druge kemijske reakcije koje pospješuju efikasnost apsorbera te mu smanjuju potrebnu količinu za otprilike 18% [L 13]. Iz navedenog slijedi:

$$q_{\text{ODP}} = 3,075 q_{\text{SO}_2}$$

Otpadni materijal se sastoji prema [L 13] (izvršena mjerenja) od oko

$$1,5\% \text{ NaHCO}_3 = 0,046 q_{\text{SO}_2}$$

$$25,4\% \text{ Na}_2\text{CO}_3 = 0,781 q_{\text{SO}_2}$$

$$52,2\% \text{ Na}_2\text{SO}_3 = 1,605 q_{\text{SO}_2}$$

$$20,9\% \text{ Na}_2\text{SO}_4 = 0,643 q_{\text{SO}_2}$$

f) Do sada su u prethodnim točkama dane osnove proračuna količina osnovnih spojeva koji čine otpadni dio ODP procesa. Međutim, osim ovih spojeva, otpadni dio sadrži i niz elemenata koji iz ugljena preko letećeg pepela, ali i zbog nečistoće apsorbenta (u tablici 7 su prema [L 8–10] dani udjeli pojedinih elemenata koji su sadržani u industrijskom vapnu, odnosno vapnencu) dolaze u njega te se zajedno s njime talože na određenim mjestima ili dalje prerađuju ovisno o primjenjivanoj tehnologiji.

Dakle,

$$q_{\text{OT}} = q_{\text{ODP}} + q_{\text{PI}} \frac{100}{100 - m}$$

gdje je:

q_{OT} — ukupna količina otpadne materije procesa ODP

q_{ODP} — ukupna količina osnovnih otpadnih spojeva uz pretpostavku da u dimnim plinovima nema letećeg pepela

q_{PI} — količina letećeg pepela koja se izdvoji iz dimnih plinova nakon njihova prolaska kroz postrojenje za ODP

m — sadržaj vlage ODP mulja (pretpostavljeno je za neregnerativne sisteme $m = 50\%$, za regenerativne sisteme $m = 35\%$ i za suhi postupak $m = 0$).

Količina q_{PI} se izračunava prema [L 9] na sljedeći način:

$$q_{\text{PI}} = q_{\text{PODP}} \cdot 0,65$$

Tablica 7. Udjeli određenih elemenata u industrijskom vapnu odnosno vapnencu

Element	Vapno	Vapnenac
Arsen	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,71 \cdot 10^{-6}$
Berilij	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$1,87 \cdot 10^{-7}$
Kadmij	$3,372 \cdot 10^{-8}$	$1,55 \cdot 10^{-7}$
Krom	$3,12 \cdot 10^{-6}$	$8,14 \cdot 10^{-6}$
Bakar	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,69 \cdot 10^{-6}$
Željezo	$6,27 \cdot 10^{-8}$	$6,27 \cdot 10^{-9}$
Olovo	$2,07 \cdot 10^{-7}$	$1,29 \cdot 10^{-6}$
Magnezij	$7,68 \cdot 10^{-3}$	$7,68 \cdot 10^{-3}$
Mangan	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$
Selen	$1,74 \cdot 10^{-5}$	$8,27 \cdot 10^{-7}$
Cink	$1,96 \cdot 10^{-4}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$

gdje je:

q_{PODP} — količina pepela koja uđe u postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova.

Ovaj način proračuna vrijedi za slučajeve kada se ispred postrojenja za ODP nalazi elektrostatski filtar,

dok se za slučajeve kada postrojenje za ODP ima i ulogu filtra mora zadati njegova efikasnost u tom pogledu. Za ovu je efikasnost na postrojenjima tog tipa utvrđeno da je na istom nivou kao i kod postrojenja s prethodnim filtrom.

Navedena relacija koristi se i pri proračunu količine pojedinog elementa u otpadnoj materiji, osim kod žive, čija prolaznost kroz ODP sisteme, prema [L 2] iznosi 87%.

3. REZULTATI MATEMATIČKOG MODELA »EODP« ZA SLUČAJ TE PLOMIN I I TE PLOMIN II

U ovoj točki prikazana su dva primjera rezultata programa »EODP«, i to za Plomin I (ODP vapnom) u tablici 8. i za Plomin II (ODP magnezij-oksidi postupkom) u tablici 9.

Razlog je ovom djelomičnom prezentiranju rezultata u nedostatku prostora u okviru ovog časopisa, ali ako bude potrebno, oni se mogu naknadno predočiti.

Tablica 8.

ELECTROSTATIC PRECIPITATOR + FGD WITH LIMENSTONE

COMPONENT	SIGN	UNIT	COAL CONSUMPTION 250000.000 T/Y				
			INPUT COAL	BOTTOM ASH	FLY ASH	FGD SLUDGE	STACK GAS
ASH	—	T/Y	0.375E+05	0.750E+04	0.296E+05	0.293E+03	0.158E+03
SULFUR	S	T/Y	0.238E+05	0.135E+04	0.532E+04	0.527E+02	0.283E+02
ANTIMONY	SB	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
ARSENIC	AS	T/Y	0.250E+00	0.300E+01	0.217E+00	0.944E-01	0.116E-02
BERYLLIUM	BE	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.101E-01	0.000E+00
CADMIUM	CD	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.836E-02	0.000E+00
CHROMIUM	CR	T/Y	0.103E+02	0.135E+01	0.877E+01	0.526E+00	0.468E-01
COPPER	CU	T/Y	0.550E+01	0.660E+00	0.477E+01	0.138E+00	0.254E-01
IRON	FE	T/Y	0.122E+04	0.153E+03	0.105E+04	0.104E+02	0.562E+01
LEAD	PB	T/Y	0.200E+01	0.900E+01	0.188E+01	0.883E-01	0.101E-01
MAGNESIUM	MG	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.414E+03	0.000E+00
MANGANESE	MN	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.836E+01	0.000E+00
MERCURY	HG	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
NICKEL	NI	T/Y	0.550E+01	0.765E+00	0.466E+01	0.462E-01	0.249E-01
SELENIUM	SE	T/Y	0.700E+01	0.826E-01	0.560E+01	0.903E+00	0.462E+00
SILVER	AG	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
THALLIUM	TL	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
ZINC	ZN	T/Y	0.250E+01	0.825E-01	0.238E+01	0.585E+01	0.127E-01
CALCIUM	CA	T/Y	0.823E+04	0.000E+00	0.810E+04	0.802E+02	0.432E+02
TITANIUM	TI	T/Y	0.523E+02	0.600E+01	0.456E+02	0.452E+00	0.243E+00
GALLIUM	GA	T/Y	0.250E+00	0.000E+00	0.246E+00	0.250E-02	0.135E-02
RUBIDIUM	RB	T/Y	0.750E+00	0.000E+00	0.739E+00	0.731E-02	0.394E-02
STRONTIUM	ST	T/Y	0.658E+02	0.103E+02	0.546E+02	0.541E+00	0.291E+00
YTTRIUM	Y	T/Y	0.750E+00	0.825E+01	0.657E+00	0.651E-02	0.350E-02
POTASSIUM	K	T/Y	0.287E+01	0.660E-02	0.282E+01	0.279E-01	0.150E-01
VANADIUM	V	T/Y	0.285E+02	0.290E+01	0.252E+02	0.254E+00	0.137E+00
HYDROCARBONS	—	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
TOTAL FGD SLUDGE	—	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.144E+06	0.000E+00
UNREACTED LIMESTONE	CaCO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.108E+05	0.000E+00
CALCIUM SULFITE	CaSO ₃ * 2 H ₂ O	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.418E+05	0.000E+00
CALCIUM SULFATE	CaSO ₄ * H ₂ O	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.193E+05	0.000E+00
SODA ASH	Na ₂ CO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
MAGNESIUM SULFITE	MgSO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
MAGNESIUM OXIDE	MgO	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM BISULFITE	NaHCO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM SULFITE	Na ₂ SO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
WATER	H ₂ O	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.722E+05	0.000E+00
CARBON	C	T/Y	0.156E+06	0.624E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
NET CALORIFIC VALUE	—	KT/KG	0.212E+05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM BICARBONATE	NaCO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM CARBONATE	Na ₂ CO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM SULFATE	Na ₂ SO ₄	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SULFUR DIOXIDE	SO ₂	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.306E+05	0.340E+04
NITROUS OXIDES	NOX	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.225E+04
CARBON MONOXIDE	CO	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.125E+03
METHAN	CH ₄	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.375E+02
CARBON DIOXIDE	CO ₂	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.572E+06
URANIUM-238	U-TH-232	T/Y	0.617E+01	0.645E+00	0.545E+01	539E-01	0.290E-01
THORIUM-232	RA-226	T/Y	0.500E+00	0.000E+00	0.492E+00	0.500E-02	0.269E-02
RADIUM-226	RA-228	T/Y	0.209E-05	0.417E-06	0.296E-07	0.518E-08	0.279E-08
RADIUM-228	PB-210	T/Y	0.201E-09	0.401E-10	0.284E-11	0.497E-12	0.268E-12
LEAD-210	RN-222	T/Y	0.270E-07	0.152E-08	0.210E-07	0.291E-07	0.157E-08
RADON-222	RN-220	T/Y	0.134E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.134E-10
RADON-220		T/Y	0.593E-16	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.593E-16

Tablica 9.

ELECTROSTATIC PRECIPITATOR + MAGNESIUM-OXIDE FGD

COMPONENT	SIGN	UNIT	COAL CONSUMPTION 450000.000 T/Y				
			INPUT COAL	BOTTOM ASH	FLY ASH	FGD SLUDGE	STACK GAS
ASH	—	T/Y	0.675E+05	0.135E+05	0.537E+05	0.176E+03	0.945E+02
SULFUR	S	T/Y	0.428E+05	0.243E+04	0.967E+04	0.253E+01	0.170E+02
ANTIMONY	SB	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
ARSENIC	AS	T/Y	0.450E+00	0.540E-01	0.394E+00	0.104E-03	0.699E-03
BERYLLIUM	BE	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E-00	0.000E+00
CADMIUM	CD	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E-00	0.000E+00
CHROMIUM	CR	T/Y	0.184E+02	0.243E+01	0.159E+02	0.418E-02	0.282E-01
COPPER	CU	T/Y	0.990E+01	0.119E+01	0.867E+01	0.227E-02	0.153E-01
IRON	FE	T/Y	0.220E+04	0.275E+03	0.192E+04	0.502E+00	0.338E+01
LEAD	PB	T/Y	0.360E+01	0.162E+00	0.342E+001	0.913E-03	0.614E-02
MAGNESIUM	MG	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
MANGANESE	MN	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
MERCURY	HG	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
NICKEL	NI	T/Y	0.990E+01	0.138E+01	0.848E+01	0.223E-02	0.150E-01
SELENIUM	SE	T/Y	0.126E+02	0.149E-00	0.114E+02	0.547E-01	0.368E+00
SILVER	AG	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
THALLIUM	TL	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
ZINC	ZN	T/Y	0.450E+01	0.149E-00	0.433E+01	0.114E-02	0.768E-02
CALCIUM	CA	T/Y	0.148E+05	0.000E+00	0.147E+05	0.385E+01	0.259E+02
TITANIUM	TI	T/Y	0.941E+02	0.108E+02	0.828E+02	0.216E-01	0.146E+00
GALLIUM	GA	T/Y	0.450E+00	0.000E+00	0.448E+00	0.126E-03	0.850E-03
RUBIDIUM	RB	T/Y	0.135E+01	0.000E+00	0.134E+01	0.351E-03	0.236E-02
STRONTIUM	ST	T/Y	0.118E+03	0.186E+02	0.993E+02	0.259E-01	0.175E+00
YTTRIUM	Y	T/Y	0.135E+01	0.149E+00	0.120E+01	0.312E-03	0.210E-02
POTASSIUM	K	T/Y	0.516E+01	0.119E-01	0.512E+01	0.134E-02	0.900E-02
VANADIUM	V	T/Y	0.513E+02	0.522E+01	0.458E+02	0.127E-01	0.853E-01
HYDROCARBONS	—	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
TOTAL FGD SLUDGE	—	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.871E+04	0.000E+00
UNREACTED LIMESTONE	CaCO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
CALCIUM SULFITE	CaSO ₃ * 2 H ₂ O	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
CALCIUM SULFATE	CaSO ₄ * H ₂ O	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODA ASH	Na ₂ CO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
MAGNESIUM SULFITE	MgSO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.448E+04	0.000E+00
MAGNESIUM OXIDE	MgO	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.103E+04	0.000E+00
SODIUM BISULFITE	NaHCO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM SULFITE	Na ₂ SO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
WATER	H ₂ O	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.303E+04	0.000E+00
CARBON	C	T/Y	0.281E+06	0.112E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
NET CALORIFIC VALUE	—	KT/KG	0.212E+05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM BICARBONATE	NaCO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM CARBONATE	Na ₂ CO ₃	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SODIUM SULFATE	Na ₂ SO ₄	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SULFUR DIOXIDE	SO ₂	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.551E+05	0.612E+04
NITROUS OXIDES	NOX	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.405E+04
CARBON MONOXIDE	CO	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.225E+03
METHAN	CH ₄	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.675E+02
CARBON DIOXIDE	CO ₂	T/Y	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.103E+07
URANIUM-238	U-TH-232	T/Y	0.111E+02	0.116E+01	0.995E+01	259E-02	0.174E-01
THORIUM-232	RA-226	T/Y	0.900E+00	0.000E+00	0.895E+00	0.253E-03	0.170E-02
RADIUM-226	RA-228	T/Y	0.367E-05	0.751E-06	0.179E-07	0.239E-09	0.161E-08
RADIUM-228	PB-210	T/Y	0.361E-09	0.722E-10	0.172E-11	0.230E-13	0.155E-12
LEAD-210	RN-222	T/Y	0.486E-07	0.274E-08	0.423E-07	0.185E-09	0.125E-08
RADON-222	RN-220	T/Y	0.241E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.241E-10
RADON-220		T/Y	0.107E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.107E-16

(Napomena: Svi parametri u tablici 8. i 9. dani su na engleskom jeziku zbog toga što je program »EODP« raden osim za potrebe termoelektrane Plomin II i kao dio projekta IAEA.)

4. ZAKLJUČAK

U članku su prikazane osnove matematičkog modela za utvrđivanje emisije ekološki značajnih elemenata i spojeva pri primjeni različitih postupaka odsumporavanja dimnih plinova. Model je izrađen na bazi svjetskih iskustava primjene različitih tehnologija odsumporavanja (prvenstveno iz SAD) i niza mjerenja što su ih u TE Plomin i obavljali naši renomirani instituti.

Rezultati pokazuju utjecaj svake pojedine tehnologije na emisiju velikog broja ekoloških značajnih elemenata i spojeva iz TE Plomin I i II, te ih je potrebno uzeti u obzir u procesu izbora najpogodnije tehnologije.

LITERATURA

- [1] U. S. Environmental Protection Agency: »Compilation of Air Pollutant Emission Factors« (Third Ed.) Supplement 8, Office of Air and Waste Management, Pub. No. AP-42, Aug. 1977.
- [2] Radian Corporation: »Coal Fired Power Plant Trace Element Study« (Volume 1) PB-257 293, U. S. Environmental Protection Agency, Denver, CO, Region VIII, Sept. 1977.
- [3] D. H. KLEIN, A. W. ANDREN, J. A. CARTER, J. F. EMERY, C. FELDMAN, W. FULKERSEN, W. S. LYON, J. C. OGLE, Y. TALMI, R. I. VAN HOOK, and N. BOLTON: »Pathways of thirty-seven trace elements through coal fired power plant«, Environ. Sci. Technol. 9, 973, 1975.
- [4] N. E. BOLTON, R. I. VAN HOOK, W. FULKERSEN, W. S. LYON, A. W. ANDREN, J. A. CARTER, and J. F. EMERY: »Trace Element Measurements at the Coal Fired Allen Steam Plant« Progress Rep. June 1971 — January 1973, ORNL-NSF-EP-43, Oak Ridge National Laboratory, Mar. 1973.

- [5] W. S. LYNN: »Trace Element Measurements at the Allentown Coal-Fired Steam Plant«, CRC Press, Cleveland, OH, 1977.
- [6] C. COWHERD, Jr.: »Hazardous Emission Characterization of Utility Boilers«, EPA-650/2-75-066, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC, July 1975.
- [7] J. W. KAAKINEN, R. M. JORDEN, M. H. Lawasani, and R. E. WEST: »Trace element behavior in coal-fired power plant«, Environ. Sci. Tech. 9, 862, 1975.
- [8] J. ROSSOFF and P. P. LEO: »Controll SO₂ Emissions from Coal-Fired Steam-Electric Generators: Solid Waste Impact«, EPA-600/7-78-044a and 044b, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, Mar. 1978.
- [9] U. S. Environmental Protection Agency: »Electric Utility Steam Generating Units: Background Information for Proposed Particulate Matter Emission Standards, EPA-450/2-78-005a, Office of Air, Noise and Radiation, Research Triangle Park, NC, July 1978.
- [10] Radian Corporation: »Evaluation of Lime/Limestone Sludge Disposal Options«, PB-232-022, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, Nov. 1973.
- [11] R. I. DAVISON, D. F. S. NATUSCH, and J. R. WALLACE: »Trace elements in fly ash-dependence on particle size«, Environ, Sci. Tech. 8, 1107, 1974.
- [12] D. G. COLES, R. C. RAGAINI, and J. M. ONDOW: »The behavior of the natural radionuclides in Western coal-fired power plants«, Environ. Sci. technolo., 12, 442, 1978.
- [13] TRW Inc.: »Evaluation of Dry Sorbents and Fabric Filtration for FGD«, prepared for U. S. Environmental Protection Agency, EPA-600/7-79-005, Jan. 1979.
- [14] P. D. MOSKOWITZ, S. C. MORRIS, and A. S. ALBANESE: »The global carbon dioxide problem: Impacts of U. S. Syntehetic Fuel-and coal-fired electricity generating plants«, J. Air Poll. Cont. Assoc., 30, 353, 1980.
- [15] DON R. GOODWIN, WATER C. BARBER: »Background Information for Proposed SO₂ Emission Standards«, EPA-450/2-78-007a, U. S. Environmental Protection Agency, July 1978.
- [16] LADISLAV KREUH: »Generatori pare«, Školska knjiga, 1979. Zagreb.
- [17] J. MAKANSKI: »SO₂ control: Optimizing today's processes for utility and industrial power plants« Power, October 1982.
- [18] Institut Ruđer Bošković, OOUR Fizika, energetika i primjena: »Proračun emisija radioaktivnih elemenata i teških metala na osnovi mjerenja koncentracija u pepelu, zraku i vodi« Zagreb, 1984.
- [19] S. IVANČIĆ, H. BRKIĆ: »Tehnički izvještaj primopredajnog ispitivanja kotla Sulzer 310 / 385 t/h u TE Plomin«, Institut za elektroprivredu Zagreb, 1973.
- [20] G. PAIĆ, V. VLAHOVIĆ: »Ocjena radiološkog impakta korištenja raškog ugljena u Termoelektrani Plomin«, Institut Ruđer Bošković, Zagreb 1983.
- [21] R. O. Elektroprivreda – Rijeka, R. Z. za izgradnju TE Plomin 2: »Projektni zadatak za izradu tehničke i ostale dokumentacije za izgradnju TE Plomin 2 (1 × 210 MW), Plomin, 1982.
- [22] M. SITTING: »Toxic Metals, Pollution Control and Water Protection«, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, USA, 1976.
- [23] Mc BRIDE: »ORNL 5313«
- [24] A. BAUMAN: »Radioaktivnost uslijed rada Termoelektrane Plomin 1. IX 1983 – 31. I 1984.«, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, travanj 1984.

CALCULATION OF EMISSION OF ECOLOGICALLY IMPORTANT ELEMENTS AND CHEMICAL COMBINATIONS FROM TPP PLOMIN I AND II FOR DIFFERENT DESULFURATIONS

In the article is described a mathematical model for calculation of emission of ecologically important elements and chemical combinations for different desulfurations. The model is based on the world experience in various technology solutions (mainly from USA) and measurements made in TPP Plomin I by our instituts. Results present impact of various technologies on environment from TPP Plomin I, II and it should be considered in technology choice.

BERECHNUNG DER EMISSIONEN ÖKOLOGISCH BEDEUTENDER ELEMENTE UND VERBINDUNGEN AUS DEM TKW PLOMIN I UND II FÜR VERSCHIEDENE ENTSCHWEFELUNGSVERFAHREN DER RAUCHGASE

Im Artikel werden die Grundlagen des mathematischen Modells für die Ermittlung der Emission ökologisch bedeutender Elemente und Verbindungen bei der Anwendung verschiedener Entschwefelungsverfahren der Rauchgase behandelt. Das Modell wurde aufgrund der Erfahrungen aus der ganzen Welt (vor allem den USA) was die Anwendung verschiedener Entschwefelungsverfahren betrifft ausgeführt, sowie einer Reihe von Messungen die im TKW Plomin I von unseren bekannten Instituten durchgeführt wurden.

Die Resultate zeigen den Einfluß jeder einzelnen Technologie auf die Emission einer großen Anzahl ökologisch bedeutender Elemente und Verbindungen aus dem TKW Plomin I und II und es ist notwendig sie bei der Auswahl der günstigsten Technologien zu berücksichtigen.

РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТЭС ПЛОМИН 1 И 2 ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОБЕССЕРИВАНИЯ ДЫМНЫХ ГАЗОВ

В статье представлены основы математической модели для установления выбросов экологически важных элементов и соединений при применении различных способов обессеривания дымовых газов. Модель выполнена на базе мирового опыта применения различных технологий обессеривания (преимущественно из США) и ряда измерений, проводившихся на ТЭС Пломин 1 нашими хорошо известными институтами.

Результаты показывают каждой отдельной технологии на выброс большого количества экологически важных элементов и соединений из ТЭС Пломин 1 и 2, а потому их следует учитывать в процессе выбора наиболее благоприятной технологии.

Naslov pisca:

**Mr. Berislav Nadinić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis
1986 – 05 – 19

TRANSFORMATORSKE STANICE 35/10 kV U SREDNJOJ DALMACIJI

Antun Fagarazzi, Split

UDK 621.316.1:621.314

PREGLEDNI RAD

Pregledom dosadašnje prakse pri projektiranju i izgradnji gradskih i područnih TS 35/10 kV u Srednjoj Dalmaciji uočene su karakteristične koncepcije i izvedbe. Nakon usporedbe nekih klasičnih rješenja i posebnog osvrta na izbor sabirnica 10 kV predložena je jednopolna shema tipske područne transformatorske stanice s limom oklopljenim postrojenjima u izvlačivoj izvedbi.

Ključne riječi: transformatorska stanica, tipizacija postrojenja

1. UVOD

Početak elektrifikacije grada Splita označen je 1926. godine izgradnjom TS 50/10 kV Dujmovača, koja se napajala dalekovodom 50 kV iz HE Kraljevac preko Dugog Rata [11]. Ova transformatorska stanica još uvijek je u pogonu, ali se u proteklih 60 godina više puta proširila i rekonstruirala. Najznačajniji je prijelaz na transformaciju 30/10 kV godine 1954, što je vezano za uvođenje napona 110 kV. Razvoj mreže 110 kV u Srednjoj Dalmaciji, koja obuhvaća područje od Trogira do Metkovića, omogućio je izgradnju brojnih TS 30/10 kV odnosno TS 35/10 kV, tako da ih danas ukupno ima oko 40.

Za ovaj dio Elektrodalmacije, koji gravitira Splitu, karakteristično je uvijek oslanjanje na vlastite snage uvijek pa i pri izgradnji većih objekata. Uz osnovnu elektrodistributivnu paralelno su se razvijale i odgovarajuće prateće djelatnosti projektiranja i izgradnje. Višegodišnja praksa govori o značajnim prednostima takve organizacije. Međutim, dobra pogonska iskustva i neovisnost od vanjskih izvođača imale su za posljedicu sporije prihvaćanje nekih novosti nego što je to slučaj kod elektrodistributivnih organizacija koje su više orijentirane na industriju. Tako su, na primjer, tek 1985. montirana prva limom oklopljena postrojenja 35 i 10 kV. Do tada su izvođena isključivo klasična otvorena postrojenja, koja karakterizira preglednost, pristupačnost, trajnost te mogućnost kasnijih rekonstrukcija zbog porasta opterećenja i ugradnje nove opreme.

Ovo je trenutak da se sakupe dosadašnja iskustva o TS 35/10 kV te — uvažavajući tendencije razvoja srednjonaponskih postrojenja i mreža — pokuša odgovoriti na neka aktualna pitanja. Jer, na području Srednje Dalmacije očekuje se daljnja primjena napona 35 kV, o čemu svjedoče postojeće i nove TS 110/35 kV u svim općinskim centrima. U Splitu se ne predviđa izgradnja novih TS 35/10 kV, nego će se postepeno prelaziti na transformaciju 110/10 kV. Budući da se posljednjih desetak godina u Jugoslaviji uglavnom

poklanja pažnja uvođenju napona 110 kV u velike gradove [10], problematika mreže 35 kV ostala je donekle zanemarena. Jedan od rezultata iz programa tipizacije Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske je dovršenje tipske TS 110/10 kV [13]. Sada je na dnevnom redu i tipska TS 35/10 kV, pri čemu se smatra da je predhodnom tipizacijom već usvojeno dosta elemenata srednjonaponskog postrojenja.

2. SPLITSKE TS 35/10 kV

Postrojenje 10 kV u Dujmovači, najstarijoj transformatorskoj stanici, izvedeno je s dvostrukim sabirnicama. Dva sistema sabirnica primijenjena su i kod pet kasnije izgrađenih TS 35/10 kV na području općine Split: Gripe (1961), Dobri (1967), Klis (1977), Miljevac (1979) i Kaštela (1981). Za industrijske transformatorske stanice vrijede, po svemu sudeći, drugi kriteriji: svih šest izgrađenih postrojenja 10 kV (1954–1971) imaju jednostruke sabirnice.

Osnovno rješenje mreže 35 kV grada Splita izrađeno 1968. godine sadrži posebno poglavlje o TS 35/10 kV [4]. Optimalni oblik mreže 35 kV nije zamkast zbog velikih struja kratkog spoja i komplicirane zaštite. Odabran je otočni oblik mreže 35 s direktnim spojem kabela i transformatora, odnosno varijanta otočnog oblika sa zajedničkom rezervnom mrežom 35 kV i dvostrukim sabirnicama. Budući da ova studija nije obuhvatila mrežu 10 kV, postrojenja 10 kV nisu posebno istraživana, već su u svim varijantnim rješenjima predviđene dvostruke sabirnice. U stanicama se instaliraju po dva ili tri energetska transformatora.

Za eventualnu ocjenu ove koncepcije splitskih TS 35/10 kV treba znati da su do šezdesetih godina u evropskim gradovima građene transformatorske stanice koje su na strani gornjeg napona obično imale transformator i kabel spojen u jednu sklopnu jedinicu. Na strani donjeg napona bila su uobičajena otvorena postrojenja, najčešće s dvostrukim sabirnicama.

ma, što je utjecalo i na odabranu koncepciju mreže 10 kV [3].

Za istočni, tada još neizgrađeni dio Splita studija je bila predvidjela primjenu samo jednog srednjeg napona, što se pokazalo kao dalekovidno rješenje. Četrnaest godina kasnije (1982) puštena je u pogon prva TS 110/10 kV u Dalmaciji (Split 3), instalirane snage 40 MVA (u konačnoj izgradnji 3 x 40 MVA). Izradi projektne dokumentacije prethodilo je idejno projektno rješenje [7]. Postrojenja 110 kV izvedeno je bez sabirnica, jer su energetske transformatori spojeni u bloku s vodovima. Za postrojenje 10 kV karakteristične su prstenaste sabirnice podijeljene u polusekcije, što je u načelu isto kao i kod postrojenja 10 i 20 kV u današnjoj tipskoj TS 110/X kV, ali je bitna razlika zbog klasične izvedbe u TS Split 3. Ovdje se svjesno odustalo od dvostrukih sabirnica, jer se smatralo da nema potrebe ni za galvanskim odvajanjem mreže radi smanjenja struje dozemnog spoja, ni tranzitom energije kroz stanicu.

Međutim, postrojenje 10 kv Split 3 ima pomoćne sabirnice, što je zahtijevalo dvoetažnu izvedbu ionako već velikog postrojenja. U to doba izgrađena je za potrebe industrije i ostalog konzuma TS 35/10 kV Brodogradilište, instalirane snage 3 x 16 MVA, koja osim jednostrukih sekcioniranih sabirnica također ima i pomoćne sabirnice. Isti je projekt i nove TS 35/10 kV Dujmovača, koja je trebala zamijeniti dotrajalu staru stanicu, a od koje se odustalo u očekivanju osnovnog rješenja mreže.

U rujnu 1986. dovršeno je novo osnovno rješenje mreže 110 i 350 kV područja Splita [15]. Studija predviđa odumiranje transformacije 110/35/10 kV i postepen prijelaz na povoljniju direktnu transformaciju 110/10 kV, tako da se mreža 35 kV sadrži do iskorištenja (oko 2015. godine). Planira se ukupno sedam TS 110/10 kV: jedna rekonstruirana (TS 110/35/10 kV Sučidar), jedna postojeća (Split 3) i pet novih (Dobri, Dujmovača, Solin, Korešnica i Kaštela). Instalirana snaga tih transformatorskih stanica je 3 x 40 MVA. Studija se posebno ne bavi izborom postrojenja 10 kV, nego se alternativno predlaže klasična izvedba s dvostrukim sabirnicama ili izvlačiva izvedba s prstenastim sabirnicama.

U studenome 1986. izrađen je projekti zadatak TS Dujmovača s transformacijom 35/10 kV, 3 x 16 MVA u prvoj etapi i 110/10 kV, 3 x 40 MVA u konačnoj izgradnji [16]. Postrojenje 35 kV bit će oko 2000. godine zamijenjeno postrojenjem 110 kV u SF₆ tehnici. Postrojenje 10 kV izvodi se već u prvoj etapi za konačno stanje, a u skladu s tipizacijom TS 110/X kV. To znači primjenu prstenastih sabirnica i limom oklopljenog postrojenja u izvlačivoj izvedbi. Sada je na redu projektni zadatak TS 110/10 kV Dobri u centru Splita.

3. PODRUČNE TS 35/10 kV

U doba elektrifikacije i još nerazvijene visokonaponske mreže predstavljale su TS 35/10 kV važne energetske objekte, tako da je projektne zadatke i glavne

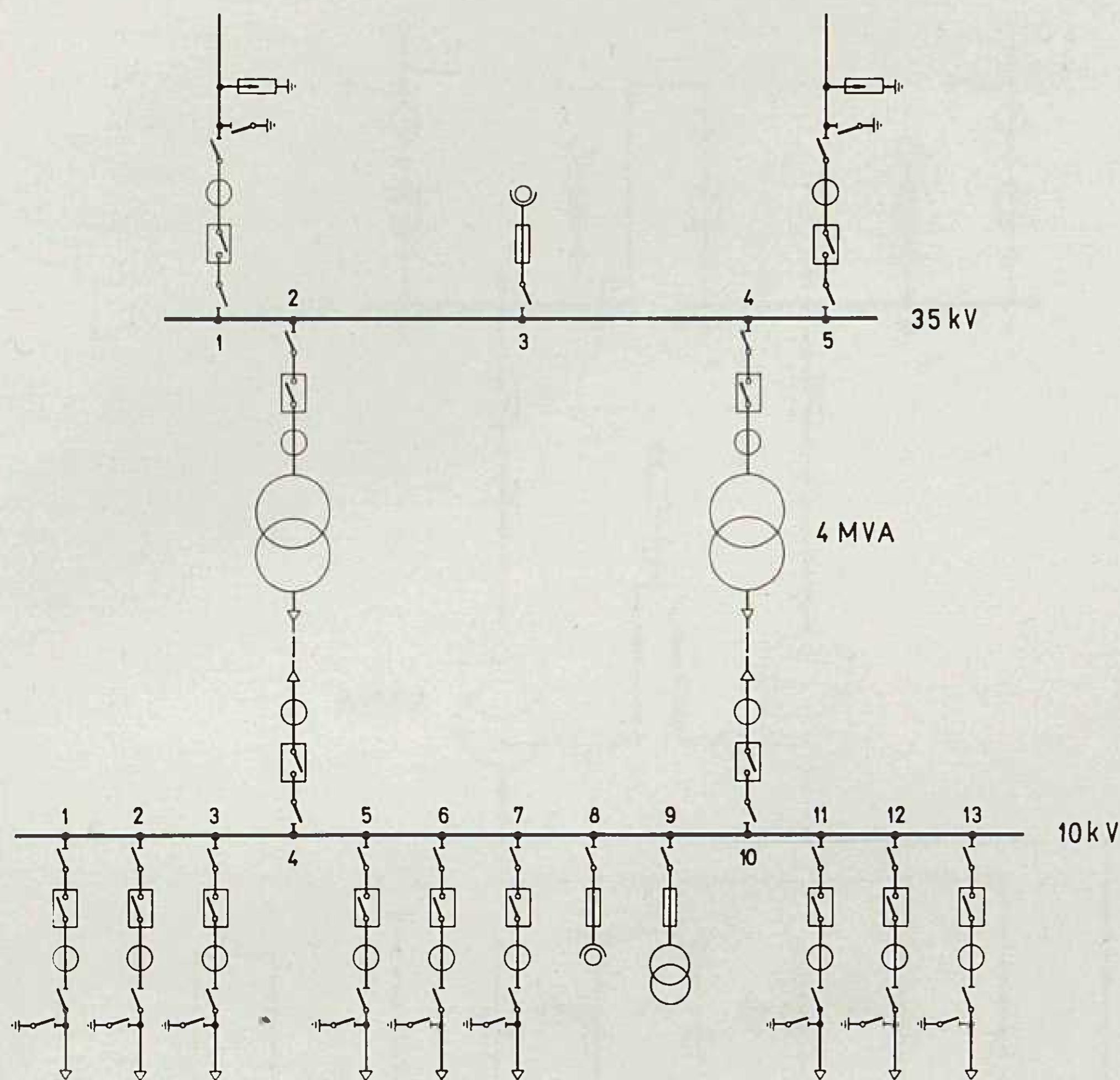
podatke odobravalu odnosno revidirala posebna komisija pri Zajednici elektroprivrednih poduzeća Hrvatske. Radi ekonomičnije izgradnje TS 35/10 kV ta je republička komisija u svojim rješenjima na podnesene projektne zadatke zahtijevala da se odabiru što jednostavnija i skromnija rješenja koja će zadovoljavati u pogledu sigurnosti osoblja i potrebnih pogonskih manipulacija [2].

TS 35/10 kV projektirane podesetih godina (na primjer Postira, Imotski) karakterizira zgrada izvedena u dvije etaže. Sabirnice i sabirnički rastavljači postrojenja 35 i 10 kV nalaze se u prizemlju, a ćelije s ostalom opremom na katu. Raspored je uvjetovan priključkom nadzemnih vodova na gornjem dijelu zgrade. Tako su izbjegnuti kabelski izvodi, a spojni vodovi su kratki jer nema promjene smjera kao kod smještaja sabirnica na gornjem dijelu postrojenja. Prednost dvoetažnog postrojenja je zaštita od širenja električnog luka zahvaljujući pregradama između prizemlja i kata, a nedostatak je nemogućnost direktne kontrole stanja sabirničkog rastavljača iz poslužnog hodnika na katu. Sabirnice 35 kV su jednostruke, a 10 kV jednostruke sekcionirane. Ćelije 35 i 10 kV raspoređene na suprotnim stranama zgrade. Mogle su se instalirati dvije transformatorske jedinice snage po 4 MVA.

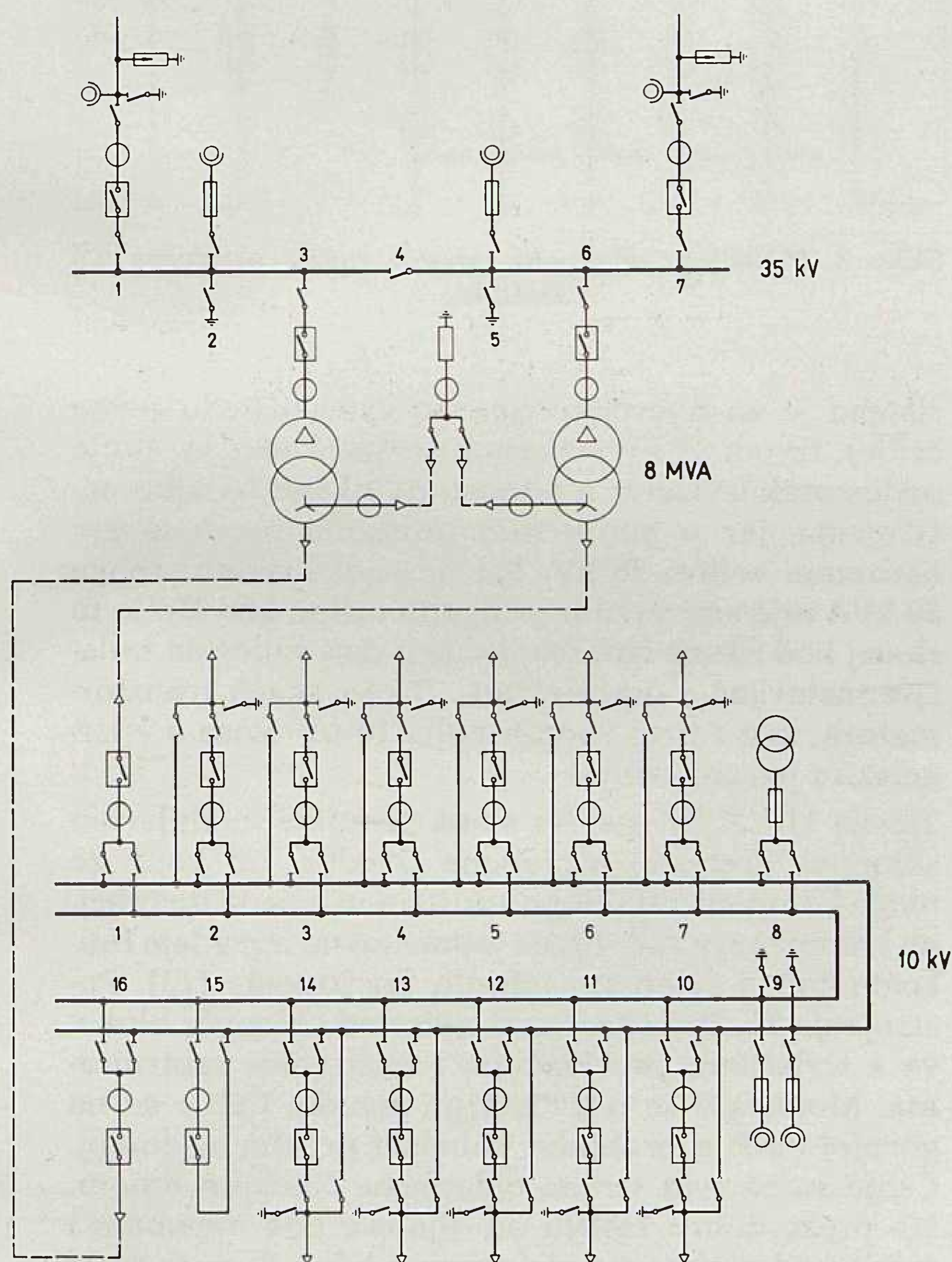
Uvidom u TS 35/10 kV izgrađene u protekla tri desetljeća dolazi se do spoznaje da je već početkom šezdesetih godina dosegnut ideal jednostavnih i preglednih postrojenja (Omiš, Trogir, Ploče). Budući da primjena kabela 10 kV više nije bila ograničenje, mogle su se izvesti jednoetažne ćelije 10 kV s kabelskim izvodom do prvog stupa nadzemnog voda. Za većinu područnih TS 35/10 kV karakterističan je nadzemni priključak 35 kV, uz napomenu da su u ovom slučaju ćelije 35 kV također jednoetažne. Analogno je izveden i priključak energetskih transformatora: veza 35 kV je kruta, a 10 kV kabelska. Postrojenje 35 kV nalazi se s jedne, a postrojenje 10 kV s druge strane poslužnog hodnika. Sabirnice 35 i 10 kV su jednostruke, ali nisu — to je jedini nedostatak — sekcioniranje (sl. 1). Instalirana snaga je 2 x 4 MVA, a kasnijom rekonstrukcijom 2 x 8 MVA.

TS 35/10 kV koje su se gradile idućih petnaestak godina teško je prikladno sistematizirati. Napušten je jedan dobar projekt umjesto da se nadalje primjenjuje i dotjeruje. Prestanak rada komisije za reviziju projekata vjerojatno je značio jačanje utjecaja individualnih stavova na račun prostudiranih i cjelovitih rješenja. To se očituje u izboru jednopolnih shema, a još više u izvedbi postrojenja. U prvom razdoblju još se grade jednostavnija postrojenja, da bi se kasnije — a to je vrijeme kada se raspolagalo i većih investicionim sredstvima — pojavila i postrojenja složenije sheme i izvedbe. Na primjer, TS 35/10 kV Opuzen instalirane snage 2 x 16 MVA (projektirana 1977) ima dvostruke sabirnice 35 kV te dvostruke i pomoćne sabirnice 10 kV.

Krajem sedamdesetih godina uspijeva jedna značajna akcija: projektira se tipska područna TS 35/10 kV, instalirane snage 2 x 8 MVA (sl. 2). Izgrađena su tri objekta. Baška Voda (1982), Milna (1983) i Trilj



Slika 1. Jednopolna shema TS 35/10 kV Omiš



Slika 2. Jednopolna shema TS 35/10 kV Baška Voda

(1986); u pripremi je i četvrti objekt (Pučišća). Postrojenja su još uvijek otvorena s pregradnim zidovima između ćelija i žičanom mrežom na prednjim stranama. Jedina novost je modularna zaštita smještena u posebnoj prostoriji. Postrojenja 35 kV karakteriziraju jednostruke sekcionirane sabirnice, jednoetažna izvedba u jednom redu i priključak nadzemnih vodova 35 kV. Postrojenja 10 kV ima dvostruke sabirnice, s tim da u vodnim poljima postoji rastavljač za premoštenje koji bi trebao omogućiti korištenje drugih sabirnica — ako nisu u pogonu — kao pomoćne sabirnice. Postrojenje 10 kV je jednoetažno s kabelskim izvodima, montirano u dva reda. Već na prvi pogled nameće se pitanje da li je odabrana koncepcija postrojenja 10 kV optimalna.

Samostalnost u odlučivanju pojedinih osnovnih organizacija i povoljne ponude proizvođača opreme dovele su 1985. godine do novog tipa TS 35/10 kV (Čiovo), a u toku je izgradnja još dvaju objekata (Metković, Ravnice). Postrojenje 35 i 10 kV sastavljeno je od limom oklopljenih ćelija s fiksno ugrađenom opremom. Jednopolna shema je ista kao i kod prethodne tipske stanice, uz napomenu da se odustalo od — za montažu neprikladnog — rastavljača za premoštenje (a to znači funkcije pomoćnih sabirnica). Za ova tri objekta karakteristično je i to da su zgrade sastavljene od betonskih elemenata. Međutim, kod razmatranja projektnog zadatka nove TS 35/10 kV Omiš u srpnju 1986. načelno je odlučeno da se primijene limom oklopljena postrojenja u izvlačivoj izvedbi. Činjenica da se na području Srednje dalmacije istovremeno pojavljuju tri tipa transformatorskih stanica najbolje ilustrira aktualnost i nužnost razmišljanja potaknutih ovim radom.

4. SABIRNICE 10 kV: JEDNOSTRUKI ILI DVOSTRUKE

Postrojenja 10 kV u područnim TS 35/10 Srednje Dalmacije godinama su građena s jednostrukim sabirnicama, a u novije vrijeme prihvaćena je izvedba s dvostrukim sabirnicama. U samom Splitu dogodilo se suprotno: dvostruke sabirnice zamijenjene su jednostrukim sekcioniranim i pomoćnim sabirnicama. Postavlja se pitanje kada su potrebne dvostruke sabirnice, odnosno pod kojim pretpostavkama se mogu primijeniti jednostruke sabirnice. Često se pogrešno shvaća svrha upotrebe dvostrukih sabirnica [1]. Jedan sistem sabirnica nije rezerva drugom sistemu, već dvostruke sabirnice omogućuju elastičniji pogon. Dolaze u obzir kod većih postrojenja ili kod složenih mreža, kada se žele odvojenim pogonom pojedinih vodova i transformatora usmjeriti tokovi snaga ili ograničiti struje kratkog spoja.

Pogonska iskustva pokazuju da postoji mala vjerojatnost kvara na sabirnicama [6]. Mogućnost kvara još više se smanjuje oklapanjem postrojenja, pregradama za zaštitu od širenja električnog luka, izoliranjem sabirnica, primjenom postrojenja bez rastavljača, tj. s izvlačivim prekidačima, jednostavnom i preglednom izvedbom, itd. A ako do kvara na jednostru-

kim sabirnicama ipak dođe, onda bi prikladnim oblikovanjem mreže 10 kV trebalo omogućiti privremeno stavljanje dijela sabirnica izvan pogona. Zato je nužno da se jednostruke sabirnice mogu sekcionirati uzdužnim rastavljačem.

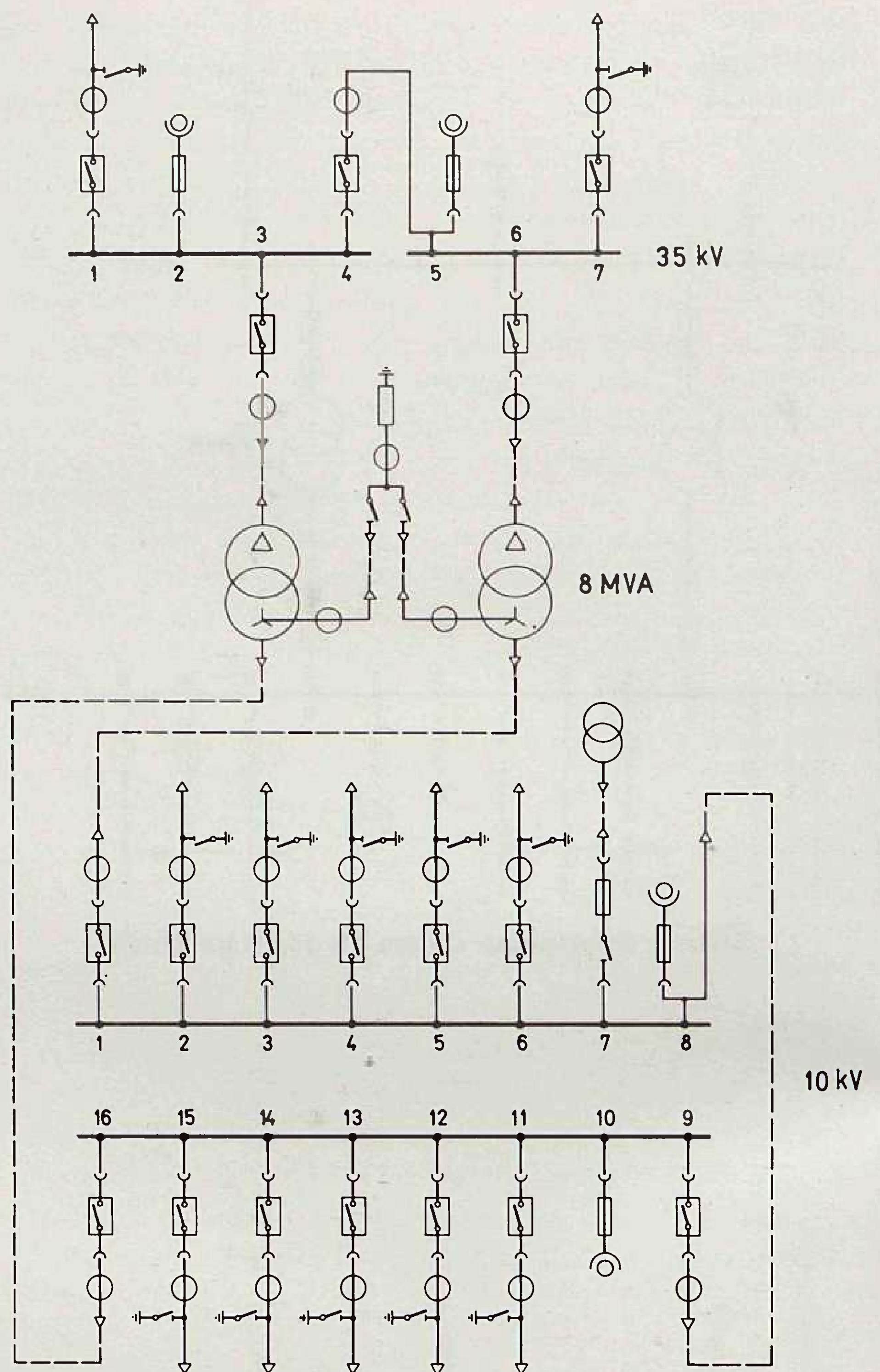
Pri planiranju distributivnih mreža uobičajena je primjena načela jednostrukog kvara ($n - 1$), to jest ispad bilo kojeg pogonskog elementa ne smije dovesti do prekida napajanja potrošača [3] [10]. U sistemu mora postojati odgovarajuća rezerva, što omogućuje da se nakon prespajanja u mreži — ne čekajući otklanjanje kvara — u kratkom roku ponovo uspostavi napajanje. To znači da mreža 10 kV treba biti u obliku prstena, u normalnom pogonu otvorenog u sredini, a priključenog na razne sekcije sabirnica 10 kV.

Zadnjih desetak godina se kao kriterij pri planiranju sve više koristi pouzdanost. Analize statističkih podataka o učestalosti i trajanju ispada u gradskim mrežama pokazuju da su TS 110/10 kV znatno pouzdanije od vodova 10 kV, što je dovelo do široke primjene jednostavnih postrojenja 10 kV [10] [12]. Na osnovi istraživanja područnih mreža 10 kV došlo se do zaključka da je prosječno godišnje trajanje ispada duže nego kod gradskih mreža [9]. Budući da se u većini slučajeva uzrok prekida napajanja potrošača nalazi u mreži 10 kV, povećanje pouzdanosti može se postići interpolacijom novih TS 35/10 kV, odnosno skraćivanjem vodova 10 kV u područnim mrežama.

Unatoč navedenim i uglavnom poznatim činjenicama dilema oko izbora dvostrukih ili jednostrukih sabirnica ponekad zna biti razlog nesporazuma. Postrojenja u izvlačivoj izvedbi imaju tu prednost da je moguća primjena kombiniranih sabirnica, tako da se neki vodovi priključuju samo na jednu (simplex), a neki na obje sekcije sabirnica (duplex). Izbor priključka ovisi o značaju pojedinog voda, kao i o mogućnosti dvostranog napajanja, to jest prstenastoj mreži [8]. Izvedba bez rastavljača omogućuje brzu zamjenu izvlačivog rastavljača, što praktički nadomješta prijašnje rješenje s pomoćnim sabirnicama. Kod primjene dvostrukih sabirnica može biti dovoljan samo jedan prekidač priključen na sabirnice pod naponom, dok je druga ćelija bez prekidača rezervna. Sredjonaponska izvlačiva postrojenja, koja su već dugo standardno rješenje u SAD i Velikoj Britaniji, u Evropi se uvode početkom šezdesetih godina [5]. U našim distributivnim mrežama pojavljuju se kod gradskih TS 110/10 kV krajem sedamdesetih godina [12], a može se očekivati da će s vremenom sve više potiskivati postrojenja u fiksnoj izvedbi.

5. NOVA TIPSKA PODRUČNA TS 35/10 kV

Prijedlog jednopolne sheme nove područne TS 35/10 kV proizlazi iz prethodnih razmatranja i prihvaćene tipske TS 110/X kV [14]. Jednopolnu shemu karakteriziraju jednostruke sekcionirane sabirnice 35 i 10 kV (sl. 3). Za sekcionirana polja potrebne su dvije ćelije: jedna s prekidačem (eventualno rješenje s kolicima bez prekidača zahtjevalo bi odgovarajuće blokade) a druga sa spojnim vodom (ta prazna ćelija isko-



Slika 3. Prijedlog jednopolne sheme tipske područne TS 35/10 kV

rištena je za mjerno polje, što znači uštedu jedne ćelije). Izvodi 35 kV prikazani su kao kabelski, što je nedostatak izvlačive u odnosu na fiksnu izvedbu postrojenja, jer u područnim mrežama prevladavaju nadzemni vodovi 35 kV. Kućni transformator snage 50 kVA nije smješten u pripadnu ćeliju, kao što je to slučaj kod fiksne izvedbe, jer je u njoj smješten izvlačivi rastavljač s osiguračima. Broj i snaga transformatora, kao i broj vodnih polja 10 kV ovise o energetskim parametrima.

Tipaska 110/X kV zasniva se na primjeni modularnih sklopova pretežno preradene izvedbe, od kojih se mogu komponirati sklopna postrojenja različite veličine i namjene, a radi brze i jednostavne izgradnje funkcionalnih i relativno jeftinih postrojenja [13]. Postrojenja 35, 20 i 10 kV sastoje se od sklopnih blokova s izvlačivim prekidačima i izoliranim sabirnicama. Montiraju se u dvoetažnu zgradu. Ćelije su na gornjoj etaži a prohodni kabelski prostor u donjoj. Ćelije su sa svih strana oklopljene čeličnim limom, što pruža dobru zaštitu od dijelova pod naponom i zaštitu od djelovanja električnog luka. Budući da je električni luk velika opasnost za osoblje u transfor-

matorskoj stanici, oklopljena postrojenja imaju značajnu prednost u odnosu na dosadašnja otvorena postrojenja.

Iako je primjena projekta tipske TS 110/X kV obavezna u SR Hrvatskoj, ne treba zaboraviti neke primjedbe korisnika koje su pratile izradu tehničke dokumentacije i izgradnju prvih objekata. To su, na primjer, loša pristupačnost kabelskim glavama, nužnost primjene prekidača konstruiranog za izvlačivi blok, centralni ili decentralni smještaj zaštite itd. Planiranje i projektiranje tipske TS 35/10 kV stoga predstavlja ozbiljan i odgovoran zadatak.

6. ZAKLJUČAK

U srednjoj Dalmaciji dugo su se zadržala klasična otvorena srednjonaponska postrojenja jer postoje dobra iskustva na montaži i održavanju. U zadnje vrijeme počela su se uvoditi preradena postrojenja, što je potaklo na razmišljanje o optimalnoj koncepciji i izvedbi, a trebalo bi rezultirati tipskom TS 35/10 kV. Predlaže se jednopolna shema s jednostrukim sekcioniranim sabirnicama te limom oklopljena postrojenja u izvlačivoj izvedbi. Ova moderna izvedba može biti konkurentna klasičnoj samo uz uvjet da je sklopni blok zaista kvalitetan.

LITERATURA

- [1] F. WEICKERT, »Razvodna postrojenja visokog napona«, Naučna knjiga, Beograd, 1952.
- [2] P. BUMČI, »Ekonomičnija izgradnja zidanih distributivnih transformatorskih stanica 35/10 kV u NR Hrvatskoj«, Energija 11 – 12/1960.
- [3] U. MÜLLER-GENTRUM, »Der Planungsgrundsatz des einfachen Zufalls in der Stromversorgung grosser Städte«, Elektrizitätswirtschaft 5/1962.
- [4] J. NEVEŠČANIN, »Osnovna koncepcija napajanja i rješenje mreže 35 kV grada Splita«, Elektrodalmacija, Split, 1968.
- [5] P. KULIK, »Gesichtspunkte für die Planung von Hoch- und Mittelspannungs-Schaltanlagen«, Technische Mitteilungen AEG – Telefunken 2/1969.
- [6] W. KAUFMANN, »Fortschritte im Bau von Mittelspannungs-Schaltanlagen bei den TWS«, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 7/1970.
- [7] D. BALDASARI, »Idejno rješenje TS 110/10 Split 3«, Elektrodalmacija, Split, 1975.
- [8] F. EILMANSBERGER, »Stromverteilung im 110 kV – und Mittelspannungsbereich«, Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft 5/1976.
- [9] G. F. L. DIXON, H. HAMMERSLEY, »Reliability and its cost on distribution system«, IEE Conference Publication 148, London, 1977.

- [10] 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.
- [11] S. SIMUNDŽA, I. ŠKARICA, »Pregled događaja značajnih za razvoj Elektrodalmacije«, 60 godina Elektrodalmacije, Split, 1984.
- [12] A. FAGARAZZI, »Tri generacije srednjonaponskih postrojenja u TS 110/20 kV na području Zagreba, XVII savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije – CIGRÉ, Struga, 1985, Energija 2/1985.
- [13] B. RADMILOVIĆ, »Osnovna koncepcija rješenja jednostavnije i složenije tipske TS 110/35, 20,10 kV Elektroprivrede Hrvatske«, Elektrotehničko društvo Zagreb, 1986.
- [14] J. MATAS, »Prijedlog jednopolnih shema tipske TS 35/10 kV«, Elektrodalmacija, Split, 1986.
- [15] R. SCHENNER, »Osnovno rješenje mreže 110 i 35 kV područja Splita«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [16] M. ŠALOV, »Ž. KOVAČEVIĆ«, Projektni zadatak TS 35/10 kV i TS 110/10 kV Dujmovača, Elektrodalmacija, Split, 1986.

TRANSFORMER STATIONS 35/10 kV IN THE MIDDLE DALMATIA

Reviewing up-to-day practice in design and construction of urban and region TS 35/10 kV in the middle Dalmatia, it is noticed a characteristic concept and construction. Upon comparison some classical solutions and particular review of 10 kV busbars choice, it is suggested a oneline scheme of typical TS with tin case and pull out mode.

TRANSFORMATORSTATIONEN 35/10 kV IN MITTELDALMATIEN

Bei der Untersuchung der bisherigen Projektierungs und Ausbaupraxis der städtischen und Gebiets- Transformatorstationen TS 35/100 kV in Mitteldalmatien, wurden charakteristische Konzeptionen und Ausführungen bemerkt. Nach dem Vergleichen einiger klassischen Lösungen und mit Betonung auf eine Auswahl der Sammelstellen 10 kV, wurde ein einpoliges Schema der Typ – Gebiets- Transformatorstation mit Blech bezogenen Anlagen vorgeschlagen.

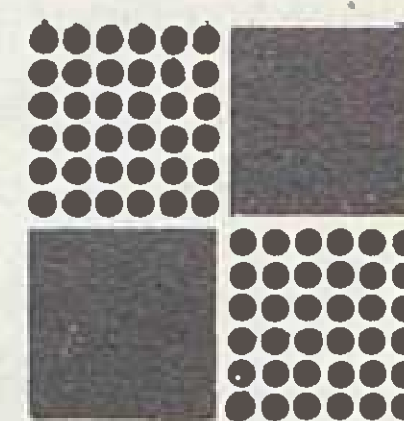
ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ 35/10 кВ В СРЕДНЕЙ ДАЛМАЦИИ

Пересмотром прежней практики проектирования и сооружения городских и районных ПС 35/10 кВ в Средней Далмации были отмечены характерные концепции и выполнения. После сравнения некоторых традиционных решений и особого внимания относительно выбора шин 10 кВ была предложена однополюсная схема типовой районной трансформаторной подстанции КРУ выдвигающегося исполнения.

Naslov pisca:

Antun Fagarazzi, dipl. ing.
Elektrodalmacija
58000 Split, Radničko šet. 42
Jugoslavija

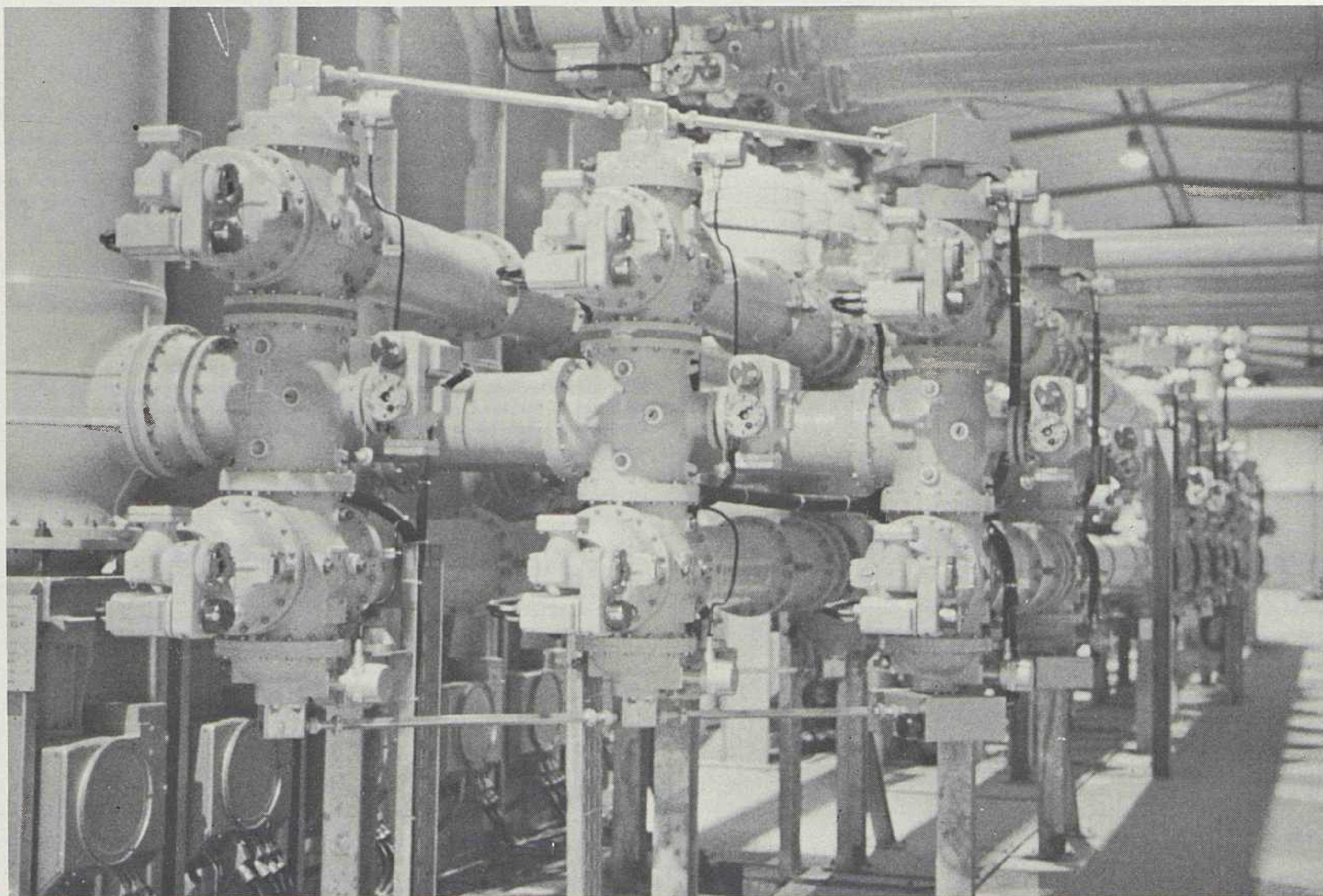
Uredništvo primilo rukopis
 1986 – 11 – 02



Radna organizacija za montažu industrijskih postrojenja
OOUR za elektromontažne radove

ZAGREB ● Dimitrovljeva 2-6

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



TS JALO

ODABIRANJE REGULACIJE NAPONA POMOĆU RAČUNALA

Željko Crnogorac, Bjelovar

UDK 621.316.1:681.3

STRUČNI RAD

Varijacije napona na naponskom nivou 0,4 kV su znatne i vrlo je teško održati ga unutar dozvoljenih granica. U članku je prikazan način ocjene kvalitete napona pomoću računala i odabiranje položaja regulacione preklopke transformatora.

Ključne riječi: nazivni napon, odstupanje, regulacija

1. UVOD

Zbog padova napona u dalekovodima i transformatorima te različitog opterećenja u toku dana napon nije konstantan ni na jednom naponskom nivou. Na višim naponima postoji automatska regulacija, pa su odstupanja manja nego na naponskom nivou 0,4 kV. Jedina za praksu prihvatljiva mogućnost regulacije napona nivoa 0,4 kV je pomoću regulacione preklopke transformatora SN/0,4 kV. Promjena položaja regulacione preklopke transformatora SN/0,4 kV. Promjena položaja preklopke se može vršiti samo u beznaponskom stanju a standardni stupnjevi regulacije su:

- za transformatore starije proizvodnje tri položaja preklopke -4% , 0 , $+4\%$
- za transformatore novije proizvodnje pet položaja preklopke -5% , $-2,5\%$, 0 , $+2,5\%$, $+5\%$.

Uobičajen je postupak mjerenja napona registrirajućim voltmetrom, a sam postupak traje najmanje 24 sata. Na osnovi takvog mjerenja potrebno je izvršiti ocjenu kvalitete napona i provjeriti da li bi napon bio kvalitetniji ako bismo regulacionu preklopu prebacili u neki drugi položaj. Bit će predložene još neke primjene ovog proračuna.

2. MATEMATIČKI MODEL PRORAČUNA

Za dovoljno pouzdanu ocjenu kvalitete napona potrebno je najmanje:

- mjerenje napona registrirajućim voltmetrom u trajanju od najmanje 24 sata ili
- mjerenje napona svakih pola i u puni sat neregistrirajućim voltmetrom. U tom slučaju ćemo imati 48 podataka koji će biti označeni oznakom $U(n)$ gdje je $n = 1$ do 48.

Kao mjere odstupanja (rasturanja ili disperzije) u proračunu će biti izračunati srednja vrijednost, standardno odstupanje i postotak vremena u kojem je napon ispod dopuštene granice, u granicama ili ispod granice.

Srednja vrijednost i standardno odstupanje izračunavaju se na poznati način. Izrazi za izračunavanje navedeni su i u dijagramu toka (slika 2). Oznake u izrazima su sljedeće:

- N ukupan broj podataka
- U_{sr} srednja vrijednost napona (V)
- s tog standardno odstupanje napona (V)
- U_{naz} nazivni napon koji iznosi 220 V.

Prema Općim uvjetima za isporuku električne energije (član 70) dozvoljena odstupanja napona od nazivnog su $+5\%$ i -6% . U proračunu je potrebno odrediti u kojem je postotku u ukupno promatranom vremenu napon ispod, u kojem je postotku unutar dozvoljenih granica i u kojem iznad njih.

Ako želimo upoređivati više različitih nizova podataka o mjerenju napona, može se izračunati i koeficijent varijacije:

$$K_v = \frac{s}{U_{sr}} \quad \dots (1)$$

S obzirom na to da su standardno odstupanje i srednja vrijednost u istim jedinicama (ovdje u V), koeficijent varijacije je bezdimenzionalan broj ili se može izraziti u postocima.

3. PROGRAM ZA ELEKTRONIČKO RAČUNALO

Program je napisan za računalo ZX Spectrum u programsko jeziku BASIC.

3.1. Ulazni podaci

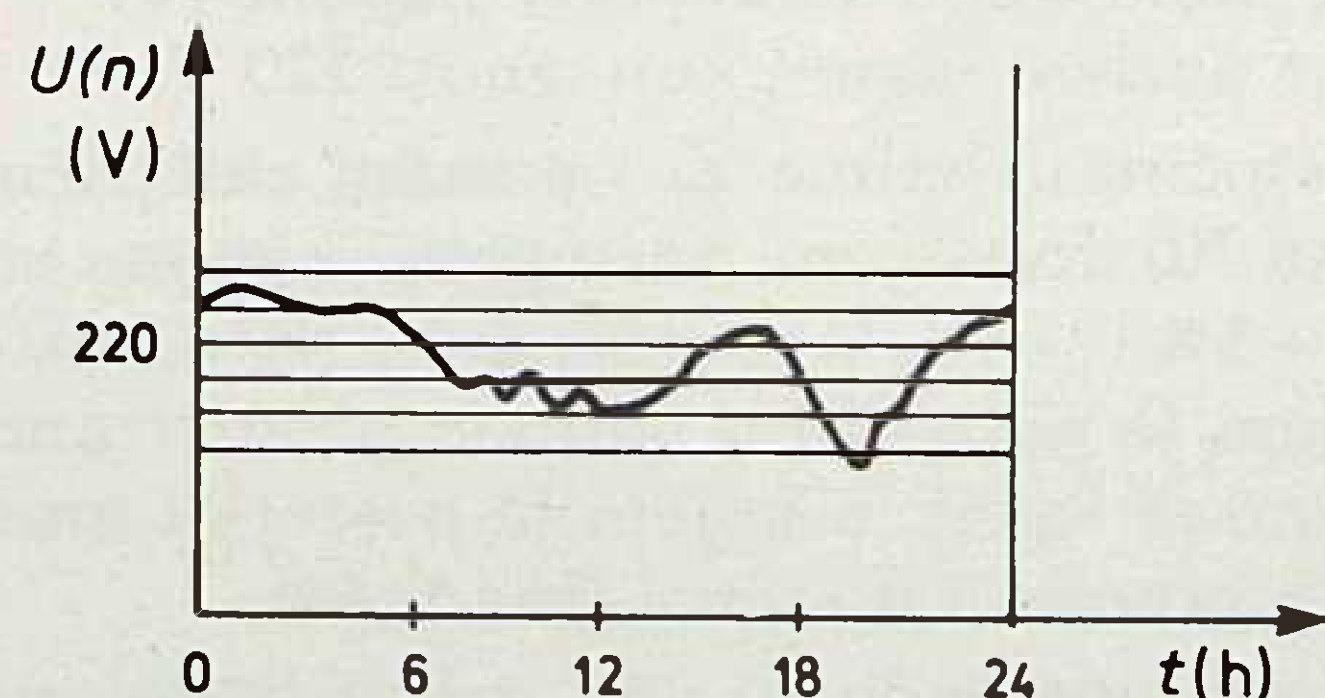
Kao primjer za ilustraciju potrebnih ulaznih podataka na slici 1. je nacrtan dio krivulje napona snimljene registrirajućim voltmetrom.

Svaki puni sat i svakih pola sata potrebno je očitati vrijednost napona sa slike 1. i unijeti u tablicu 1.

Pri unošenju tako velikog broja podataka preko tastaturnog računala moguće su greške, pa je odmah na

Tablica 1. Vrijednosti napona

t	0 00	0 30	1 00	1 30	2 00	2 30	3 00	3 30	4 00	4 30	5 00
U (n)	233	236	235	234	230	231	231	230	230	232	230
5 30	6 00	6 30	7 00	7 30	8 00	8 30	9 00	9 30	10 00	10 30	11 00
228	222	218	208	212	211	204	209	215	206	202	210
11 30	12 00	12 30	13 00	13 30	14 00	14 30	15 00	15 30	16 00		
202	207	205	208	212	215	218	222	224	225		
16 30	17 00	17 30	18 00	18 30	19 00	19 30	20 00	20 30	21 00		
227	222	220	211	204	195	187	188	198	206		
21 30	22 00	22 30	23 00	23 30							
215	220	224	228	231							



Slika 1. Krivulja promjene napona snimljena registrirajućim voltmetrom

početku predviđena kontrola. Ako je zadovoljena nejednakost:

$$180 < U(n) < 240 \quad \dots (V)$$

što znači da je napon između 180 i 240 V, tek onda se prelazi na upis novog podataka.

3.2. Dijagram toka proračuna

Pošto se upišu vrijednosti izmjenjenog napona $U(n)$, izračunavaju se srednja vrijednost, standardno odstupanje i podaci se razvrstavaju unutar granica.

Ako je, na primjer, postotak moguće promjene napona pomoću regulacione preklopke +2,5%, sve vrijednosti napona se povećavaju za taj postotak. Za te povećane vrijednosti napona (ili smanjene) ponovno se izračunavaju isti podaci kao i za izmjerene vrijednosti.

3.3 Rezultati

Za napon iz tablice 1. (što odgovara krivulji sa slike 1) rezultati proračuna su prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati

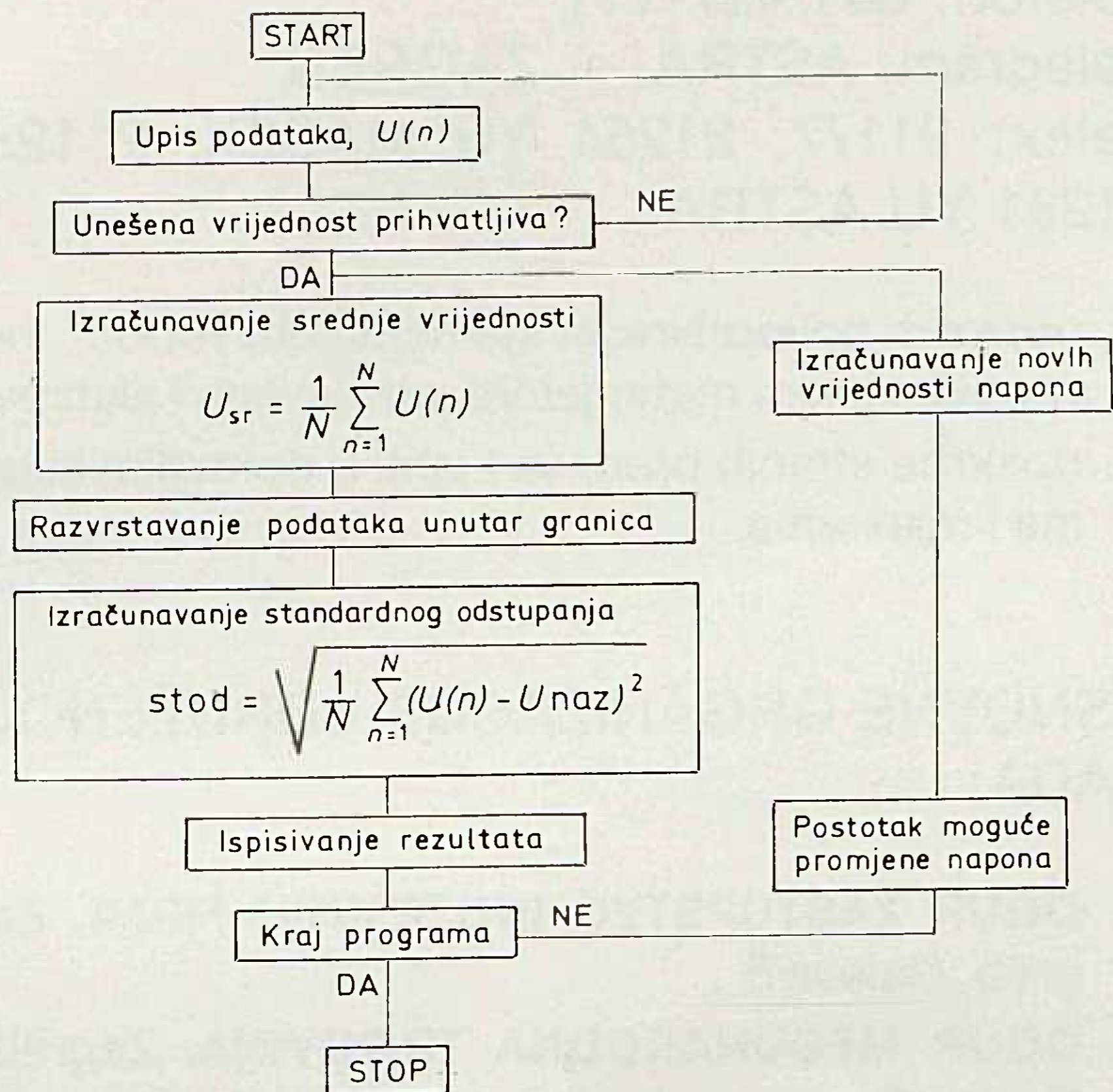
1	2	3	4	5	6
Napon viši ili niži	Srednja vrijed. napona	Napon ispod granice	Napon u granicama	Napon iznad granice	Standardno odstupanje napona
%	V	%	%	%	V
+5	227	6	50	44	15,2
+2,5	222	8	60	32	12,9
0	217	20	65	15	12,7
-2,5	211	41	59	0	14,6
-5	206	48	52	0	18,1

Na osnovi prikazanih rezultata proračuna vidi se da je odstupanje napona najmanje ako regulacionu preklopku postavimo u položaj 0. Tada je srednja vrijednost napona 217 V, napon je unutar dozvoljenih granica 64% promatranog perioda a standardno odstupanje je najmanje i iznosi 12,7 V.

ZAKLJUČAK

Postoji više mogućih primjena na ovaj način provedene ocjene kvalitete napona:

- određivanje u kojem položaju regulacione preklopke transformatora su odstupanja napona najmanja
- ako postoji mogućnost napajanja nekog potrošača iz dvije trafostanice ili s dvije mreže, može se odrediti kvalitetniji izvor,



Slika 2. Dijagram toka proračuna

— određivanje mjesta gdje će niskonaponska mreža iz dviju susjednih trafostanica biti razdvojena (mrtvo polje).

LITERATURA

[1] S. VUKADINOVIĆ, »Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike«, Beograd, Privredni pregled 1981.
 [2] Opći uvjeti za isporuku električne energije, Narodne novine, Zagreb, broj 35, 1983.
 [3] D. PROKIĆ, »Ocena kvalitete napona pomoću metoda teorije verovatnoće u distributivnim mrežama«, X savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Dubrovnik, 1970, R. 42. 16.

THE CHOICE OF VOLTAGE REGULATION BY COMPUTER

In the article are described great voltage variations on 0.4 kV and difficulties to regulate. It is described an estimate of voltage quality by computer and position of regulation tap.

AUSWAHL DER SPANNUNGSREGULATION MIT HILFE DES RECHNERS

Die Spannungsvariationen im Spannungsniveau 0,4 kV sind bedeutend und es ist sehr schwer ihn im Rahmen der erlaubten Grenzen zu halten. Im Artikel wird die Art der Qualitätsüberprüfung mit Hilfe des Rechners und die Auswahl der Lage des Regulationsumschalters des Transformators behandelt.

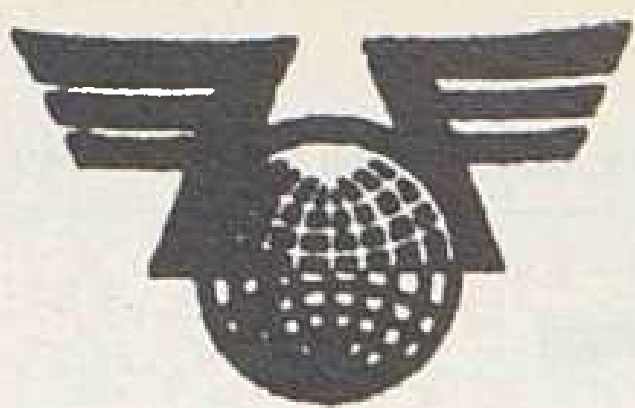
ПОДБОР РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Изменения напряжения при порядке напряжения 0,4 кВ значительны и весьма затруднительно поддерживать напряжение в границах дозволенного. В статье приводится способ оценки качества качества напряжения при помощи вычислительной машины и подбор положения регулирующего переключателя трансформатора.

Naslov pisca:

Željko Crnogorac, dipl. inž.
 »Elektra« Bjelovar,
 43000 Bjelovar, P. Biškupa 5
 Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
 1986 – 11 – 19



ASTRA

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

**SPONZOR-SUORGANIZATOR
UNIVERZIJADE'87**

ZAGREB
JUGOSLAVIJA



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

Djelatnosti na vanjskom tržištu:

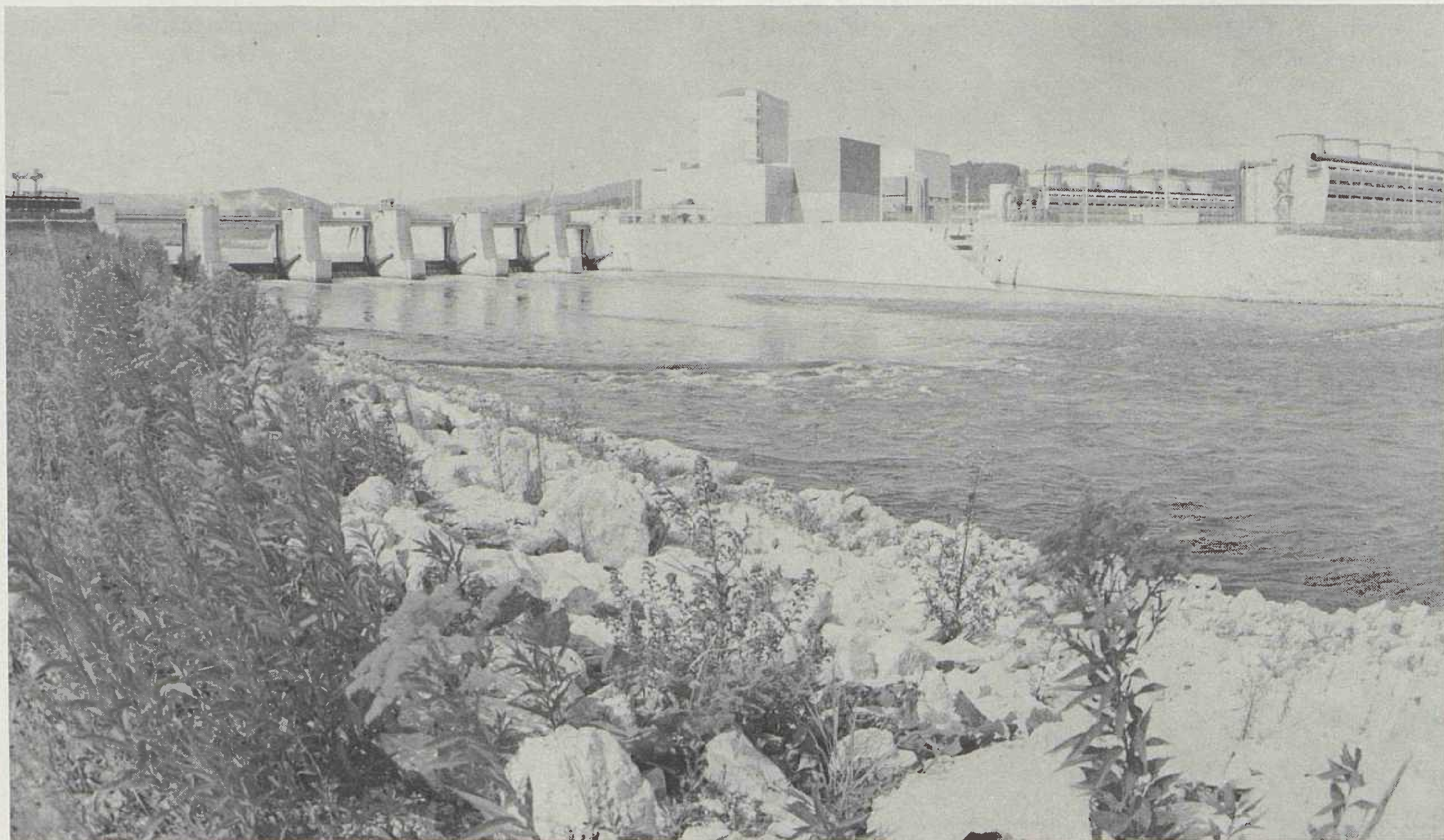
- izvoz-uvoz kompletnih objekata, postrojenja i opreme za sve grane industrije;
- izvoz-uvoz brodova i aviona;
- izvoz-uvoz poljoprivredno-prehrambenih proizvoda;
- međunarodno trgovinsko posredovanje;
- međunarodna trgovina putem mreže inozemnih firmi i predstavništava;
- zastupanje inozemnih firmi.

Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

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

OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

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



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

PROSTORNO PLANERSKI, URBANISTIČKI I GRAĐEVINSKI ASPEKTI VOĐENJA TRASE DALJINSKOG TRANSPORTA TOPLINE

Boris Štajer — Irena Pavić, Zagreb

UDK 697.34:621.311.22

PREGLEDNI RAD

Daje se pristup definiranju područja obuhvata i izboru trase za analizu. Opisuje se uloga pribavljanja uvjeta i mišljenja komunalnih i drugih radnih organizacija i institucija o predloženim trasama. Iznose se aspekti izrade tehničkog rješenja građevinskih objekata na trasi daljinskog transporta topline.

Ključne riječi: daljinski transport topline, prostorno planiranje, trasa cjevovoda

UVOD

Objekti daljinskog transporta topline predstavljaju materijalnu, tehnološku i funkcionalnu cjelinu koja bitno utječe na urbane, oblikovne i prirodne vrijednosti područja kojim trasa prolazi. Na potezu od izvora topline do stanica za predaju topline krajnjim konzumentima (stambena naselja i industrijske zone) trasa općenito prolazi područjem različitog stupnja izgrađenosti, odnosno zauzetosti od prisutnih i budućih korisnika i interesenata u prostoru. Te okolnosti akcentiraju upravo prostorne i urbanističke aspekte u pronalaženju najpovoljnijeg prostornog položaja trase daljinskog transporta topline, iako je jasno da neki ekonomski, tehnološki i drugi razlozi utječu, odnosno mogu utjecati ne samo na izbor trase već i na koncepciju rješenja u cjelini. Nužnost sagledavanja prostorno-planerske i urbanističke problematike logično se ukazuje već u početnoj fazi razrade ideje i koncepcije rješenja. U toj fazi konzultiraju se urbanistički i regionalni prostorni planovi radi prikupljanja i sistematizacije podataka o perspektivnom privrednom i društvenom razvoju, te drugim relevantnim značajkama područja koje se analizira.

Daljnje detaljnije analize prostorno-planerske i urbanističke problematike vođenja trase, globalno usmjerene i konkretizirane kroz prvu fazu razrade ideje, odnosno koncipiranja zahvata, provode se u fazi idejnog projektiranja, kada se definira osnovno prostorno, funkcionalno, tehnološko, tehničko i oblikovno rješenje objekata sistema daljinskog transporta topline. Građevinskim obradama, koje se dijelom provode paralelno, a dijelom sukcesivno nadovezuju na prostorno-planerske i urbanističke analize, definiraju se tehnička rješenja na konfliktnim mjestima i područjima trase.

U dosadašnjoj praksi nailazi se, u odnosu na stupanj razrađenosti idejne dokumentacije, na idejno rješenje i idejni projekt. Već u postupku izrade idejnog rješenja sistema daljinskog transporta topline, koje

u procesu projektiranja praktički predstavlja nužan nivo dokumentacije, nameće se potreba suradnje i koordinacije obrađivača različitih struka i profila. Rezultat takvog multidisciplinarnog pristupa može biti samo pozitivan, a konkretno se u domeni prostornog planiranja, urbanizma i građevinarstva očituje u pravovremenom, sveobuhvatnom i, s obzirom na nivo projektiranja, najkvalitetnijem sagledavanju problematike. To nadalje rezultira prostornim definiranjem trase daljinskog transporta topline s riješenim i/ili anticipiranim glavnim problemima, tj. dobiva se solidna i realnija osnova za daljnji proces projektiranja.

Prostorno-planerski, urbanistički i građevinski aspekti vođenja trase daljinskog transporta topline, kao grupa aspekata koje je zbog međusobne povezanosti i uvjetovanosti nužno sagledati zajedno, prikazani su kroz opis glavnih faza prostornog definiranja trase na nivou idejnog rješenja. Opisani metodološki pristup primijenjen je pri izradi »Idejnog rješenja transporta topline od NE-Prevlaka do CTS Zagreb«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986. godine.

DEFINIRANJE PODRUČJA OBUHVATA I IZBOR TRASA ZA ANALIZU

Analize vođenja trase, kao što je uvodu izneseno, globalno su usmjerene kroz prvu fazu razrade ideje i koncipiranja zahvata. Općenito se pretpostavlja da je prethodno izradi idejnog rješenja poznat i definiran izvor topline, potencijalna konzumna područja i osnovni tehnološki-tehnički podaci o sistemu daljinskog transporta topline. Samim tim određeno je i područje obuhvata za analize vođenja trase, unutar kojeg teoretski postoji mogućnost osiguranja većeg broja koridora. Stoga se u prvom koraku pristupa generalnom sagledavanju osnovnih prirodnih karakteristika područja, kao što su geološko-hidrogeološke, seizmičke, geomehaničke, pedološke, reljefne,

hidrološke, hidrografske i ostale karakteristike, a sve na osnovi postojećeg i raspoloživog fonda podataka. Nivo projektiranja (idejno rješenje) još ne opravdava provedbu terenskih istražnih radova, već je u konačnosti identificira i definira saglediv opseg terenskih istraživanja (za odabranu trasu) radi dobivanja podataka za daljnje faze projektiranja.

Sagledavanjem osnovnih prirodnih karakteristika područja obuhvata mogu se eliminirati neki a priori nepovoljni koridori (npr. koridori kroz područja s tlom slabe nosivosti, visokim nivoom podzemne vode, izraženom reljefnom razvedenosti i sl.).

Uvođenjem i primjenom kriterija iz domene prostornog planiranja i urbanizma izbor trasa za daljnje analize još se više sužava i rezultira izborom jednog ili više koridora koji se u drugoj fazi prostorno definiraju na jednakom nivou. Prostorno-planerski i urbanistički kriteriji općenito se razlikuju od slučaja do slučaja, ali generalno se mogu svrstati u dvije skupine:

- kriteriji koji respektiraju kratkoročne i dugoročne restrikcije u korištenju prostora zbog izgradnje i eksploatacije objekata daljinskog transporta topline i
- kriteriji koji definiraju odnos postojećih i planiranih infrastrukturnih sistema sa sistemom daljinskog transporta topline.

Primjenom prve grupe kriterija određuju se potezi trase duž kojih se toplovodne cijevi mogu polagati nadzemno, odnosno podzemno, u skladu s postojećom i planiranom namjenom prostora. Pri tome se u principu cjevovod polaže nadzemno u prirodnom pejzažu, a podzemno u urbanom prostoru. Nadalje se definira i odnos trase prema zemljištu različite bonitetne klase radi očuvanja cjelovitosti viskokovrjednih poljoprivrednih i šumskih površina, te respektira postojanje zaštićenih prirodnih, ruralnih i urbanih vrijednosti unutar područja obuhvata.

Primjenom kriterija iz druge grupe globalno se definira odnos trase prema postojećim i planiranim prometnicama, magistralnim objektima vodovoda (uključivo vodozaštitne zone), kanalizacije, PTT-mreže, elektromreže, plina, toplifikacije i sl. Općenito je povoljno i teži se k tome da trasa uzdužno prati koridore infrastrukturnih sistema, odnosno da ih presijeca na što manje mjesta. Kriterijima iz ove grupe također se određuju potezi i mjesta na kojima je cjevovod moguće, odnosno potrebno, polagati nadzemno ili podzemno.

Primjena urbanističkih i prostorno-planerskih kriterija osniva se u principu na korištenju podatka iz urbanističkih i regionalnih prostornih planova.

PROSTORNO DEFINIRANJE TRASA DALJINSKOG TRANSPORTA TOPLINE

Slijedom primjene kriterija iz prethodne faze određuje se jedna ili više trasa koje se prostorno definiraju na istom nivou razrade.

Prostorno definiranje u suštini je aktivnost kojom se utvrđuje odnos trase prema postojećim i planiranim infrastrukturnim sistemima, prirodnim i drugim vrijednostima u prostoru, te u skladu s tim korigira prostorni položaj izabranih trasa. Za potpunije sagledavanje prostornih aspekata vođenja trase u ovoj se fazi nužnom ukazuje potreba korištenja kvalitetnih, aktualnih i, primjereno nivou razrade, što detaljnijih podloga i podataka o objektima daljinskog transporta topline, te korištenju i namjeni prostora.

Podloge i podaci koji se odnose na sistem daljinskog transporta topline osiguravaju se preliminarnim analizama u postupku izrade idejnog rješenja, pri čemu još jednom valja naglasiti važnost suradnje svih obrađivača. Preliminarno se određuju konstruktivni gabariti (koridori) sistema za slučajeve nadzemnog i podzemnog polaganja cjevovoda, te osnovne dimenzije i lokacije važnijih objekata na trasi (cirkulacijska pumpna stanica, predajna toplinska stanica). Ovi podaci pružaju osnovni uvid u zauzeće prostora i restrikcije u korištenju terena u fazi izvedbe i fazi eksploatacije sistema. Kratkoročne restrikcije u korištenju terena i prostora pojavljuju se u fazi izvedbe, kada je potrebno osigurati šire koridore za deponije materijala i opreme, manipulativni prostor i gradilišnu cestu. Dugoročne restrikcije u fazi eksploatacije odnose se na prostor koji zauzima cjevovod sa servisnom cestom i na prostor predviđen za lociranje već spomenutih važnijih objekata na trasi. Na svakoj izabranoj trasi identificiraju se konfliktne točke u kojima trasa presijeca markantnije prirodne i umjetne prepreke (vodotoci, tla slabe nosivosti, retencijska i plavna područja, autocesta, željeznička pruga i sl.), te se preliminarno analizira mogućnost njihova savladavanja.

Podloge i podaci o korištenju i namjeni prostora duž izabranih trasa osiguravaju se iz urbanističkih i regionalnih prostornih planova, usvojenih dokumenata (odluka, planova i projekata), te terenskim obilaskom. Proces prikupljanja podloga o korištenju i namjeni prostora razlikuje se od područja do područja, s obzirom na to da je kvalitetan uvid u konkretnu situaciju ovisan o nivou do kojeg je odnosno područje urbanistički i prostorno obrađeno. U većini slučajeva prikupljanje podataka upućuje obrađivača i na konzultacije s postojećim i planiranim korisnicima — interesentima u prostoru (npr. vodoprivreda, elektroprivreda, komunalne organizacije, društveno politička zajednica i sl.). Konzultacijama se dopunjava fond podataka, a ujedno se nadležni ili zainteresirani subjekti već u ovoj fazi načelno uvode u problematiku, tj. u određenoj mjeri aktiviraju za sljedeću fazu pribavljanja uvjeta i mišljenja o predloženim trasama.

Na osnovi sistematiziranih podloga i podataka vrši se korekcija prostornog položaja izabranih trasa, pri čemu se općenito neke od njih mogu pokazati kao izrazito nepovoljne i time isključiti iz daljnjih obrada. Takvi slučajevi uglavnom su posljedica nemogućnosti nalaženja racionalnog tehničkog rješenja savladavanja prepreka, odnosno prethodnog nepoznavanja planskih pretpostavki privrednog i društvenog razvo-

ja područja. Primjer za ilustraciju je hipotetički koridor koji se proteže paralelno s granicom vodozaštitnog područja s jedne strane i podzemno položenim PTT-instalacijama s druge strane. Prisutnost PTT-instalacija identificirana je kroz fazu prikupljanja podataka, a zahtjev R.O. PTT-prometa je da se trasa toplovoda odmakne na određenu udaljenost od instalacija, zbog čega koridor toplovoda zadire u vodozaštitnu zonu crpilišta. Zahtjev R. O. PTT-prometa je argumentiran zakonima i propisima, te se izabrana trasa daljinskog transporta topline mora mijenjati ili eliminirati iz daljnjih obrada.

Preostale trase prostorno se definiraju na način da se generalno grafički i tekstualno opišu, predoče sistematizirani podaci i podloge, te identificiraju konfliktna mjesta i područja na kojima trasa kolidira s:

- postojećim i planiranim infrastrukturnim sistemima
- prirodnim preprekama (depresije, uzvisine, vodotoci, retencijska i plavna područja i sl.)
- poljoprivrednim površinama u privatnom i društvenom sektoru, šumskim područjima i naseljima
- postojećim i planiranim namjenskim zonama (zone industrije, urbaniteta, sporta i rekreacije, zelenila i sl.),
- zaštićenim prirodnim, ruralnim i urbanim područjima.

Nakon završetka faze prostornog definiranja dobiva se separatan materijal kao podloga za fazu pribavljanja uvjeta i mišljenja nadležnih ili zainteresiranih subjekata o trasi (trasama) daljinskog transporta topline.

PRIBAVLJANJE UVJETA I MIŠLJENJA KOMUNALNIH I DRUGIH RADNIH ORGANIZACIJA I INSTITUCIJA O PREDLOŽENIM TRASAMA

U nastavku procesa konačnog definiranja trasa aktiviraju se svi sagledivi nadležni ili zainteresirani subjekti (od kojih su neki već prethodno upoznati s problematikom kroz fazu prostornog definiranja) sa ciljem dobivanja njihovih preliminarnih mišljenja o predloženim trasama.

Općenito je potrebno osigurati mišljenja iz oblasti prostornog uređenja, vodoprivrede, prometa i veza, energetike, zaštite čovjekove okoline, zaštite prirode, narodne obrane, kao i mišljenja odgovarajućih komunalnih organizacija (vodovod, kanalizacija, plinara).

Nakon analize separatnog materijala odgovarajuća tijela daju svoja pismena mišljenja. Normalno se može očekivati da su neki stavovi u tim mišljenjima međusobno čak i suprotni, uglavnom zbog neizgrađenih i neujednačenih kriterija, ali i činjenice da kroz fazu prostornog definiranja nije bilo realno moguće razriješiti sve probleme vođenja trase, a time i usuglasiti stavove pojedinih subjekata.

Kroz fazu pribavljanja uvjeta i mišljenja uočavaju se nedostaci i pogreške pri prostornom definiranju izabranih trasa, te kvalitetno dopunjuje fond postojećih podataka o korištenju i namjeni prostora.

Iako bi ova faza logično trebala rezultirati opredjeljenjem za jednu od tretiranih trasa, to je u praksi teško očekivati, upravo zbog neizgrađenih i neujednačenih kriterija, te različitosti interesa pojedinih subjekata. Jedino uočeni fatalni nedostaci neke od trasa mogu je eliminirati iz daljnjih obrada.

IZRADA TEHNIČKOG RJEŠENJA GRAĐEVINSKIH OBJEKATA NA TRASI DALJINSKOG TRANSPORTA TOPLINE

U fazi izrade tehničkog rješenja sistema daljinskog transporta topline sudjeluju i koordiniraju obrađivači različitih struka i profila. Putem te suradnje može se iz tehničko-tehnoloških i ekonomskih razloga, ne zanemarujući pri tome prostorne aspekte, unaprijed definirati samo jedna trasa za daljnje obrade. S urbanističkog, prostorno-planerskog i građevinskog stajališta, prethodno izradi tehničkog rješenja jednakopravne su sve varijante preostale nakon provedbe aktivnosti na pribavljanju uvjeta i mišljenja. One se, ako ne postoje opravdani i argumentirani razlozi za suprotno, obrađuju na jednakom nivou.

Građevinske obrade svode se na definiranje racionalnih tehničkih rješenja vođenja trase (podzemni i nadzemni načini polaganja cijevi po dionicama), objekata na trasi i objekata za savladavanje prepreka, uz obavezno respektiranje svih saznanja, podloga i podataka iz prethodnih faza. I ovdje može doći do manjih (lokalnih) korekcija prostornog položaja trasa.

Time je proces prostornog definiranja trasa daljinskog transporta topline na nivou idejnog rješenja u potpunosti završen. Preostaje da se na osnovu tehnoloških analiza odredi optimalna trasa i dalje argumentirano krči put do konačnog usuglašavanja stavova.

LITERATURA

- [1] WILLIAM M. MARSH: »Environmental Analysis for Land Use and Site Plannig« New York, McGraw — Hill Book Company, 1978. god.

- [2] Bundesministerium für forschung und technologie — »Wärmeverteilung — Grosse Transportleitungen Unter Berücksichtigung Kompensationsloser Verlegung und unter Einbeziehung von Freileitungen«, Forschungsprojekt Nr. 03E — 5070A, 1981. godine
- [3] LJUBOMIR VUJOVIĆ, RADOVAN ĐURKOVIĆ: — »Daljinsko grejanje« NIRO Književne novine, Beograd, 1984. godine

ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЛАНИРОВАЧНЫЕ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ И СТРОИТЕЛЬСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ТРАССЫ ДАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ТЕПЛА

Приводится подход к определению области обхвата и выбора трассы для анализа. Описывается роль получения условий и мнений коммунальных и других трудовых организаций и учреждений о предлагаемых трассах. Приводятся аспекты выполнения технического решения строительных сооружений на трассе дальнего транспорта тепла.

AREA PLANNING, URBAN AND CIVIL ASPECTS FOR CONSTRUCTION OF REMOTE HEATING WAYS

In the article are described encircled area and choice of ways for analysis. It is described a condition and opinion of urban and other public institutions about proposed ways. Some aspects of technical solutions on remote heating ways are presented.

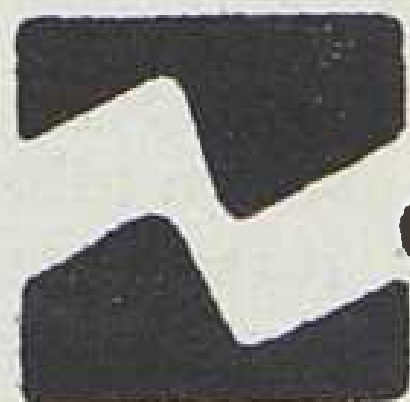
RÄUMLICHE, PLANER, URBANISTISCHE UND BAULICHE ASPEKTE DER TRASSENFÜHRUNG DES WÄRME — FERNTRANSPORTS

Hier werden das umfaßte Gebiet und die Auswahl der Trasse analysiert. Beschrieben wird die Rolle der Anschaffung der Bedingungen und der Meinung der Komunal und anderer Arbeitsorganisationen und Institutionen über die vorgeschlagenen Trassen. Beschrieben werden Aspekte der Ausarbeitung der technischen Lösung der Baugebiete auf der Trasse des Wärme — Ferntransportes.

Naslov pisaca:

**Boris Štajer, dipl. inž.
Irena Pavić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih
brigada 37, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis
1987-20-02



elektrolux - rijeka

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

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

U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

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

RO ELEKTROLUX

PROCJENA PRIZEMNIH KONCENTRACIJA SO₂ U OKOLINI TE PLOMIN 1 I 2

Mr Jure Ćurković — mr Vladimir Jelavić — Željko Postružin — Zlatko Varaždinec, Zagreb

UDK 621.039.5:502.7

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu se daje procjena prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin 1 i 2, koja je napravljena s COMPLEX računskim modelom. Na temelju mjerenja prizemnih koncentracija SO₂ izvršena je kalibracija navedenog računskog modela. Analiza izmjerenih i procijenjenih vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ potvrdila je reprezentativnost računskog modela COMPLEX za primjenu na području od interesa.

Rezultati analize pokazuju da niti jedna od analiziranih visina dimnjaka ne može sama za sebe biti dovoljna mjera zaštite analiziranog područja od prizemnog zagađenja sa SO₂.

Ključne riječi: računski model, prizemna koncentracija, ulazni podaci, emisija, visina dimnjaka, testiranje, osjetljivost modela, koeficijent korelacije

1. UVOD

Problem očuvanja kvalitete zraka pojavio se u Engleskoj još u desetom stoljeću zbog široke upotrebe ugljena kao ogrjeva, tako da prvi pisani dokument kojim se ograničava potrošnja ugljena datira iz dvanaestog stoljeća. Porastom broja stanovništva i povećanim potrebama za orjevom ova ograničenja su ublažena.

U vrijeme industrijske revolucije zagađivanje se naglo povećalo, tako da je krajem devetnaestog stoljeća, također u Engleskoj, propisana obavezna izgradnja visokih tvorničkih dimnjaka. Daljnje unapređenje postignuto je ugradnjom filtera koji su mogli izdvojiti i do 99,5% težinskog udjela letećeg pepela i prašine, tako da su plinoviti sumporni i dušikovi oksidi ostali dominantna atmosferska zagađivala.

Nakon poznate katastrofalne epizode u Londonu 1952. godine, kada je zbog visoke zagađenosti atmosfere i izrazito nepovlnih meteoroloških prilika u jednom tjednu umrlo približno 4 000 ljudi više nego što je bila normalna stopa smrtnosti, u Velikoj Britaniji je donesen zakon kojim se zabranjuje upotreba briketiranog ugljena za grijanje stambenih površina u urbanim sredinama. Daljnjim razvojem mjera za kontrolu emisija, planiranjem lokacija industrijskih zona i energetskih objekata, izgradnjom visokih dimnjaka i supstitucijom briketa s drugim energentima u urbanim područjima Velike Britanije postignuti su značajni rezultati u smanjenju zagađenja atmosfere. U drugim razvijenim zemljama Zapada uveden je također kontinuirani monitoring zagađenja atmosfere paralelno s poduzimanjem pasivnih mjera redukcije prizemnih koncentracija zagađivala.

Usporedo sa spomenutim aktivnostima počela su se provoditi i istraživanja utjecaja zagađenja na ljudsko zdravlje, te su prema rezultatima niza toksikoloških

studija doneseni pojedini nacionalni propisi za granične i dozvoljene vrijednosti zagađenja zraka. Najutjecajnijim zagađivalima atmosfere, kao što su prašina, sumporni i dušikovi oksidi, u svjetskoj je regulativni posvećena posebna pažnja pri definiranju dozvoljenih i graničnih vrijednosti zagađenja atmosfere.

Vrlo je teško odrediti pojedinačni utjecaj zagađivala zbog vjerojatnog sinergetskog djelovanja u realnoj okolini. Utjecaj ostalih promjenjivih faktora, kao što su meteorološki uvjeti, demografska obilježja lokacije, izloženost profesionalnim obljeljima, socijalni položaj, zdravstvena skrb i navike stanovništva, također ima značenje za ocjenu moguće reakcije bilo koje individue u zagađenoj okolini.

Povećanjem potrošnje energije i porastom udjela ugljena u proizvodnji električne energije povećala se i emisija plinovitih zagađivala u atmosferu preko visokih dimnjaka.

S visokim dimnjacima bitno se smanjuje lokalno zagađenje atmosfere, a zagađivalo se rasporostire preko većeg područja, pa se može govoriti o pravednijoj preraspodjeli prizemnog zagađenja.

U ovom radu je napravljena procjena prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin 1 i 2. Za to je korišten računski model COMPLEX koji se pri tretiranju pokazao kao najreprezentativniji za analizu prizemnog zagađenja područja kojim se bavimo.

2. METEOROLOŠKI PODACI

Meteorološki podaci na lokaciji TE Plomin prikupljeni su za dvogodišnje razdoblje (1980. i 1981. god.). Iz navedenog razdoblja korištene su satne vrijednosti brzine vjetera, smjera vjetera, stabilnosti atmosfere, temperature i visine sloja miješanja.

Na osnovi prethodnih istraživanja [L 1] utvrđeno je da su za rasprostiranje polutanata ispuštenih iz dimnjaka TE Plomin reprezentativni podaci o smjeru vjetrova, brzini vjetrova i stabilnosti atmosfere s nadmorske visine 350 metara, mjereni na meteorološkoj stanici Štrmac. Visina sloja miješanja kao parametar regionalnog karaktera određena je indirektnom metodom na temelju podataka radiosondažnog mjerenja u Puli i istovremenog mjerenja globalnog zračenja u Rijeci.

Budući da je simulacija onečišćenja zbog rada TE Plomin obavljena proračunom satnih vrijednosti koncentracija, bilo je, prilikom testiranja modela, potrebno izdvojiti sate preklapanja raspoloživih meteoroloških podataka sa satima rada TE Plomin 1. Prikupljeni meteorološki niz podataka u kojem je ostvareno preklapanje s radom elektrane u 1980. i 1981. god. iznosio je 359 dana. Simulacija onečišćenja zbog rada TE Plomin 1 i 2 vršena je ukupnim nizom raspoloživih podataka od 531 dana.

Uz navedene meteorološke podatke mjerene u prizemnom sloju atmosfere, prilikom testiranja i kalibracije modela korišteni su vrlo opsežni podaci satnih sondažnih mjerenja u nekoliko desetaka slojeva do visine 1 000 metara. Raspoloživost ovih podataka omogućila je primjenu danas najsuvremenijih matematičkih metoda proračuna. Podacima sondažnog mjerenja raspolagalo se za ukupno 32 dana promatranog razdoblja.

Svi meteorološki podaci zapisani na magnetskim vrpcama dobiveni su od Republičkog hidrometeorološkog zavoda, Centra za meteorološka istraživanja.

3. PROCJENA KOLIČINE ISPUŠTENOG SO₂ U ATMOSFERU

3.1. Procjena emisije TE Plomin 1 u razdoblju od 1980. do 1985. godine

Procjena emisije sumpornog dioksida iz TE Plomin 1 provedena je na osnovi mjesečnih izvještaja o dnevnoj proizvodnji električne energije na pragu elektrane i odgovarajuće potrošnje ugljena za razdoblje 1980. do 1985. godine. Izmjerene vrijednosti [L 2] kod snage na pragu od 93 MW iznose: emisija sumpornog dioksida $E_{SO_2} = 1,74$ kg/sek (prosječna vrijednost), količina dimnih plinova (suhi) 470 000 Nm³/h kod temperature na izlazu 179 °C, što odgovara prosječnog koncentraciji od 13 340 mg/Nm³ u suhim dimnim plinovima.

Prosječna količina emitiranog sumpora S_E u % za razmatrano razdoblje može se izračunati iz podataka o prosječnoj potrošnji topline kod maksimalne snage prema tablici 1.

Na osnovi prosječne ogrjevne vrijednosti ugljena $H_d = 23.860$ kJ/kg iz tablice 2. i uz prosječnu potrošnju topline po jedinici proizvedene energije na pragu

Tablica 1. Procjena prosječnih količina ispuštenog SO₂ u atmosferu za razdoblje 1980 — 1985. god.

	Jed.	TE Plomin 1								TE Plomin 2	TE Plomin 1 + 2 Ukupno	
		1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	Prosjek 1980-85.	Iskorišćenje raspol. snage	Projektne parametri		
Pogonske karakteristike	Broj sati pogona (ostvareno)	h	4732	6291	2584	6092	4421	5990,1	5018,3	4 572,0	5 500	5 202,32
	Prosječna snaga (na pragu)	MW _e	88,72	83,03	80,01	80,92	82,28	90,32	84,73	93,00	196,9	289,90
	Proizvedena energija (na pragu)	GWh _e	424,567	522,334	206,769	492,969	363,776	541,052	425,204	425,204	1 082,95	1 508,154
	Potrošnja ugljena (ostvarena)	t	201 705	257 719	104 660	254 460	183 460	263 277	210 878	210 878	451 000	661 878
	Prosječna satna potrošnja ugljena	t/h	42,62	40,96	40,50	41,76	41,49	43,95	42,02	46,10	82,00	128,10
Karakteristike emisije SO ₂	Ukupna godišnja emisija SO ₂	t	27 431,8	35 049,7	14 233,76	34 606,56	24 950,56	35 804,8	28 679,4	28 679,4	61 336,0	90 015,4
	Prosječna satna emisija SO ₂	t/h	5,797	5,571	5,508	5,680	5,643	5,977	5,715	6,273	11,152	17,425
	Prosječna sek. emisija SO ₂	kg/s	1,610	1,547	1,530	1,577	1,567	1,660	1,584	1,742	3,097	4,839
	Količina dimnih plinova — suhi	Nm ³ /h	434 520	41 596	412 906	425 752	422 999	448 080	428 403	470 000	808 000	1 278 000
	Brzina dim. plinova na ispustu ¹	m/s	16,29	15,67	15,49	15,97	15,87	16,80	16,06	17,63	13,46	21,29
	Specifična emisija SO ₂ po proizv. energ.	t/GWh	64,61	67,10	68,83	70,20	68,58	66,17	67,45	67,448	56,637	59,685
	Prosječna koncentracija SO ₂ u s. d. plinovima	mg/Nm ³	13 338,8	13 336,3	13 339,5	13 334,5	13 336,0	13 337,0	13 337,1	13 342,0	13 13 800,0	13 630,9
Prosječna potrošnja topline	kJ/kWh	11 335,5	11 772,5	12 077,0	12 316,0	12 033,0	11 610,32	11 833,25	11 833,25	9 935,66	10 471,35	

¹ Za TE Plomin 1 prema postojećem dimnjaku $D=3,5$ m (12,56 m²), TE Plomin 1+2 za novi dimnjak $D=6,00$ m (28,27 m²) stanje 190 °C kod 1,014 bara, ζ_d pl. = 0,7817 kg/m³, sastav d. pl. (vol. %): CO₂ 11,60%; SO₂ 0,50%; O₂ 5,86%; N₂ 74,84%; H₂O 7,20% — prema (L 4)

od $q_n = 11\,833,25$ kJ/kWh izračunata kao srednja vrijednost iz tablice 1, dobivena je prosječna potrošnja ugljena od $G_{ug} = 12,81$ kg/s pri maksimalnoj snazi na pragu od 93 MW. Sadržaj emitiranog sumpora S_E (%) u ugljenu izračunat je prema izrazu:

$$S_E = \frac{E_{SO_2}}{G_{ug} \cdot 2,0} \cdot 100 \quad (2.1)$$

i iznosi prosječno $S_E = 6,8\%$.

Prosječna emisija za blok 1 za razdoblje 1980. do 1985. godine iznosi 1,582 kg SO₂/s kod prosječne ostvarene snage na pragu od 84,26 MW, što približno odgovara izmjerenoj vrijednosti ukupne emisije od 1,74 kg SO₂/s kod maksimalne snage 93 MW. Ako se potrošak topline iz tablice 1, izračuna preko srednje vrijednosti proizvedene energije i utroška goriva, dobije se razlika od 0,23% ($q' = 11860,7$ kJ/kWh), što se može zanemariti s obzirom na pogrešku u mjerenju utrošenog ugljena.

Pregled emisije sumpornog dioksida, zavisno od angažiranja elektrane u elektroenergetskom sistemu, dan je sumarno u tablicu 1. Dobivena emisija s prosječno 6,8% emitiranog sumpora u gorivu iznosi 67,448 kg SO₂/MWh_e. U odnosu na ukupni sadržaj sumpora u gorivu od 9,5% (tablica 2) uz emitirani sumpor od 6,8%, stupanj emisije iznosi oko 71,5% od ukupnog sumpora što odlazi u atmosferu, dok se ostatak od 28,5% kemijski veže u pepelu.

Proračunom emitiranog sumpora s različitim ogrjevnim vrijednostima ugljena dobiju se granične vrijednosti emitiranog sumpora u rasponu od 6,28% do 7,49%. Različite vrijednosti emitiranog sumpora mogu se objasniti prisutnošću elemenata u ugljenu koji reagiraju sa SO₂, od kojih je najznačajniji kalcij, zatim magnezij, natrij i dr. Također značajan utjecaj može imati prisutnost vrlo malih količina nekih elemenata koji djeluju katalitički u procesu vezanja sumpora u pepelu.

Sumarni podaci emisije iz bloka 1 prikazani su u tablici 3, zavisno od proizvodnje energije, kao prosjek po mjesecima i ukupni godišnji prosjek. Za promatrano razdoblje TE Plomin 1 je u prosjeku ostvarila godišnje iskorištenje raspoložive snage (93 MW) sa 4 572 sati uz prosječnu godišnju emisiju 28 679,4 tona

SO₂. Ta emisija odgovara količini utrošenog goriva od 210 878 tona.

Godišnja proizvodnja električne energije u termoelekttranama može se planirati¹ do 78% vrijednosti koja se dobije množenjem raspoložive snage na pragu brojem sati u godini umanjenim za broj sati planiranog remonta.

Prema ovom zahtjevu godišnja proizvodnja energije TE Plomin 1 se planira 500 GWh kod snage 93 MW, što odgovara 5 376 sati rada elektrane, s obzirom na to da pri sadašnjem stanju kotla nije moguće postići veću proizvodnju. Ovom planu odgovara godišnja potrošnja ugljena od 255 000 tona. Usporedbom prosječne ostvarene proizvodnje i planiranog rada prema bilanci elektroenergetskog stava za 1990. godinu može se zaključiti da je obuhvaćeno razdoblje dovoljno reprezentativno za procjenu sumpornog dioksida.

3.2. Procjena emisije SO₂ iz TE Plomin 2

Emisija sumpornog dioksida iz TE Plomin 2 određena je na osnovi podataka iz projektnog zadatka [L 8], idejnog projekta [L 9], kao i na osnovi izmjerenih vrijednosti emisije iz postojećeg bloka [L 2]. Prema idejnom projektu za TE Plomin 2 specifična potrošnja topline na pragu za maksimalno trajno opterećenje (MTO_t) od 210 MW iznosi 9 834 kJ/kWh, dok predviđeni stupanj djelovanja kotla kod toplinskog učina (MTO_k) od 554,7 MW iznosi 90,7%. Proračun potrebne količine goriva izračunat je na osnovi podataka o prosječnom ugljenu dobavljenom iz nekoliko ležišta raških ugljenokopa prema tablici 2. i iznosi kod MTO_t 82 t/h. Maksimalna potrošnja goriva kod MTO_k je 85 t/h, a pri preopterećenju kotla 90 t/h, [L 9]. U slučaju niže ogrjevne vrijednosti uređaji za loženje su predviđeni za aktiviranje rezervnih kapaciteta, a ako to ne bi zadovoljilo, kotao će smanjiti učin na veličinu koju dozvoljava momentano raspoloživi ugljen.

Satna količina emitiranog SO₂ izračunata je na osnovi potrošnje ugljena od 82 t/h uz preuzimanje poda-

¹ Prema »Samoupravni sporazum o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu«

Tablica 2. Prosječne značajke kamenog ugljena raških ugljenokopa

Uzorak br.	Nominalne značajke ugljena						Elementarna analiza ¹								
	Ukupna vlaga %	Gruba vlaga %	Hidrosk. vlaga %	Pepeo %	Gorivo dio %	Ogrjevn. vrijed. Hd (kJ/kg)	C %	H %	O + N %	S _{ukupni} %	S _{org.} %	S _{spiritni} %	S _{sulf.} %	Higrosk. vlaga %	Pepeo %
1	13,05	12,40	0,65	14,08	72,87	22 250	58,25	4,21	12,91	8,72	8,28	0,41	0,035	0,67	15,68
2	16,78	16,70	0,58	17,28	65,94	18 380	65,91	4,97	7,21	10,84	10,34	0,40	0,099	0,50	11,07
3	14,74	14,20	0,54	11,46	73,80	22 100	55,88	4,10	11,82	8,27	7,93	0,29	0,052	0,65	19,62
4	19,05	18,60	0,45	10,68	70,27	21 370	67,51	4,98	5,9	11,26	10,63	0,60	0,035	0,53	10,45
5	6,36	5,80	0,56	23,91	69,73	19 340	64,50	4,84	8,15	9,55	8,82	0,72	0,015	0,65	13,04
6	4,67	4,00	0,67	15,34	79,99	23 080									
7	6,66	5,80	0,53	10,58	83,09	26 280									
8	5,92	5,40	0,52	10,31	83,77	26 000									
9	0,89	5,20	0,69	12,66	81,45	24 500									
10	5,81	5,20	0,61	13,43	80,76	24 460									
	6,0	5,0	0,7	11 — 19	78,0	23 860	62,0	4,5	6,5	9,5	9,0	0,5	0,05	0,60	11 — 19

¹ Elementarna analiza uzoraka dobivena na bazi »suh na zraku«

Tablica 3. Prosječna emisija SO₂ TE Plomin 1 i procjena ukupne emisije TE Plomin 1 + 2 zavisno od planirane proizvodnje prema elektroenergetskoj bilanci

Izvor	God.	Jed.	Prosječna mjesečna emisija SO ₂												Ukup. god.	
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.		
TE Plomin 1	1980.	t	1343,4	1420,92	1792,07	102,00	—	1096,43	3133,30	4620,87	4230,55	3584,96	3399,04	2708,30	27431,8	
		kg/s	1,554	1,644	1,480	—	—	1,507	1,726	1,725	1,725	1,580	1,457	1,607	1,610	
	1981.	t	3183,48	2080,12	1675,92	—	2534,76	3680,02	3850,84	3357,02	3271,61	3733,60	3634,87	4047,49	35049,7	
		kg/s	1,519	1,670	1,605	—	1,725	1,468	1,475	1,494	1,514	1,507	1,558	1,643	1,547	
	1982.	t	3779,98	3003,01	3336,48	1251,06	—	—	—	—	—	—	—	837,21	2025,99	14233,76
		kg/s	1,562	1,511	1,519	1,565	—	—	—	—	—	—	—	1,490	1,513	1,530
	1983.	t	1493,00	2913,12	2691,30	2974,18	3020,15	3288,20	2172,05	2673,35	3838,32	2108,27	3285,89	4148,68	34606,56	
kg/s		1,620	1,592	1,614	1,619	1,509	1,492	1,531	1,473	1,480	1,55	1,840	1,653	1,577		
1984.	t	2947,39	3150,16	2292,55	2420,12	—	—	2643,84	3137,79	2365,58	1286,56	4464,88	111,79	24950,56		
	kg/s	1,764	1,585	1,360	1,383	—	—	1,530	1,452	1,579	1,752	1,722	1,291	1,567		
1985.	t	585,3	3096,72	3679,0	4386,81	—	3546,7	3242,2	3864,9	3626,3	3551,23	2722,44	3505,8	35804,8		
	kg/s	1,858	1,686	1,685	1,692	—	1,648	1,629	1,694	1,646	1,645	1,610	1,619	1,6603		
Prosje.	t	2221,75	2619,67	2577,80	1855,69	925,81	1935,22	2517,03	2944,75	2888,73	2377,43	3057,38	2758,00	28679,4		
	kg/s	1,646	1,614	1,544	1,565	1,617	1,528	1,578	1,567	1,570	1,608	1,613	1,554	1,584		
TE PLOMIN 2 (5500 h/god)	Projekt. veličine	t	5576,0	5576,0	5576,0	—	5576,0	5576,0	5576,0	5576,0	5576,0	5576,0	5576,0	5576,0	61336,0	
		kg/s	3,098	3,098	3,098	—	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	
TE Plomin 1 + 2	Procjena	t	7797,75	8195,67	8153,88	1855,69	6501,81	7511,22	8093,03	8520,75	8464,73	7953,43	8633,38	8334,0	90015,4	
		kg/s	4,744	4,712	4,642	1,565	4,715	4,626	4,676	4,665	4,668	4,706	4,711	44,652	4,4185	
Procjena emisije TE Plomin 1 + 2 prema bilanci elektroenergetskog sistema Hrvatske za 1990. godinu																
TE Plomin 1 (93 MW) _{prag}	Proizv.	GWh	0	51,5	50,2	36,8	47,9	44,6	52,9	53,1	27,5	28,2	49,7	49,0	491,4	
	SO ₂	t	0	3473,5	3385,88	2482,0	3230,75	3008,18	3567,99	3581,48	1854,82	1902,03	3352,16	3304,95	33143,74	
	SO ₂	kg/s	0	1,742	1,742	1,742	1,744	1,742	1,742	1,742	1,742	1,742	1,742	1,742	1,742	
TE Plomin 2 (196,9 MW) _{prag}	Proizv.	GWh	105	108,0	100,9	102,3	110,2	109,0	112,3	112,3	96,4	97,9	0	100,8	1155,0	
	SO ₂	t	5573,83	5734,16	5356,91	5432,36	5852,05	5790,74	5965,22	5965,22	5116,41	5201,29	0	5352,20	61340,4	
	SO ₂	kg/s	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	3,098	0	3,098	3,098	
Ukupna emisija	SO ₂	t	5573,83	9207,66	8742,79	7914,36	9082,80	8798,92	9533,21	9545,70	6971,23	7103,32	3352,16	8657,15	94484,13	
		kg/s	3,098	4,840	4,840	4,840	4,840	4,840	4,840	4,840	4,840	4,840	1,742	4,840	4,840	

taka o specifičnoj emisiji SO₂ za blok 1, uz emitirani sumpor S_E = 6,8% i iznosi 3,0977 kg/s.

Ukupna količina emisije TE Plomin II procijenjena je na osnovi 5 500 sati pogona godišnje, pri nominalnoj snazi od 210 MW, odnosno 196,9 MW na pragu, i prikazana je u tablici 3. Ukupna godišnja emisija TE Plomin 2 u toj varijanti iznosila bi 61 336 tona pri prosječnoj koncentraciji od 13 801 mg/Nm³ u suhim dimnim plinovima pri temperaturi 175 °C.

Prosječna emisija iz TE Plomin 1 + 2, zavisno od angažiranja u elektroenergetskom sistemu, prikazana

je u tablici 3. Ukupna emisija je dobivena superponiranjem prosječne emisije bloka 1 na izračunatu emisiju iz novog bloka od 3,0977 kg/s.

U drugoj varijanti emisija je izračunata prema planiranom angažmanu TE Plomin 1 + 2 u elektroenergetskom sistemu Hrvatske za 1990. godinu.

Ukupna emisija izračunata je analognim postupkom uz uvažavanje planiranog angažmana obiju elektrana u elektroenergetskom sistemu Hrvatske, s vrijednostima specifične emisije i ukupne planirane proizvodnje kako slijedi:

	Snaga			Rasp. god. %	Ukupna emisija kod MTO* kog SO ₂ /s	Spec. emisija kg SO ₂ /MWh
	Nominalna MW _e	Na pragu MW _e	Teh, minimum MW _e			
Blok 1	125	93	70	0,80	1,742	67,448
Blok 2	210	196,9	114	0,88	3,098	59,685

* MTO — maksimalno trajanje opterećenja

Proizvodnja obaju blokova iz tablice 3, na osnovi koje je izračunata emisija, uzeta je prema bilinci elektroenergetskog sistema Hrvatske za godinu 1990. (varijanta »D«) koja je izrađena prema najnepovoljnijoj hidrološkoj godini, tako da dobivena ukupna emisija predstavlja apsolutno teoretski maksimalnu količinu SO₂ koja bi mogla biti ukupno emitirana iz TE Pločin 1 + 2. Količina emisije izražena u kg/s računata je na pogonsko vrijeme kod maksimalnog trajnog opterećenja za pojedini blok.

4. IZBOR I ANALIZA MATEMATIČKOG MODELA

Primjenu matematičkog modela za proračun rasprostiranja onečišćivača atmosferom određuje niz faktora među kojima su najvažniji:

- raspoloživost meteoroloških podataka
- raspoloživost podataka o emisiji
- razvijenost terena okoline
- karakteristike izvora onečišćenja i polutanata
- prostorni obuhvat i karakteristike promatranog područja
- cilj analize
- raspoloživo elektroničko računalo.

Kad se govori o meteorološkim podacima, uobičajeno je razlikovati modele koji za proračun koriste satne vrijednosti meteoroloških parametara od onih koji koriste tablice kontigencije meteoroloških parametara. Osnovni meteorološki parametri za proračun rasprostiranja atmosferom je brzina vjetra, smjer vjetra, stabilnost atmosfere, visina sloja miješanja, temperatura i tlak zraka. Većina modela za proračun koristi parametre mjerene u prizemnom sloju atmosfere. Složeniji modeli koriste podatke sondažnog mjerenja do visine nekoliko tisuća metara (npr. COMPLEX/PFM), ponekad s više lokacija širom promatranog područja (npr. MESOPLUM model).

Ovisno o preciznosti procjene emisije primjenjuje se proračun s kontinuiranom godišnjom emisijom, sezonski ovisnom emisijom i satno promjenjivom emisijom.

Za ravni i blago razvijeni teren okoline primjenjuju se ravninski modeli. Za složenije orografske uvjete primjenjuju se modeli aproksimativnog proračuna utjecaja orografije ili modeli kompleksnih proračuna, ovisno o raspoloživosti meteoroloških podataka i cilja procjene.

Matematički modeli, odnosno računski programi za proračun rasprostiranja onečišćivača atmosferom u ovisnosti od prethodno navedenih faktora, zahtijevaju od 0,1 do 1 MB centralne memorije elektroničkog računala. Oni koji koriste satne meteorološke podatke i satne podatke emisije mogu se izvoditi samo na računalim velikih vanjskih memorija. Takvi programi koriste i do 15 ulazno — izlaznih kanala, od kojih nekoliko služi za komunikaciju s magnetskom trakom. Nerijetko autori programa daju vrlo precizne upute za računanje potrebnog vremena izvođenja programa i zauzeća vanjskih memorija, imajući na umu mogućnost zagušenja sistema i ekonomičnost primjene programa.

Prikaz osnovnih karakteristika modeli koji su razmatrani prilikom izbora modela za potrebe ovog rada dan je u tablici 4. Treba istaći da su navedeni modeli plod dugogodišnjih istraživanja u području modeliranja rasprostiranja onečišćivača atmosferom, te da predstavljaju najnovije spoznaje iz ovog područja, posebno modeli za kompleksni teren i mezotransport. Njihov razvoj sufinancirala je EPA (Američka agencija za zaštitu čovjekove okoline), a primjenjuje se jednako uspješno u Americi i Evropi. Do sada je Institut za elektroprivredu koristio modele CRSTER i CDMOC.

U nastavku dan je detaljniji opis modela koji su ušli u uži izbor i koji su podvrgnuti testiranju. Njihov izbor proizašao je iz faktora koji su razmatrani u prethodnom dijelu. Najpogodniji za primjenu pokazao se model COMPLEX/PFM.

4.1. Opis računskog modela COMPLEX/PFM

Osnovni cilj razvoja ovog modela agencije EPA bio je uključivanje teorije potencijalnog strujanja pri rješavanju problema kod predviđanja koncentracije polutanata na orografski razvijenom terenu. Meteorološki uvjeti koji najčešće izazivaju velike prizemne koncentracije polutanata su dvojaki:

- mala brzina vjetra i stabilna meteorološka situacija
- srednja ili velika brzina vjetra i neutralna ili slabo stabilna meteorološka situacija

Radi približavanja procjene prizemnih koncentracija realnim uvjetima u okolini bilo je potrebno uključiti strujanja koja se događaju u veoma stabilnim ili nestabilnim meteorološkim uvjetima, odnosno kada su neutralni ili slabo stabilni meteorološki uvjeti. Također, zbog istog razloga trebalo je u procjenu koncentracija uključiti koncentracije od više izvora za različite vremenske periode (1 sat, 24 sata, godina itd.).

Da bi se zadovoljili navedeni zahtjevi, izračunavanje potencijalnog strujanja, samog za sebe, trebalo je svesti na univerzalniji oblik. Pretpostavka da se oblik brda nalazi u obliku valjka zahtijevala je bolju aproksimaciju pojedinih obilježja terena.

Osnovni cilj druge faze dorade PFM računskog modela što ga je postavila EPA bio je da se izradi računski model koji mora zadovoljiti prije navedene zahtjeve. To je postignuto s računskim modelom COMPLEX/PFM. Izračunavanje prizemnih koncentracija ovim računskim modelom moguće je za različita obilježja terena u okolici i različite smjerove puhanja vjetra. Osnovni model EPA COMPLEX sadrži strukture za uključivanje više izvora zagađenja, višesatne simulacijske periode i statistiku uprosječivanja za odabrano vremensko razdoblje. Iz ovog modela također je uzet algoritam za proračun prizemne koncentracije polutanata za sudarne situacije (kontakt perjanice i terena) i jako konvektivne situacije.

COMPLEX/PFM računski model je modificirana verzija COMPLEX I / COMPLEX II računskih modela koji sadrže još PFM opcija, model je identičan COMPLEX I računskom modelu (uprosječivanje pre-

Tablica 4. Usporedba modela za proračun rasprostiranja onečišćivača atmosferom

Model	Meteorološki podaci	Izvori onečišćenja	Emisija u funkciji vremena	Disperzijski faktori	Transtor. tokom disperzije	Gravitac. SO ₂ u SO ₄ tokom transp.	Orografija	Dimno nadvišenje	Downwash	Profil brzine vjetrova s visinom	Izračunate koncentracije	
RAM	satni	točkasti i površinski	DA	urbano/vanurbano	DA	NE	NE	DA	Briggs	NE	DA	kratkotrajne dugotrajne
CRSTER	stani	točkasti (više na jednoj lokaciji)	DA	urbano/vanurbano	NE	NE	NE	DA	Briggs	DA	DA	kratkotrajne dugotrajne
CDMQC	— funkcija frekvencije (smjera vjetrova, brzine, stabil.) — prosječna visina sloja miješanja	točkasti i površinski	NE	urbano	NE	NE	NE	DA	Briggs	NE	DA	dugotrajne
LONGZ	— funkcija frekvencije (smjer, brzina, stab)	točkasti, površinski i zgrade	DA (sezonski)	urbano/vanurbano	DA	NE	NE	DA	Briggs	DA	DA	dugotrajne
SHORTZ	satni	točkasti, površinski i zgrade	DA	urbano/vanurbano	DA	DA	NE	DA	Briggs	DA	DA	kratkotrajne dugotrajne
TCM	— funkcija frekvencije (bez visine miješanja)	točkasti i površinski	DA (sezonski)	urbano/vanurbano	DA	NE	NE	NE	Briggs	NE	DA	kratkotrajne dugotrajne
VALLEY	— funkcija frekvencije ili satni podaci	točkasti	NE	urbano/vanurbano	NE	NE	NE	DA	Briggs	NE	DA	kratkotrajne dugotrajne
COMPLEX/PFM	satni satni tonažni	točkasti (više na jednoj lokaciji)	DA	vanurbano	DA	NE	NE	DA	Briggs	DA	DA	kratkotrajne dugotrajne
MEZOPLUM, MEZOPUF	satni satni sondažni širom regije	točkasti	DA	vanurbano/urbano	DA	DA	DA	DA	Briggs	DA	DA	kratkotrajne dugotrajne

RAM —

CRSTER — Single Source Model

CDMQC — Climatological Dispersion Model

ko sektora od 22,5° i Gaussovo vertikalno širenje bazirano na σ_y i σ_z i 4 klase stabilnosti atmosfere (od A do D). Ovaj verzije COMPLEX modela bazirane su na MPTR računskom modelu koji uključuje orografiju okoline u procjenu prizemnih koncentracija polutanata.

Osnovna obilježja COMPLEX modela su:

- period uprosječivanja duži od 1 sat
- satni meteorološki podaci
- uključivanje oblika terena u okolini (orografija okoline) kao funkcije stabilnosti atmosfere
- uključivanje postepenog nadvišenja ili konačnog nadvišenja ispuštenih polutanata
- uključivanje disperzije polutanata koja je izazvana održavanjem u atmosferi perjanice
- u uvjetima podignute perjanice koristi Pasquillovu metodu
- ulazna visina brzine vjetrova je visina anemometra
- ulazni profil vjetrova male snage su funkcija stabilnosti atmosfere
- prizemne koncentracije računa za 1 sat za različite periode uprosječivanja za svaki receptor od najviše 25 izvora
- podaci o prizemnim koncentracijama (satni ili za odabrani period uprosječivanja) raspoloživi su za svaki receptor
- u izlaznim podacima mogu se dobiti sljedeće informacije: satne, 3-satne, 8-satne i 24-satne kon-

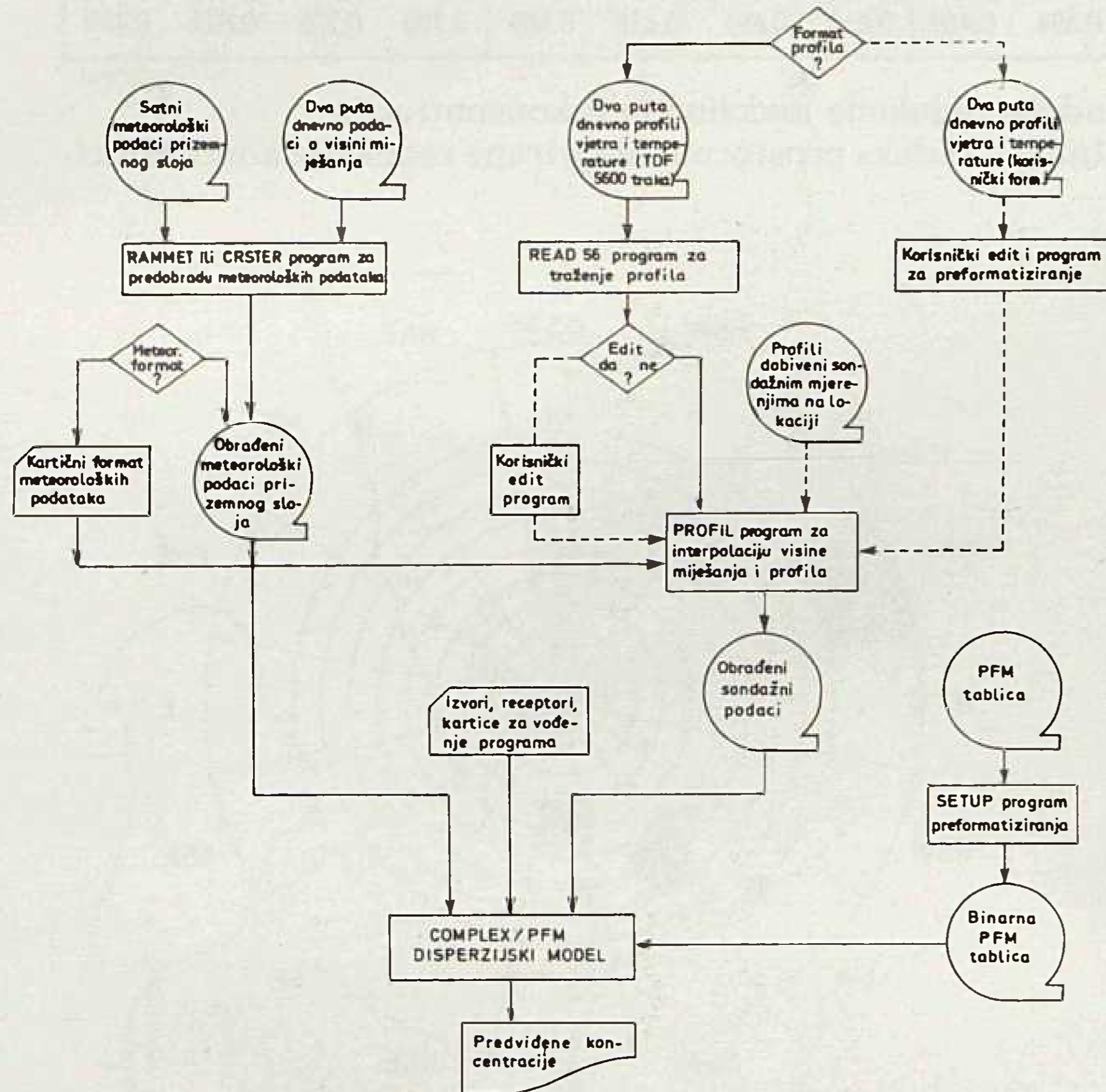
centracije polutanata ili koncentracije za odabrano vrijeme promatranja.

Nova obilježja ovog programa, koja su dodana uključivanjem PFM računskog modela, jesu:

- izračunavanje visine sloja miješanja korištenja podataka radiosondaže (profili vjetrova i temperatura) u dva dnevna termina motrenja
- izračunavanje visine perjanice na bazi satnih profila vjetrova i temperature dobivenih iz podataka radiosondaže
- procjena karakteristika strujanja vjetrova pomoću kritičkih analiza baziranih na podjeli aerodinamičnih linija (HC) i Froudeova broja (FR) na satne profile vjetrova i temperature
- mogućnost izbora COMPLEX I, COMPLEX ili PFM algoritma, baziranom na klasama stabilnosti atmosfere, FR, HC, te početnoj visini perjanice dobivenoj samo na bazi klasa stabilnosti atmosfere
- uključivanje realnih dimenzija perjanice i deformacija trajektorije na bazi teorije potencijalnog strujanja kada se primjenjuje PFM opcija
- računanje prosječnih godišnjih koncentracija i identificiranje kritičnog meteorološkog perioda koji proizvodi najveće očekivane koncentracije polutanata
- verzija PFM za kratkotrajno razdoblje za određivanje najgoreg slučaja zagađenja, odnosno za pro-

cjenu maksimalnih očekivanih koncentracija polutanata.

Shematski prikaz paketa COMPLEX/PFM računskih modela prikazan je na slici 1. Kao što se vidi iz sheme, potrebna su četiri tipa podataka za proračun disperzije COMPLEX/PFM računskim modelom, i to: meteorološki podaci, podaci o izvoru, podaci o receptoru i podaci za kontrolu programa.



Slika 1. COMPLEX / PFM sistem

5. IZBOR POTREBNE VISINE DIMNJAKA

Izgradnja visokog dimnjaka omogućuje da se polutanti koji dospiju u atmosferu rasprše na šire područje, ta da njihove koncentracije u prizemnom sloju budu unutar granica koje nemaju štetnog utjecaja na okolinu.

U dosadašnjoj praksi u našoj zemlji izbor visine dimnjaka vršio se pojednostavljenim proračunima. Uobičajen postupak zasnivao se na pretpostavkama neutralne stabilnosti atmosfere i brzine vjetrova pri kojoj su prizemne koncentracije najveće. Proračun visine dimnjaka baziran na ovim pretpostavkama, iako konzervativnim, nije omogućavao optimalan izbor visina dimnjaka niti garantirao zadovoljavanje postavljenih kriterija prizemnog zagađenja.

Potrebna visina dimnjaka za TE Plomin 1 i 2 utvrđena je računskom modelom COMPLEX/PFM na osnovi simulacije rada elektrane kroz dvogodišnje razdoblje s obuhvaćenim 531 danom u 1980. i 1981. godini. Pretpostavljene su visine dimnjaka 200, 250, 300, 340 i 370 metara.

Proračun 24-satnih prizemnih koncentracija SO₂ izvršen je za 320 receptora koji se nalaze na udaljenosti do 80 km od TE Plomin. Za sve razmatrane alternative može se konstatirati da se najveće prizemne koncentracije SO₂ pojavljuju do udaljenosti 5 km od elektrane, te da su najugroženiji smjerovi SSW,

WSW, S, N, NE i ENE. Utjecaj TE Plomin 1 i 2 za visine dimnjaka iznad 250 metara, na udaljenost preko 20 km, postaje manji od 10 µg/m³ promatraju li se prosječne godišnje prizemne koncentracije SO₂, odnosno manji od 40 µg/m³ promatraju li se 95 — percentilne prizemne koncentracije SO₂.

Za jednostavniju usporedbu pojedinih alternativa definira su dva parametra:

- a) indeks redukcije maksimalnih koncentracija na promatranom području (MCR-indeks, odn. Maximum Concentration Reduction Index)

$$MCR = \frac{C_{o \max} - C_{k \max}}{C_{o \max}}$$

C_{o max} — maksimalna procijenjena koncentracija za referentno stanje

C_{k max} — maksimalna procijenjena koncentracija za k — tu alternativu koja se uspoređuje s referentom alternativom

MCR indeks kvantificira varijacije maksimalne prizemne koncentracije ne uzimajući u obzir točku u kojoj se pojavljuje maksimum.

- b) indeks prostorno integrirane redukcije koncentracije (TICR — indeks, odn. Territory — Integrated Concentration Reduction Index)

$$\sum_i \sum_j \left[\frac{C_o(x_i, y_j) - C_k(x_i, y_j)}{C_{o \max}} \right]$$

$$TICR = \frac{\sum_i \sum_j \left[\frac{C_o(x_i, y_j) - C_k(x_i, y_j)}{C_{o \max}} \right]}{\sum_i \sum_j \left[\frac{C_o(x_i, y_j)}{C_{o \max}} \right]}$$

$$\sum_i \sum_j \left[\frac{C_o(x_i, y_j)}{C_{o \max}} \right]$$

C_o(x_i, y_j) — procijenjena prizemna koncentracija za referentno stanje u točki mreže receptora (x_i, y_j)

C_k(X_i, Y_j) — procijenjena prizemna koncentracija za k-tu alternativu u točki mreže receptora (X_i, Y_j)

TICR — indeks ima karakteristiku usporedbe procijenjenih koncentracija u svim točkama receptora.

Utjecaj prizemnih koncentracija SO₂ na okolinu iz TE Plomin 1 i 2 s visinom dimnjaka od 200 m bio bi veći od utjecaja koji danas ima TE Plomin 1. Već s visinom dimnjaka od 250 m utjecaj na okolinu TE Plomin 1 i 2 bio bi manji od utjecaja TE Plomin 1 u današnjim uvjetima, gdje je visina dimnjaka 130 m. To pokazuju TICR indeksi u tablici 5. S visinom dimnjaka od 340 m postiglo bi se poboljšanje oko 55% u odnosu na današnje stanje. Daljnje povećanje visine dimnjaka smanjuje prizemne koncentracije SO₂ oko 2,5%, što je dvostruko manje nego pri prijelazu 310 na 340 m.

Za konačan izbor visine dimnjaka potrebno je uzeti u obzir i doprinos ostalih izvora onečišćenja, izuzevši TE Plomin 1. Proračun je vršen matematičkim modelom LONGZ za isto vremensko razdoblje uz uvažavanje orografskih karakteristika promatranog područja. Prizemne-24 satne koncentracije SO₂ u okolici TE Plomin 1 i 2 za visinu dimnjaka 340 m prikazane su u tablici 6.

Tablica 5. Indeksi redukcije prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin

	Visina dimnjaka (m)	Referentno stanje TE Plomin 1								Referentno stanje TE Plomin 1 i 2 (vis. dim. = 200 m)							
		MCR-indeks*				TICR-indeks**				MCR-indeks				TICR-indeks			
		C _{max}	C ₉₈	C ₉₅	C _{sred}	C _{max}	C ₉₈	C ₉₅	C _{sred}	C _{max}	C ₉₈	C ₉₅	C _{sred}	C _{max}	C ₉₈	C ₉₅	C _{sred}
TE Plomin 1 i 2	200	-0.866	-0.996	-0.559	-0.348	-0.203	-0.080	-0.009	-0.024	0	0	0	0	0	0	0	0
TE Plomin 1 i 2	250	-0.500	-0.308	-0.356	-0.194	0.168	0.284	0.342	0.210	0.196	0.345	0.130	0.115	0.309	0.338	0.348	0.229
TE Plomin 1 i 2	300	-0.162	-0.065	0.162	0.213	0.424	0.505	0.556	0.360	0.377	0.466	0.462	0.416	0.521	0.542	0.560	0.375
TE Plomin 1 i 2	340	-0.059	-0.005	0.246	0.394	0.565	0.612	0.647	0.431	0.432	0.497	0.516	0.550	0.639	0.641	0.651	0.444
TE Plomin 1 i 2	370	0.310	0.383	0.436	0.542	0.651	0.677	0.694	0.469	0.630	0.691	0.638	0.660	0.709	0.701	0.697	0.469

* MCR-indeks, (Maximum Concentration Reduction Index), Indeks redukcije maksimalnih koncentracija

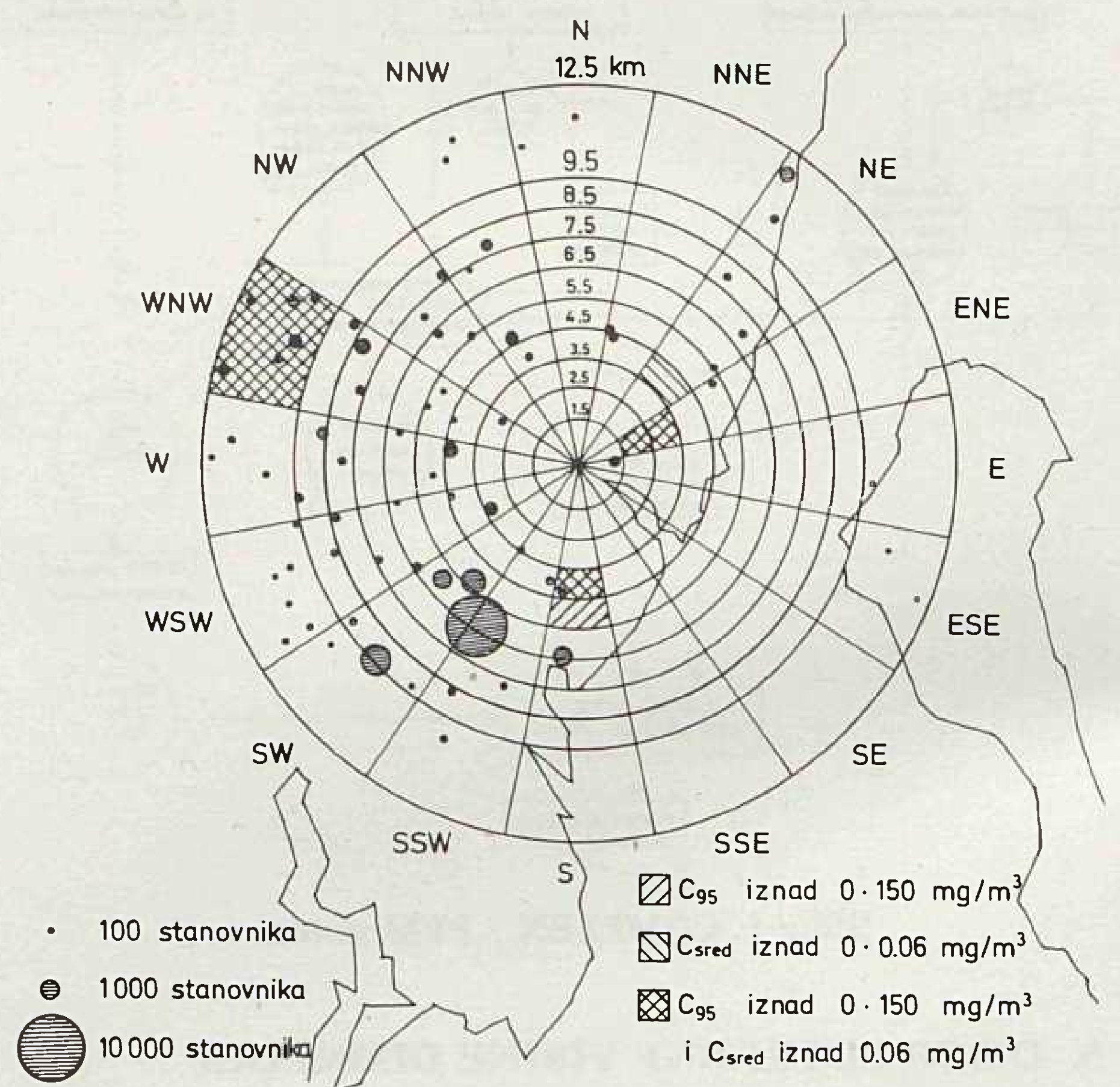
** TICR-indeks, (Territory-Integrated Concentration Reduction Index), Indeks prostorno-integrirane redukcije koncentracije

Statistika prekoračenja (broj točaka u kojima je utvrđeno prekoračenje graničnih vrijednosti imisije) u uvjetima zajedničkih utjecaja ostalih izvora i TE Plomin 1 i 2, promatrano u 320 receptora na udaljenosti od 80 km od elektrane, dana je u tablici 7.

Podaci pokazuju da se analiziranim alternativama ne mogu izbjeći prekoračenja definiranih kriterija.

Prethodna analiza pokazala je da je opravdana visina dimnjaka 340 m. S tom visinom dolazi do prekoračenja strogih graničnih vrijednosti zagađenja u 6 točaka proračuna koje se nalaze na 3 izdvojena lokaliteta. Uzme li se u obzir naseljenost u tim područjima viših koncentracija, može se konstatirati da je visina dimnjaka od 340 zadovoljavajuće rješenje za TE Plomin 1 i 2. Na lokalitetima gdje su se pojavila prekoračenja potrebno je uspostaviti dinamički monitoring prizemnih koncentracija zagađenja, te u slučaju prekoračenja reducirati emisiju smanjenjem snage elektrane ili zamjenom raškog ugljena s drugim, koji ima manji postotak sumpora.

Na slici 2. shematski su prikazana područja prekoračenja strogih graničnih vrijednosti zagađenja za konačnu varijantu visine dimnjaka od 340 m.



Slika 2. Prekoračenje graničnih vrijednosti imisije SO₂ u okolini TE Plomin 1 i 2 (visina dimnjaka = 340 m)

6. TESTIRANJE RAČUNSKIH MODELA

Testiranje računskih modela provedeno je radi utvrđivanja njihove reprezentativnosti u specifičnim uvjetima lokacije TE Plomin. Sa stanovništva modeliranja rasprostiranja onečišćivača atmosferom, naj-

izraženije obilježje lokacije TE Plomin odnosi se na vrlo složenu orografiju terena bliže okolice. Iz tih razloga izvršena je provjera potencijalnih reprezentativnih matematičkih modela na postojećem objektu (TE Plomin 1) stavljajući u odnos izračunate i izmjerene vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ i

Tablica 7. Statistika prekoračenja graničnih vrijednosti imisije SO₂ promatrano u 320 receptorskih točaka okoline TE Plomin do udaljenosti 80 km

	Visina dimnjaka (m)	Prekoračenje SGVI _k ili SGVI _d	Prekoračenje SGVI _k	Prekoračenje SGVI _d	Prekoračenje SGVI _d i SGVI _k	Udaljenost posljednjeg prekoračenja (km)
TE Plomin 1	130	50	48	38	36	10
TE Plomin 1 i 2	200	39	36	27	24	15
TE Plomin 1 i 2	250	17	14	11	9	15
TE Plomin 1 i 2	300	10	7	8	6	10
TE Plomin 1 i 2	340	6	6	5	4	10
TE Plomin 1 i 2	370	2	2	1	1	3

SGVI_k = 150 μg/m³ (24-satna vrijednost)

SGVI_d = 60 μg/m³

proračunom faktora korelacije između tih vrijednosti na pojedinim lokacijama u okolini TE Plomin 1. Testiranjem računskih modela provedena je kalibracija modela.

Pri testiranju računskih modela korišteni su svi raspoloživi meteorološki podaci, kao i svi podaci mjerenja prizemnih koncentracija SO₂ u okolici TE Plomin 1. Pretpostavljeno je da su raspoloživi meteorološki podaci dovoljno reprezentativni, te da su mjerenja prizemnih koncentracija SO₂ obavljena korektno uz primjenu adekvatnih metoda.

Potrebno je istaknuti da su mogućnosti raspoloživih računskih modela nadilazile dostatnost raspoloživih ulaznih podataka od kojih su u potpunosti bili dovoljni podaci o tehnološkim karakteristikama ispuštanja onečišćivača i emisiji onečišćivača (u ovom slučaju SO₂). Navedena konstatacija upućuje da će s osnove ulaznih podataka konačnu ocjenu o ugroženosti okolice biti potrebno donositi s određenom dozom konzervativnosti. To znači da se za sve slučajeve u kojima se nije raspolagalo dovoljnom količinom ulaznih informacija za realnu procjenu procjena vršila s konzervativnim vrijednostima ulaznih informacija koje daju nepovoljnije (više) vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂.

Testiranje računskih modela obavljeno je na osnovi sljedeća tri skupa podataka mjerenja prizemnih koncentracija SO₂ u okolini lokacije TE Plomin:

- Kontinuiranog mjerenja 24-satnih prizemnih koncentracija SO₂ u 1980. i 1981. godini na 4 lokacije,
- 0,5-satne prizemnih koncentracija SO₂ koje su dobivene kontinuiranim mjerenjem u 1981. godini na lokacijama Labin D. Z., Ripenda Vrb., Knapići, Nedešćina.
- satnih vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ što su dobivene kontinuiranim 8-dnevnim mjerenjima s mobilnom stanicom u 1985. i 1986. godini na sljedećim lokacijama: Pazin, Poreč, Pula, Rabac, Rovinj, Ripenda K., Fažana, Učka, Brioni, Rijeka, Cres (Vransko jezero).

6.1. Kontinuirano mjerenje 24-satnih prizemnih koncentracija SO₂ u 1980. i 1981. godini

Budući da se usvojeni kriteriji za ocjenu stupnja onečišćenja sumpornim dioksidom zasnivaju na 24-satnom uzorkovanju, podudarnosti mjerenih i izračunatih 24-satnih koncentracija SO₂ dano je najveće značenje pri ocjeni reprezentativnih računskih modela.

Povoljna okolnost je što su upravo iz ovog perioda meteorološki podaci i podaci mjerenja prizemnih koncentracija SO₂ pokrivali najduže vremensko razdoblje.

Iz skupa meteoroloških podataka izdvojeni su samo oni dani u kojima su bili raspoloživi kompletni meteorološki podaci. Proračun 24-satnih prizemnih koncentracija SO₂ vršen je usrednjavanjem izračunatih njihovih satnih vrijednosti.

Testiranje računskih modela provedeno je za dane preklapanja rada TE Plomin i raspoloživih meteoroloških podataka.

Emisija SO₂ i tehnološke karakteristike ispuštanja utvrđene su prema angažiranju TE Plomin 1 u elektroenergetskom sistemu SR Hrvatske u toku 1980. i 1981. godine.

Za eksponent profila brzine vjetra (n) odabrane su vrijednosti koje se najčešće koriste u analizi:

Stabilnost atmosfere	A	B	C	D	E	F
n	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,3

U drugoj varijanti korišten je za sve stabilnosti atmosfere eksponent profila brzine vjetra $n = 0,876$ koji je proizašao kao rezultat analize odnosa brzine vjetra na visini 130 i 350 metara na lokaciji TE Plomin.

Računski model COMPLEX/PFM moguće je izvoditi **sa** ili **bez** modela potencijalnog strujanja. Korištenja modela potencijalnog strujanja zahtijeva raspoloživost meteoroloških podataka sondažnog mjerenja. Bez modela potencijalnog strujanja moguće je ovaj računski model izvoditi u 5 različitih opcija koje se razlikuju u pogledu modeliranja orografije. Varijante 1 i 2 iz tablice 8. izvedene su uz opciju 1, dok su varijante 3 i 4 izvedene uz opciju 3 ovog modela [L 11]. Varijante 1 i 2 razlikuju se prema primjenjenoj korekciji brzine vjetra s visinom na način kako je prethodno opisano. Ista je razlika između varijante 3 i 4.

Za sve varijante računskog modela COMPLEX/PFM, na osnovi parametarske analize, postavljena je pretpostavka da se os dimne perjanice može približiti tlu ne više od $L_{\min} = 75$ m. Također su utvrđeni faktori približenja dimne perjanice tlu u ovisnosti o stabilnosti atmosfere. Za varijante stabilnosti atmosfere A, B, C i D korišten je faktor 0,5, dok je za stabilnost atmosfere E i F korišten faktor 0,0.

Tablica 8. Koeficijenti korelacije izračunatih i izmjerenih koncentracija SO₂ u 1980. i 1981. godini za 4 mjerna mjesta

Varijanta	Model	1980. god.			1981. god.			1980. i 1981. god.			r
		$r(C)$	$r(C_{95})$	$r(C_{\max})$	$r(C)$	$r(C_{95})$	$r(C_{\max})$	$r(C)$	$r(C_{95})$	$r(C_{\max})$	
1.	COMPLEX	0.827	0.893	0.731	0.986	0.994	0.939	0.892	0.914	0.762	0.857
2.	COMPLEX	0.837	0.866	0.969	0.971	0.994	0.946	0.827	0.953	0.890	0.933
3.	COMPLEX	0.760	0.906	0.879	0.974	0.983	0.905	0.839	0.931	0.891	0.929
4.	COMPLEX	0.804	0.921	0.902	0.961	0.986	0.903	0.860	0.945	0.892	0.928
5.	COMPLEX/PFM	—	—	—	0.988	0.993	0.954	—	—	—	0.978

Računski model COMPLEX/PFM s potencijalnim strujanjem (varijanta 5) izveden je samo za 1981. godinu, jer su za tu godinu bili raspoloživi meteorološki podaci sondažnog mjerenja. Ovdje treba istaknuti da su za provođenje proračuna modelom potencijalnog strujanja potrebni podaci sondažnih mjerenja do visine 3 000 metara, odnosno da su nužni meteorološki parametri sve do efektivne visine dimnjaka ili, u najboljem slučaju, do visine okolnih prepreka koje na lokaciji TE Plomin prelazi 300 m. Sondažna mjerenja na lokaciji TE Plomin, kako je već rečeno, vršena su do visine 1 000 metara, a najčešće do visine 500 metara.

Računski model COMPLEX/PFM daje vrlo dobre rezultate. Na osnovi rezultata utvrđeni su omjeri izračunatih i izmjerenih prizemnih koncentracija SO_2 i izračunati koeficijenti korelacije. Rezultati su pokazali da se omjeri relativno malo razlikuju uspoređujući se 1980. i 1981. godina. Srednja vrijednost omjera za varijantu 2 iznosi 0,996 sa standardnom devijacijom 0,719, što govori da se oko 82% omjera kreće unutar faktora 2. Faktor odnosa 2 smatra se prihvatljivim kada se govori o modeliranju disperzije polutanata. Ova konstatacija naročito vrijedi ako se radi o modeliranju orografski razvijenog terena kao što je slučaj na lokaciji TE Plomin. Nadalje, rezultati upućuju na konstataciju da je procjena preciznija za kratkotrajne visoke koncentracije. Srednje prizemne koncentracije procjenjene su u prosjeku 50% niže od izmjerenih, ali se vidi da za udaljenosti veće od nekoliko kilometara (lokacija Ripenda i Labin) točnost procjene znatno raste.

U tablici 8. dani su koeficijenti korelacije izmjerenih i izračunatih vrijednosti prizemnih koncentracija SO_2 dobivenih različitim matematičkim modelima i međusobno komparirani. Treba istaći da se ovako visoki koeficijenti korelacije u modeliranju disperzije malokad dostižu. Promatra li se 1980. i 1981. godina, najveći koeficijent korelacije dobiva se varijantom 2 COMPLEX/PFM računskog modela. Za ovu varijantu dobiven je i najpovoljniji odnos izračunatih i izmjerenih vrijednosti prizemnih koncentracija SO_2 , pa je zbog toga proračun rasprostiranja polutanata ispuštenih iz TE Plomin 2 proveden s ovom varijantom COMPLEX/PFM računskog modela.

Važno je napomenuti da je u uvjetima analize samo jedne godine najbolje rezultate dala varijanta s pri-

mjenom modela potencijalnog strujanja (varijanta 5). To upućuje na opravdanost primjene složenih računskih modela koji zahtijevaju znatno više ulaznih meteoroloških podataka. Poboljšanje u odnosu na ostale varijante proizašlo je iz primjene podataka sondažnog mjerenja koje je vršeno samo mjesec dana. Ovu varijantu COMPLEX/PFM računskog modela u daljnjem proračunu nije bilo razložno primjenjivati jer su i ostale jednostavnije opcije za uvjete lokacije TE Plomin dale više nego zadovoljavajuće rezultate.

Konačno, može se zaključiti da je računski model COMPLEX/PFM pogodan za primjenu na lokaciji TE Plomin jer omogućava procjenu prizemnih koncentracija SO_2 uz visoke koeficijente korelacije i zadovoljavajuće odnose izmjerenih i izračunatih vrijednosti. Posebno je precizan u području koncentracija visokih percentila. U pogledu prosječnih godišnjih prizemnih koncentracija, koje također dobro koreliraju s izmjerenim koncentracijama, potrebno je uzeti u obzir da je računski model pri testiranju dao niže vrijednosti na udaljenostima manjim od nekoliko kilometara, što znači u najužoj okolini TE Plomin 1. Ovaj nedostatak bit će u potpunosti eliminiran izgradnjom visokog dimnjaka na koji će se uz TE Plomin 2 priključiti i TE Plomin 1.

6.2. 1/2 satne prizemne koncentracije SO_2

Pored analize 24-satnih prizemnih koncentracija SO_2 , za ocjenu ugroženosti okolice TE Plomin napravljena je i dodatna provjera računskog modela za određeni broj najviših 1-satnih, 3-satnih i 8-satnih prizemnih koncentracija. S tim u vezi testiran je računski model COMPLEX/PFM na epizodnim mjerenjima polusatnih prizemnih koncentracija SO_2 u 1981. godini. Mjerenje polusatnih vrijednosti prizemnih koncentracija SO_2 izvršeno je korištenjem instrumenata s mogućnosti mjerenja do $2\,650\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Analizom izmjerenih koncentracija uočava se da je u toku većeg broja sati došlo do prekoračenja maksimalnih vrijednosti. Navedena konstatacija ne omogućava sasvim egzaktnu komparaciju izračunatih i izmjerenih vrijednosti prizemnih koncentracija SO_2 .

U tablici 9. dan je prikaz deset najvećih izmjerenih i izračunatih satnih vrijednosti prizemnih koncentracija SO_2 . Izmjerene satne vrijednosti izračunavate su

Tablica 9. Deset najvećih izmjerenih i izračunatih prizemnih satnih koncentracija SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Labin D.Z.			Ripenda V.			Knapići			Nedeščina		
	izmjereno	izračunato		izmjereno	izračunato		izmjereno	izračunato		izmjereno	izračunato	
		var. 1	var. 2		var. 1	var. 2		var. 1	var. 2		var. 1	var. 2
1	> 5 300	3 357	3 713	> 3 703	5 984	7 203	> 5 300	6 946	8 558	> 2 221	4 878	6 108
2	4 081	3 356	3 712	3 896	5 981	7 198	> 5 300	6 446	8 554	> 1 984	4 875	6 059
3	3 947	3 352	3 712	> 3 100	5 974	7 197	> 5 300	6 941	8 551	> 1 786	3 489	5 812
4	3 551	3 347	3 712	2 862	5 964	7 196	> 5 300	6 931	8 550	> 1 729	3 270	4 882
5	3 499	3 347	3 712	> 2 650	5 964	7 196	> 5 300	6 595	8 477	> 1 590	3 150	4 878
6	3 498	3 347	3 712	> 2 650	5 964	7 196	> 5 300	6 590	7 786	> 1 555	3 000	4 875
7	3 497	3 345	3 712	> 2 650	5 961	7 195	> 5 300	6 560	7 180	> 915	2 245	4 564
8	3 365	3 341	3 711	> 2 650	5 954	7 195	> 5 300	6 562	7 180	813	2 057	4 395
9	3 352	3 339	3 711	> 2 650	5 950	7 195	> 5 300	5 524	6 968	808	814	836
10	3 260	3 333	3 711	> 2 650	5 938	7 191	> 5 300	5 520	6 955	680	306	560

usrednjavanjem izmjerenih polusatnih vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂. Iz tablice 9. vidi se da računski model COMPLEX/PFM daje vrijednosti vrlo bliske izmjerenim, i to u obadvije razmatrane varijante ovog modela, pri čemu varijanta 2, koja je odabrana za analizu zagađenja okolice TE Plomin sa SO₂, daje nešto više vrijednosti.

Da bi se utvrdili dometi računskog modela COMPLEX/PFM u primjeni potencijalnog strujanja i uopće mogući dometi u pogledu realnosti procjene prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin, proveden je proračun samo za period u kojem se raspolagala podacima sondažnog mjerenja.

6.3. Satne vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ dobivene kontinuiranim mjerenjem s pokretnim ekološkim laboratorijem

Iz podataka mjerenja izvršenih na 10 lokacija na području Istre i Kvarnerskog zaljeva u 1985. godini izdvojene su epizode u kojima je utvrđen doprinos TE Plomin 1 na prizemne koncentracije SO₂ na lokacijama mjerenja. Značajan doprinos TE Plomin 1 prizemnim koncentracijama SO₂ utvrđen je na tri lokacije: Rabac, Ripenda Kras, Pazin.

Meteorološki podaci iz navedenih epizoda bili su raspoloživi s lokacija mjerenja prizemnih koncentracija i s lokacije TE Plomin. Na lokaciji TE Plomin brzina i smjer vjetera mjereni su na visini 50 m koja nije dovoljno reprezentativna za analizu širih razmjera. U tom smislu treba prihvatiti rezultate čiji se komentar daje u nastavku.

Za lokaciju Rabac nisu dobiveni zadovoljavajući rezultati. To je uglavnom zato što su se smjerovi i brzine vjetera u Rapcu i TE Plomin 1 znatno razlikovali. Primijećeno je obstrujavanje zračnih masa oko orografske prepreke polukuglastog oblika između TE Plomin i Rapca. Raspoloživi meteorološki podaci nisu bili dovoljni za simulaciju rasprostiranja s modelom potencijalnog strujanja koji je razvijen upravo za ovakve slučajeve. Slično kao i u Rapcu, zbog zakretanja zračnih strujanja u blizini Ripenda, rezultati proračuna nisu bili usporedivi s izmjerenim rezultatima sve dok se nije izvršila odgovarajuća korelacija smjera vjetera. Vjetrovi iz utjecajnog smjera strujanja iz raspona 45° svedeni su korekcijom na raspon 10° uz uvažavanje fluktuacije smjera vjetera od + 5°.

Za lokaciju Pazin dobivena je relativno najbolja procjena prizemnih koncentracija SO₂. Rezultati prethodnih proračuna pokazali su da je za simuliranje kratkih epizoda nužno raspolagati reprezentativnim meteorološkim podacima i da je potrebno primijeniti računске modele koji dinamički opisuju rasprostranje polutanata u atmosferi okoline.

7. REZULTATI PRORAČUNA IMISIJSKIH VRIJEDNOSTI PRIZEMNIH KONCENTRACIJA SO₂ U OKOLINI TE PLOMIN 1 I 2

Proračunom je pokazano za visinu dimnjaka od 340 m, da se može očekivati prekoračenje graničnih vri-

jednosti prizemnih koncentracija SO₂ na 3 lokaliteta. Prekoračenja se pojavljuju u smjeru ENE na udaljenosti 2–3 km, smjeru S na udaljenosti 4–5 km i u smjeru WNW na udaljenosti 10 km od TE Plomin 1 i 2. Zajednička karakteristika svih lokacija prekoračenja je da se nalaze na elevaciji većoj od visine dimnjaka.

Komparirani su rezultati proračuna prizemnih koncentracija SO₂ s podacima o naseljenosti u okolini TE Plomin. Najviše naselje do udaljenosti 10 km od TE Plomin je Labin sa 8 530 stanovnika (1981), a nalazi se na udaljenosti 6,5 km u smjeru SSW. Unutar kruga radijusa 6,5 km, koji se može smatrati zonom najvećeg utjecaja, živi 5 100 stanovnika. Unutar zona u kojima je utvrđeno prekoračenje strogih graničnih vrijednosti zagađenja sa SO₂, koje se javlja kao posljedica rada TE Plomin 1 i 2, živjelo je, prema popisu stanovništva 1981, 1 800 stanovnika.

Promatrajući utjecaj visine dimnjaka od 300, 340 i 370 m, najviše prizemne koncentracije javljaju se na udaljenosti 2–4 km od TE Plomin u smjerovima NE, ENE i E (obronci Učke). U ovom području nema naselja. Iz podataka se može vidjeti da nema značajnijih promjena najvećih vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ s promjenom visine dimnjaka.

8. KOMPARACIJA DOBIVENIH REZULTATA S PREPORUKAMA I OZAKONJENIM NORMAMA

Da bi se dobila objektivna slika problema zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom na području utjecaja TE Plomin na okolinu, potrebno je dobivene rezultate proračuna prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin usporediti s preporukama i zakonjenim normama.

8.1. Regulativa SFRJ

U regulativi SFRJ, za odabranu varijantu s dimnjakom 340 m, stroga granična vrijednost zagađenja dugotrajna (60 µg/m³) premašena je u šest točaka analize kako slijedi:

Smjer	Udaljenost (km)	Veličina prekoračenja (µg/m ³)
NE	4	7
ENE	2	50
ENE	3	17
S	4	22
WNW	10	4
ENE	30	14

Podaci u prednjoj tablici odnose se na ukupan fond zagađenja sa SO₂ na promatranim lokacijama. Prekoračenja strogih graničnih vrijednosti zagađenja kratkotrajnih (150 µg/m³) za istu visinu dimnjaka javljaju se u pet točaka proračuna kako slijedi:

Smjer	Udaljenost (km)	Veličina prekoračenja ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ENE	2	417
ENE	3	202
S	4	130
S	5	16
WNW	10	77

Ove točke mogu se grupirati u tri lokaliteta u bližoj okolici TE Plomin, dok se kod visine dimnjaka 370 m točke prekoračenja svode na jedan lokalitet. Rezultati proračuna pokazuju da, uz grubo promatranje propisa, ni jedna analizirana varijanta visine dimnjaka ne zadovoljava postavljenim uvjetima.

9. ANALIZA OSJETLJIVOSTI

Analiza osjetljivosti provedena je radi utvrđivanja osjetljivosti pojedinih rješenja na polazne pretpostavke i ulazne podatke proračuna. Provedena je do udaljenosti 10 km od TE Plomin za varijantu s visinom dimnjaka od 340 m. Analiza osjetljivosti provedena je za sljedeće situacije:

- pretpostavljena visina miješanja 1 000 m za stabilnost atmosfere A, B, C i D po Pasquillovoj klasifikaciji — razlog ove pretpostavke su rezultati kontinuiranih mjerenja na 11 lokacija, koji su pokazali da visina sloja miješanja za neke meteorološke situacije odstupa od vrijednosti korištenih u proračunu.
- pretpostavljeno je angažiranje TE u elektroenergetskom sistemu od 8 760 sati i potpuno iskorištenje njezine snage — razlog pretpostavke je usporedivost rezultata ovih nerealnih uvjeta pogona s prethodnim studijama analiza utjecaja na okolinu koji su uzimali ovu pretpostavku.
- pretpostavljena je emisija SO_2 od 3,098 kg/s (za TE Plomin 2 kod potpunog iskorištenja instalirane snage) i izlazna brzina dimnih plinova od 14 m/s — variranjem emisije želio se prikazati utjecaj TE Plomin 2 kada iz bilo kojeg razloga ne bude radila TE Plomin 1.

Usporedba između pojedinih varijanti prikazana je preko MCR i TICR indeksa u tablici 10.

Slučaj a) je gotovo identičan osnovnoj varijanti proračuna. Slučaj b) daje veći utjecaj na okolicu, što se i može očekivati, jer je emisija povećana približno 30%. U slučaju c) slijedi konstatacija da redukcija utjecaja TE Plomin na okolicu nije proporcionalna redukciji snage emisije. Prekoračenja 24-satnih prizemnih koncentracija SO_2 za sve varijante (po broju točaka prekoračenja) izgleda ovako: referentna varijanta 6, varijanta a) 6, b) 13, c) 4 točke. Lokaliteti prekoračenja u svim varijantama ostaju nepromijenjeni.

ZAKLJUČAK

Cilj procjene prizemnih koncentracija SO_2 u okolici TE Plomin 1 i 2 bio je utvrđivanje lokacija dinamičkog monitoringa. Testiranje korištenog računskog modela COMPLEX/PFM pokazalo je da je taj model pogodan za primjenu na lokaciji TE Plomin jer daje visoke koeficijente korelacije i zadovoljavajuće odnose izmjerenih i izračunatih vrijednosti prizemnih koncentracija SO_2 . Procjena emisije SO_2 iz TE Plomin 1 napravljena je na bazi njezina angažiranja u elektroenergetskom sistemu u proteklih pet godina i na bazi rezultata mjerenja sadržaja SO_2 u dimnim plinovima. Procjena emisije SO_2 iz TE Plomin 2 napravljena je na osnovi podataka iz investicijsko-tehničke dokumentacije. Pozadinske koncentracije SO_2 u području utjecaja TE Plomin uzete su iz studije »Postojeće stanje zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom u široj okolini TE Plomin«. Proračun 24-satnih prizemnih koncentracija SO_2 izvršen je za 320 receptora koji se nalaze unutar radijusa 80 km od TE Plomin. Orografske karakteristike obuhvaćene su također do udaljenosti 80 km od TE Plomin.

Iz rezultata proračuna može se zaključiti da se najveće prizemne koncentracije SO_2 pojavljuju do udaljenosti 5 km od termoelektrane Plomin, te da su najugroženiji smjerovi SSW, WSW, S, N, NE i ENE. Utjecaj TE Plomin 1 i 2 za visine dimnjaka iznad 250 m, na udaljenosti preko 20 km, postaje manji od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promatraju li se prosječne godišnje prizemne koncentracije SO_2 , odnosno manji od $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promatraju li se 95-percentilne prizemne koncentracije SO_2 . S visinom dimnjaka od 340 m za Plomin 1 i 2 stiglo bi se poboljšanje oko 55% u odnosu na današ-

Tablica 10. Indeksi redukcije koncentracija SO_2 u okolici TE Plomin za različite varijante polaznih podataka proračuna (Referentna varijanta: TE Plomin 1 i 2, emisija = 4840 g/sek, visina dimnjaka 340 m, vrijeme rada = 5500 sati/god)

	MCR indeks				TICR indeks			
	C_{max}	C_{98}	C_{95}	\bar{C}	C_{max}	C_{98}	C_{95}	\bar{C}
Varijanta 1 ($H_{\text{mix}} = 1000$ m za A, B, C i D stabilnosti)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.094	-0.054	-0.091	-0.036
Varijanta 2 vr. rada = 8760 h/god	0.000	-0.406	-0.511	-0.596	0.000	-0.238	-0.355	-0.583
Varijanta 3 samo TE Plomin 2	0.475	0.434	0.443	0.351	0.317	0.220	0.120	0.070

MCR — indeks redukcije maksimalnih koncentracija

TICR — indeks prostorno integrirane redukcije koncentracija

nje stanje zagađenja atmosfere u okolici Plomina. Analizom je pokazano da je razumno odabrati visinu dimnjaka od 340 metara. Također je analiza pokazala da se ni jednom razmatranom alternativom ne mogu izbjeći prekoračenja definiranih kriterija.

LITERATURA

- [1] RHMZ SR Hrvatske, Centar za meteorološka istraživanja: Meteorološki aspekti utjecaja TE Plomin 2 na okoliš, Zagreb, ožujak 1982.
- [2] Rudarski institut, OOUR Zavod za termotehniku, Beograd: Izvještaj o mjerenju emisije sumpordioksida u TE »Plomin«, Beograd, septembar 1983.
- [3] Institut za elektroprivredu Zagreb: Procjena prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin 1 i 2 s ciljem utvrđivanja lokacija dinamičkog monitoringa, Zagreb, srpanj 1986.
- [4] Institut za elektroprivredu Zagreb: Postojeće stanje zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom u široj okolini TE Plomin, Zagreb, srpanj 1986.
- [5] RHMZ SR Hrvatske, Centar za meteorološka istraživanja: Meteorološki aspekti utjecaja TE Plomin 2 na okoliš, Zagreb, ožujak 1982.
- [6] RHMZ SR Hrvatske, Centar za meteorološka istraživanja: Model rasprostiranja SO₂ oko TE Plomin 1 i 2, Zagreb, svibanj 1984.
- [7] Urbanistički institut SR Hrvatske, Zagreb, Zavod za prostorno planiranje: Termoelektrana Plomin 2 — Studija utjecaja na okolinu, Zagreb, 1984.
- [8] Elektroprivreda Rijeka — RZ za igradnju TE Plomin 2: Projektni zadatak za izradu tehničke i ostale dokumentacije za izgradnju TE Plomin 2 (1 × 210 MW), Plomin 1982.
- [9] Elektroprojekt — Zagreb: Idejni projekt TE Plomin — 210 MW, Zagreb, 1983.
- [10] Institut »Jožef Štefan« Ljubljana: Pridobivanje urana iz pepela raškog premoga s pomoćju SO₂ iz dimnih plinova — D₁, D₂, D₃, 1985.
- [11] D. G. STRINAITIS, J.S. SCIRE and A. BUSS: COMPLEX/pfm Air Quality Model — User's Guide, EPA-600/8-83-015, May 1983.

ESTIMATE OF GROUND LEVEL CONCENTRATION OF SO₂ IN SURROUNDINGS OF TPP PLOMIN 1,2

In the article is presented an estimate of ground level SO₂ concentrations in surroundings of TPP Plomin 1,2 calculated with COMPLEX program. On the base of measurements it is made a calibration of the model. Analysis of calculated and measured values proved the reliability of computer model. On the base of analysis it is evident that considered chimney heights are not full protection for ground level concentrations of SO₂.

BERECHNUNG DER ERDNAHEN SO₂ KONZENTRATIONEN IN DER UMGEBUNG DER TE PLOMIN I und II

In der Arbeit wird die Berechnung der erdnahen SO₂ Konzentrationen in der Umgebung von TE Plomin I und II gegeben. Sie wurde mit dem COMPLEX Rechenmodell geschaffen. Aufgrund der Bemessungen der erdnahen SO₂ Konzentrationen wurde eine Kalibrierung des angeführten Rechenmodells durchgeführt. Die Analyse der gemessenen und beschriebenen Werte der erdnahen SO₂ Konzentrationen hat die Repräsentativität des Rechenmodells COMPLEX für die Anwendung am Interessengebiet bestätigt. Die Resultate der Analyse zeigen, daß keine der analysierten Schornstein — Höhen eine genügende Schutzmaßnahme des analysierten Gebietes gegen SO₂ Verschmutzung sein kann.

ОЦЕНКА ПРИЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ДВУОКИСИ СЕРЫ В ОКРЕСТНОСТЯХ ТЭС ПЛОМИН 1 И 2

В работе дается оценка приземных концентраций двуокиси серы в окрестностях ТЭС Пломин 1 и 2, произведенная в КОМПЛЕКС вычислительной модели. На основании измерений концентраций двуокиси серы выполнена калибровка упомянутой модели. Анализ измеренных оцененных величин приземных концентраций двуокиси серы подтвердил презентабельность вычислительной модели КОМПЛЕКС для применения в области, представляющей интерес. Результаты анализа показывают, что ни одна из анализируемых высот дымовых труб не может сама по себе быть достаточной мерой защиты анализируемой области от приземного загрязнения двуокисью серы.

Naslov pisaca:

mr Jure Ćurković, dipl. inž.
mr Vladimir Jelavić, dipl. inž.
Željko Postružin, dip. inž.
Zlatko Varaždinec, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih
brigada
47, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
 1986-12-03

O PISANJU STRUČNIH I ZNANSTVENIH ČLANAKA I RASPRAVA

Peter K o k e l j , Ljubljana

UDK 001.818
STRUČNI RAD

Stručni ili znanstveni rad dobije pravu vrijednost tek onda kad je predstavljen javnosti u obliku članka ili referata. Kod znanstvenog rada i objavljivanja rezultata treba poštovati princip javnosti, slobode i odgovornosti autora za objavljeno i princip povjerenja javnosti koja verificira objavljene rezultate. Prvi korak kod sastavljanja referata ili članka jeste dobar plan, dok kod pisanja autor mora uvijek imati pred očima čitaoca ili slušaoca i cilj koji si je postavio na početku. Sam sastavak mora biti podijeljen na uvod, glavni dio i zaključak i mora biti na prvi pogled atraktivan i zanimljiv.

Članak, objavljen u Energiji, mora imati još: klasifikaciju, ključne riječi, sažetak, podatke o literaturi i adresu autora. Slike moraju biti crtane po pravilima tehničkog crtanja i tri puta veće nego što bi bile objavljene. Svaki članak ocijenjuje jedan ili dva recenzenta. Već postavljen i štampan članak autor dobije na korekturu koju mora pažljivo i brzo izvršiti i vratiti uredništvu rukopis s otiskom.

Ključne riječi: pisanje članka, moralni principi, plan, uvod, glavni dio, zaključak, dužina članka, kategorizacija članka, ključne riječi, sažetak, međunaslovi, jezik, slike, dijagrami, literatura, korekture

Uvod

Postoji mnogo dobrih stručnjaka koji znaju dobro i lijepo objasniti svoje poglede na različita pitanja, koji drugome znaju temeljito i slikovito objasniti mišljenje i svoja opažanja kod rješavanja različitih pitanja. Naprotiv, riječi će im teže teći kad budu istu tematiku objašnjavali pred širim auditorijem, a poseban se problem pojavi kad moraju pripremiti pismenu obradu i napisati članak ili znanstvenu raspravu. Objavljivanje tehničkih i znanstvenih dostignuća upravo je tako važno kao i samo istraživanje ili poboljšavanje postojećih tehničkih rješenja.

U Energiji su već bile objavljene upute o pisanju tehničkih i znanstvenih članaka, no uredništvo se uvijek nanovo susreće s autorima koji dobro vladaju tehničkim pitanjima struke, a poteškoće im stvara objavljivanje opažanja i dostignuća. Promijenio se i oblik i oprema priloga, objavljenih u Energiji. Cilj ovog priloga jest pomoći budućim autorima kod sastavljanja članka i rasprava i kod objavljivanja u Energiji ili drugdje. U prvom dijelu sastavka govori se o općim načelima i zakonitostima, koje moramo poštovati kod sastavljanja članka i rasprava, a u drugom su dijelu navedeni tehnički zahtjevi koje mora ispunjavati članak kojeg autor želi objaviti u Energiji.

Sastavljanje članaka i rasprava

Stručni ili znanstveni članak, odnosno rasprava, većinom je posljedica stručne obrade ili znanstvenog istraživanja. Pravu vrijednost dobiva tek onda kad ga predajemo stručnoj, odnosno znanstvenoj, javnosti na savjetovanju ili u časopisu.

Istina je da se iza svakog ozbiljnijeg znanstvenog teksta skriva mnogo uloženog novca i rada, no unatoč

tome u znanstvenoj javnosti postoji prava poplava priloga. Izvan svake je sumnje da osnovnu kvalitetu svakog takvog sastavka predstavlja njegov sadržaj, dakle izvršen rad, otkrića, originalnost predstavljenih teorija, zastupanih ideja ili izvornost zaključaka koje želimo time predstaviti javnosti. O toj strani sastavaka u ovom dijelu neće biti govora (to je posljedica rada), već ćemo pažnju posvetiti tome kako oblikovati sadržaj da ga javnost primi s većim zanimanjem. Opisana su osnovna načela za objavljivanje znanstvenih radova i pravila za sastav dobrog članka, odnosno rasprave, kakve dijelove ima i koje priloge moramo dati.

Načela znanstvenog rada i objavljivanja

Kod znanstvenog rada i objavljivanja rezultata moramo poštovati četiri zapravo moralna načela:

1. načelo javnosti; rezultati znanstvenog rada moraju biti dostupni svim zainteresiranim znanstvenicima što prije, još kod pokusa; samo je znanstvena istina obavezna.
2. načelo slobode; nikoga se ne smije prisiliti da prerano objavljuje svoja dostignuća i naređivati mu što da objavi.

Posljedica tih dvaju načela jeste:

3. načelo odgovornosti autora za objavljeno, i ako udružimo sva tri načela dođemo do
4. načela povjerenja stručne i znanstvene javnosti koja će verificirati objavljene rezultate i primiti ih.

Što su temeljitija pitanja koja obrađujemo, to su stroži zahtjevi za poštivanjem i njegovanjem nabrojanih načela.

Kad smo sami sa sobom rasčistili oko moralnih načela, a istraživačkim radom došli do stručnih ili

znanstvenih otkrića, odlučimo se za objavljivanje. Što sve moramo učiniti i po kakvom redosljedu?

Plan

Najprije moramo napraviti dobar plan. Moramo ga sastaviti što iscrpnije i temeljitije. Obično ga sastavljamo više puta i u međuvremenu pustimo da odleži. Zatim ga pregledamo, dopunimo i popravimo ili ga ponovno sastavimo. U planu moramo iscrpno odgovoriti bar na ova pitanja:

- Što pišemo?
- Kome je sastav namijenjen?
- Što predviđeni čitalac ili slušalac zna ili mora znati?
- Što trebamo i što nam još za to nedostaje?
- Gdje ćemo to dobiti?
- Koje temeljne činjenice i kojim redosljedom moramo objasniti da čitalac ili slušalac razumije sastavak?
- Što je to »novo« što s tim sastavkom poručujemo javnosti?
- Gdje ćemo ponuditi za objavljivanje?

Takav način rada je prividno spor. No, samo prividno. Pokaže se da se vrijeme za dobar plan bogato isplati.

Time smo se sa sadržajnog vidika pobrinuli za logičku organizaciju materijala u sastavku, imamo pregled nad bitnim elementima teme, dobar pregled nad cijelinom i vidi se što moramo dopuniti. Prihvatimo se pisanja. Pri tome moramo poštovati slijedeća osnovna pravila:

- Uvijek moramo imati u mislima predviđenog čitaoca ili slušaoca, realnog ili imaginarnog, i pretpostaviti da je inteligentan, ali neinformiran.
- Prije nego počnemo pisati, moramo odlučiti što zapravo želimo sastavkom doseći; tome podredimo svaki odlomak, svaku rečenicu pa čak i svaku riječ, i to cijelo vrijeme.
- Upotrebljavati moramo jednostavan, konkretan i domaći jezik.
- Početak i kraj svakog poglavlja formuliramo po načelu: »Najprije kažemo o čemu ćemo govoriti, nakon toga to kažemo, na kraju još kažemo o čemu smo pripovijedali«.
- Sastavak napravimo na pogled atraktivnim i zanimljivim.

Tako nastaje članak ili rasprava koja u grubom ima tri osnovna dijela:

uvodni dio,
glavni dio,
zaključni dio.

Uvodni dio

Uvod se nalazi na početku, no sastavljamo ga posljednjeg. U uvodu izabranim riječima prikažemo o čemu ćemo raspravljati u glavnom dijelu. Tu postavi-

mo posebna pitanja, spomenemo dileme i najavimo smjer i način rješenja. Uvod mora biti kratak i jezgrovit, a osnovni mu je cilj da zainteresira čitaoca ili slušaoca. Od njega je ovisno koliko čitalaca će rasprava imati, odnosno koliko će slušaoci biti pažljivi u toku našeg nastupa.

Glavni dio

Najlakše sastavljamo glavni dio. Taj dio sadrži činjenice zbog kojih je rasprava nastala. Njegova opća struktura ima takav redosljed:

- postavljanje problema,
- načini rješavanja i diskusija primljenih ili novih rješenja,
- zaključci.

Navesti moramo činjenice do kojih smo istraživanjem došli. Pri tom moramo poznavati literaturu s tog područja i, ako su naša otkrića i stajališta drugačija nego u suvremenoj literaturi, moramo to komentirati, objasniti i navesti obrazloženja za drugačije tvrdnje ili zaključke. Pri tom je korisno upotrijebiti gradivo kojeg imamo na raspolaganju u svojoj tehničkoj knjižici. Podaci moraju biti točni i istiniti i pri tom ne smijemo nikad biti premalo pažljivi. Tvrdnje moraju biti konstruktivne, pozitivne i nikad se ne smiju suprotstavljati. Time što rušimo ugled drugoga, ne gradimo svoj. I ako se suprotstavljamo zaključcima ili tvrdnjama drugog, moramo paziti na njegov ugled. Tako ćemo najviše doprinijeti podizanju svog ugleda, kako kod kolega, tako i kod konkurenta.

Tekst mora biti tako sastavljen da je razumljiv, jezgrovit, bez suvišnih ponavljanja. Svaka dobra stručna ili znanstvena rasprava je takva da je možemo skratiti na polovinu pa će ipak u njoj još uvijek postojati rupe i ponavljanja i mogla bi se još skratiti. No stručni ili znanstveni sastavak ne smije biti golo suhoparno nabranje podataka, brojeva ili činjenica. Potražiti treba skladnost između nabranja podataka, njihovih komentiranja, opisivanja sakupljanja gradiva te ocjenjivanja i zaključivanja iz sabranog gradiva.

I odlomci i međunaslovi su sastavni dio sadržaja. Cijeli glavni dio ne smije biti sam jedan odjeljak, no ne smije biti ni previše razdobljen.

Slike, tablice i dijagrami su sastavni dio svake stručne ili znanstvene rasprave ili članka. Moramo biti svjesni toga da prava slika na pravom mjestu kaže mnogo više, preciznije, brže i točnije nego detaljni opis bez slike. Podatke koje želimo objaviti, bolje je sabrati u tablici nego ih navoditi u tekstu. U tekstu te podatke samo komentiramo, naglasimo bitno i po potrebi ocijenimo. Jednako vrijedi i za dijagrame. Usporedba, prikazana u dijagramu, pokazuje više i brže nego uspoređivanje riječima.

O dužini stručne ili znanstvene rasprave ili članka nema jedinstvenog mišljenja. Još je najveće slaganje u tome da zaključena stručna ili znanstvena rasprava ne bi smjela biti duža od jednog autorskog arka, to jest 30 000 znakova, ako računamo i razmake između

riječi i rastavljačke znakovne, ili 15 do 20 stranica formata A4, tipkanih s razmakom između redova. Dulje rasprave ili članke moramo podijeliti na više dijelova i objaviti ih u nastavcima.

Zaključni dio

U uvodu najavimo o čemu ćemo govoriti u glavnom dijelu, u zaključku kažemo o čemu je bilo govora u glavnom dijelu. I zaključak zahtijeva svu sabranost i pažnju. U njemu moramo sakupiti ključne podatke, glavne ocjene i bitne zaključke, o čemu smo na široko raspredali u glavnom dijelu. Izjave da očite tvrdnje ne zahtijevaju dokaze, odnosno da to i to govori samo za sebe, neukusne su i suvišne. Zaključkom se od čitaoca oprostimo.

Literatura

Vrlo je malo stručnih rasprava, znanstvenih uopće nema, u kojima se autor pri svom radu ili njihovom sastavljanju ne bi oslanjao ili upotrebljavao literaturu. Tu literaturu moramo navesti u takvom obliku i tako precizno da je čitalac može dobiti i sam u njoj provjeriti dane tvrdnje. Pri tom moramo biti pažljivi i precizni. Na žalost, vrlo je neprijatno često otkriće da u navedenoj literaturi nema ništa od onog na što se poziva autor. U literaturi spadaju i osobne poruke, povjerljivi dokumenti i dokumenti omeđene distribucije. Neopravdano je prihvaćati zaključke ili navoditi teorije samo na osobnoj poruci koja nije provjerena. »Dokument omeđene distribucije« jesu sve publikacije koje nisu dostupne široj javnosti bez obzira na razlog.

Jezik

Jezik mora biti precizan i čist. Rečenice moraju biti pravilne i načelno tako duge da ih možemo pročitati u jednom dahu. Upotrebljavajmo riječi koje se nalaze u svakom općem rječniku, i stručne izraze koji su sastavni dio međunarodnog znanstvenog i tehničkog rječnika. Kad prvi put upotrebljavamo kakav izraz ili predložimo novi, pri tom moramo navesti i odgovarajuću tuđu riječ. Još je bolje ako taj izraz navedemo u više tuđih jezika. Nov izraz moramo opisati i navesti njegovo značenje. Često moramo obrazložiti zbog čega ga uvodimo. Pri sve bržem tehničkom i tehnološkom napretku i pri svakodnevnoj poplavi novih proizvoda i postupaka, problem novih pravilnih izraza postaje prilično aktualan. Na stručnom području su specijalizirani stručnjaci dužni pobrinuti se za pravilne izraze, izraze koji ispunjavaju jezična pravila i istovremeno pravilno imenuju pojam, proizvod ili postupak.

Jedinice i simboli

Upotrebljavati moramo zakonske mjerne jedinice međunarodnog sistema jedinica SI (Sl. list SFRJ br.

9/1984 i JUS A.A1.023). Kod matematičkih izvođenja, oznaka, simbola i znakova moramo poštovati jugoslavenske (JUS) i međunarodne (IEC, ISO) standarde i preporuke, matematički znakovi, grčka slova, indeksi, itd. moraju biti jasni i definirani.

Objavljivanje u Energiji

Što Energija objavljuje i kako priloge moraju biti pripremljeni. U rubrici »Članci« Energija objavljuje stručne i znanstvene članke s područja energetike i sličnih područja. Objavljuje i članke čiji sadržaj može bitno utjecati na elektroenergetsku struku.

Članak mora biti napisan jednostrano na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redova. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje popravaka i uredničkih oznaka, komentara i dopuna. Mora imati naslov i jasno označene podnaslove, koji moraju biti pisani malim slovima.

Na početku članka se mora nalaziti prezime, ime i mjesto autora, a na kraju članka podaci o autoru.

Kategorizacija

Autor članka mora označiti u koju kategoriju stavlja članak:

- a) originalni znanstveni rad (original scientific paper),
- b) prethodno saopćenje (preliminary note)
- c) pregledni rad (subject review)
- d) stručni rad (professional paper)
- e) referat sa znanstvenog savjetovanja (conference paper).

Sastavak je »originalno znanstveno djelo« ako kvalificirani znanstveni radnik, koji je specijalist za to područje, jednostavno na osnovi danih informacija može: a) ponoviti pokuse i dobiti rezultate jednake preciznosti ili u granicama eksperimentalne greške koju navodi autor, b) ponoviti autorova opažanja i ocijeniti njegova otkrića; ili c) provjeriti točnost analiza i dedukcija na kojima autor temelji svoje zaključke. Prethodno saopćenje je sastavak koji sadrži jedan ili više novih podataka znanstvene prirode, ali nedostaju tvrdnje kao što je to opisano u prošlom odlomku.

»Pregled« ne spada u kategoriju »Novih znanstvenih informacija«, već je to sastavak u kome su sabrane, analizirane i obrađene informacije o nekom pitanju i koje su objavljene na različitim mjestima.

»Stručni članak« predstavlja korisni prilog iz struke i njegov sadržaj nije vezan za izvorna istraživanja. To znači da sadržaj ne predstavlja novost u svjetskom mjerilu, već da reproducira poznata istraživanja i doprinosi širenju znanja i prilagođavanju temeljnih istraživanja potrebama industrije i znanosti.

Energija objavljuje referate sa znanstvenog savjetovanja ako su aktualni za širu javnost ili sadržajno prerađeni i dopunjeni.

Izveštaj o istraživanjima, kojeg autor mora skratiti iz bilo kojeg razloga, mora biti uvršten u kategoriju »privremeni izvještaj«, a nikako u kategoriju »originalni znanstveni rad«. Bez obzira na publikaciju, činjenice i upotrijebljene metode ne smiju se namjerno pogrešno predstaviti.

Po preporukama UNESCO-a moraju članci biti recenzirani i konačnu kategorizaciju uredništvo primi na preporuku recenzenta.

Ključne riječi

Ključne riječi (key words) jesu izrazi koji čitaocu u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka i pomognu mu kod odluke je li ta građa aktualna za njega ili ne. Upotrebljavaju ih u informacijskim službama za računarsku obradu članaka i pomoću njih računarski možemo izlučiti članke u kojima se obrađuje određena tematika. O broju ključnih riječi ne postoji jedinstveno mišljenje, no među njima bi se morali nalaziti samo takvi pojmovi o kojima u članku ima nešto sadržajno. Dakle, u ključne riječi ćemo uvrstiti one i samo one izraze koji će vjerno prikazati sadržaj članka.

Sažetak

Sažetak ili sinopsis mora čitaocu ponuditi dovoljnu informaciju o sadržaju članka tako da se on može odlučiti da li će ga potražiti ili ne. Sadržavati mora cijele rečenice bez skraćenica. Autor mora u njemu navesti nova otkrića, koja sadrži članak, navesti mora nove teorije ili dijelove teorije, imena novih proizvoda, spojeva ili nove formule. Spomenuti mora temeljne principe na kojima je izveo eksperimente koje je opisao u članku, te mora jasno kazati je li članak teoretski ili praktičan.

Sažetak ne smije biti duži od 200 riječi tako da ga možemo nalijepiti na listić 75 × 125 mm, i tako napisan da autora predstavlja u trećem licu. Sinopsis nastupa kao samostalno djelo i: a) pomaže čitaocu da se odluči da li je članak za njega zanimljiv ili ne i da li je njegov sadržaj aktualan za pitanje koje obrađuje, b) u kartotekama i registrima su uz njega navedeni podaci o autoru, naslovu članka i časopisu, u kojem je objavljen, tako da omogućuje čitaocu da potraži članak.

Naslov članka, kategorizacija, ključne riječi i sažetak moraju se nalaziti na posebnom listu.

U Energiji objavljujemo sažetak na tri svjetska jezika, engleskom, njemačkom i ruskom. Za to uredništvo ima svoje prevodioce.

Literatura

Navedena literatura mora sadržavati slijedeće podatke:

— knjige: početno slovo imena i prezime autora, naslov knjige, izdanje i, ako je važan samo određeni

dio knjige, stranice na kojima se nalazi tvrdnja ili izreka koju autor navodi ili upotrebljava u svojim izvođenjima,

— članci: početno slovo imena i prezime autora, naslov članka, potpuni naslov časopisa u kome je objavljen, volumen i/ili godina broj i stranice na kojima je članak.

Za dokumente »omeđene distribucije« treba to jasno navesti. Literaturu kategoriziramo po rednim brojevima kako je citirana, a u tekstu, gdje se pozivamo na literaturu, pišemo samo redni broj ili brojeve u uglatoj zagradi. Literatura se mora nalaziti na posebnom listu.

Slike i dijagrami

Slike i dijagrami se moraju nalaziti na posebnom listu — svaka slika svoj list. Nacrtane moraju biti po pravilima tehničkog crtanja i obično tri puta veće nego nakon objavljivanja. Pri tom moramo paziti da tri puta smanjena najmanja brojka ili najmanje slovo (indeks, potencija) bude velika 1 mm do 1.1 mm. Ako nema posebnih razloga (vrlo mnogo elemenata, mnogo teksta, važni detalji), slika neka bude široka najviše 78 mm (širina jednog stupca u Energiji). Teksta u slici mora biti samo toliko koliko je najnužnije. Ako je tekst važan za razumijevanje slike, smjestimo ga u tekst ispod slike. Tekst uz sliku mora biti na posebnom listu, a u tekstu članka moramo jasno označiti gdje je kakva slika predviđena.

Naslov autora

Adresa autora sadrži slijedeće podatke: znanstvenu titulu, ime i prezime, stručni naziv, punu adresu radne organizacije u kojoj je autor zaposlen.

Tako uređen i pregledan članak uredništvo Energije će primiti. Pri tome autor mora dati izjavu da njegov članak nije bio nigdje objavljen i da ga nije ponudio drugdje za objavljivanje. Među člancima objavljuju se samo originalni prilozi koji nisu bili drugdje objavljeni.

Informacije iz drugih izvora objavljujemo u drugim rubrikama. Uredništvo pregleda članak, daje ga jednom ili više recezenata za pregled i, kad je primljen za objavu, još ga tehnički uredi i pošalje u štampariju. Uredništvo može, po svojoj ocjeni ili na prijedlog recenzenta, zahtijevati od autora da članak dopuni, preuredi ili skрати.

Štampani članci u Energiji počinju na desnoj strani. Prostor je najbolje iskorišten, ako zauzima parni broj štampanih stranica. Jedna štampana stranica u Energiji zauzima oko četiri stranice rukopisa.

Kad je članak primljen za objavljivanje, uredništvo o tome obavijesti autora. Ako je odbijen, vrati mu neobrađen rukopis. Uredništvo ne vraća rukopise primljene za objavljivanje.

Korekture

Postavljen i štampan članak uredništvo pošalje autoru na korekturu zajedno s rukopisom. Pažljivo mora pregledati da li otisak odgovara rukopisu. Popraviti mora sve greške tako da pogrešan simbol, slovo ili riječ precrta, na rubu ponovi korekturni znak i pored njega napiše pravi simbol, slovo ili riječ. Dešava se da kod korekture autor počne mijenjati ili dopunjavati tekst ili sadržaj. To uredništvu i štampariji uzrokuje mnogo glavobolje, dodatnog rada i zakašnjenje kod izlaska časopisa. Autor je dužan konačno urediti rukopis prije nego što ga prvi put ponudi za objavu. Autor mora korekturi dati prednost pred drugim obavezama i u najkraćem vremenu vratiti uredništvu rukopis sa slikama i korigiran otisak, dok moguće primjedbe ili poruke uredništvu pošalje na posebnom listu.

Tako uređen članak tiska se u Energiji.

Zaključak

Stručne analize i znanstvena istraživanja su spori i zahtjevni radovi. Prije nego što se dokopamo rezultata, zahtijevaju mnogo napora i vremena. Rezultati dobiju pravu vrijednost tek onda kad ih predstavimo javnosti da ih ocijeni i potvrdi. Publiciranje ima svoje zahtjeve i pravila ne samo po sadržajnoj, već i po oblikovnoj strani. U tom je sastavku bilo govora o općim zahtjevima koje mora ispunjavati ozbiljno pripremljen tekst za javno predstavljanje. Govorili smo o ključnim riječima, kategorizaciji članaka, sinopsisu, o općim načelima za sastavljanje članaka ili rasprava, jeziku i opremi članaka sa slikama, dijagramima, podacima i literaturom. Upravo su tako detaljnije nevedeni specifični zahtjevi koje mora ispunjavati rukopis kojeg autor želi objaviti u Energiji.

LITERATURA

- [1] N. KERŠIČ: O pisanju tehničkih in znanstvenih članak. Elektrotehnički vestnik, vol. 35 (1968), br; 4–5, str. 57 do 59;
- [2] Urednikova uputstva autorima. Elektrotehnički vjesnik, vol. 40 (1973), br. 1–2, str. 20.

- [3] UNESCO, NS 51. D. 10a A/05. XI. 51. Preuzeto po Informatologia Yugoslavica 1 (1969) Nos 1–4, str. 79 do 86.
- [4] G. H. MILLS i J. A. WALTER: Technical Writing, 4. izdanje, Izd. Halt, Rienhart and Winston, New York i drugdje, 1978.
- [5] B. TEŽAK: Informacione znanosti i službe: Njihova struktura, odnosi i politika. Informatologia Yugoslavica 1 (1969) — Nos 1–4, str. 13 do 30.

ON WRITING TECHNICAL AND SCIENTIFIC ARTICLES AND PAPERS

A technical or scientific work obtains its proper value only after it has been presented to the public in a form of a paper or article. In a scientific work and in publishing of results it is necessary to take a full consideration of the principle of public, freedom and author's responsibility for the published work, as well as confidence of the public, which verifies the published results. The first step in paper or article writing is a good plot, and during writing, the author must constantly be aware of the reader or the listener, as well as of the aim he had set forth at the very beginning. The composition itself should be divided into introduction, main part and conclusions, and it should be at the very first sight attractive and interesting.

Articles that are to be published in the Electrotechnical Review must contain also: classification, keywords, summary, reference to the literature and the author's address. Drawings must be made according to the principles of technical drawing and should be thrice the size to be published. Any article is reviewed by one or two reviewers, and after the contribution has been brush proved, it is off-printed and submitted to the author for correction, which is to be made carefully and quickly, whereupon the manuscript, along with the off-print, is returned to the editorial office.

Naslov pisca:

**mr. Peter Kokelj, dipl. inž.,
Fakulteta za elektrotehniko,
Tržaška 25,
61000 Ljubljana**

Uredništvo primilo rukopis
1987–05–13.

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR Elektroprenos

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:

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

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

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

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

HE »NIKOLA TESLA« — IZGRADEN NOVI CJEVOVOD LIČ

Tokom dugogodišnjeg rada HE »Nikola Tesla« Tribalj pojavljivala su se oštećenja na dionici cjevovoda Lič kojim je dotjecala voda od umjetnog jezera Bajer do turbine HE »Nikola Tesla«. Oštećenja su popravljena, ali su prije tri godine nastala znatno veća oštećenja na nekoliko lokaliteta. Da bi se pronašlo bolje rješenje na prijedlog stručnjaka elektrane predložena je izrada studija hidrauličnog režima u pogonu i analiza čvrstoće armirano-betonske konstrukcije betonskog cjevovoda Lič.

Prema izrađenim studijama komisija ZEOH-a je zaključila da treba ubrzati izradu idejnog rješenja izgradnje novog cjevovoda Lič, dužine oko 5 km. Taj zadatak povjeren je stručnjacima »Elektroprojekta« Zagreb i Instituta za elektroprivredu Zagreb koji će surađivati s predstavnicima HE »Nikola Tesla« Tribalj. Projekt je obuhvatio gradnju novog cjevovoda Lič i komoru s uređajima za sprečavanje nedozvoljenih nihanja.

Investitor Elektroprivreda Rijeka je gradnju tog elektroenergetskog objekta povjerio RO »Industrogradnja« iz Zagreba. Radovi su počeli 1986. godine i završeni u roku od pet mjeseci.

Dana 20. ožujka ove godine u prisustvu investitora, graditelja, projektanta, predstavnika društveno-političkih organizacija, i dr. novosagrađeni cjevovod je pušten u rad. Izgradnjom novog cjevovoda HE »Nikola Tesla« povećat će svoju radnu snagu na 80 MW i godišnje će proizvoditi tri milijuna

kVh više električne energije. Za radove i opremu investirano je oko 3,2 milijarde dinara.

Izvedbeni projekt ukopnog novog cjevovoda Lič ima sljedeće karakteristike:

- dužina cjevovoda 4,980 m,
- svjetli promjer 3,20 m
- debljine betonske obloge cjevovoda 30 cm i
- betonska obloga je dvostruko betonirana.

Pored projekta samog cjevovoda obuhvaćena su i projektna rješenja iz uvjeta uređenja prostora i to:

regulacija dijela Ličanke dužine 530 m, most preko Ličanke, prelazi preko vodovoda i naftovoda, polaganje VN i NN vodova i rješenje putnih prijelaza.

I. R.

PLAN IZGRADNJE ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA ZA 1987. U HRVATSKOJ

Na zajedničkoj sjednici Skupštine Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Republičke samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije Hrvatske održane početkom veljače ove godine usvojen je »Plan izgradnje elektroenergetskih objekata za 1987. godinu.«

Da bi se ostvario usvojeni plan izgradnje elektroenergetskih objekata u 1987. godini potrebna su sredstva koja se operativno ostvaruju.



Crpna stanica Lič

Budući da se tim sredstvima ne mogu pokriti sva predviđena ulaganja u 1987. godini po SAS-u o osnovama plana za razdoblje 1986–1990. godine, ovogodišnjim Planom obuhvaćena su samo ulaganja u objekte i pozicije plana čija je realizacija u toku, te za već stvorene obveze koje bi se trebale realizirati u 1987. godini. U planu će se realizirati financiranje radova iz priliva sredstava u 1987. godini. Osim ovih sredstava za financiranje pojedinih objekata koristit će se i neutrošena sredstva iz 1986. godine.

Radovi u 1987. godini

U predloženom planu izgradnje iskazana su potrebna ulaganja:

- u nužnom opsegu za studijsko-istražene i projektne radove kao i za rekonstrukcije i modernizacija,
- za objekte proizvodnje i prijenosa za koje bi na osnovi dosad izvršenih predradnji i preuzetih obveza trebalo donijeti odluke o izgradnji u 1987. godini,
- za objekte proizvodnje i prijenosa u izgradnji prema važećim, odnosno noveliranim investicijskim programima,
- u nužnom opsegu za ostala ulaganja na nivou RSIZ-a i ZEOH-a (objekti na nerazvijenim područjima i jadranskim otocima, informatička oprema, ONO i DSZ) i
- za izgradnju distributivne mreže.

Studijsko-istražni i projektni radovi

Za ovu kategoriju radova pretpostavlja se da će donos radova i sredstava iz 1986. godine biti velik, pa će znatno opteretiti obrađivače i izvođače radova u 1987. godini. Stoga se u razradi Plana izgradnje za 1987. godinu predviđa da se na teret priliva sredstava iz 1987. godine financiraju novi studijsko-istražni i projektni radovi proizvodnje i prijenosa u iznosu od 2.112 milijuna dinara.

Ulaganja u pojedine od tih radova u ukupnom iznosu 2.112 milijuna dinara utvrđena su prema stupnju važnosti i hitnosti pojedinih elaboracija, te stanju izvršenih radova u 1986. godini.

Studijsko-istraživački radovi obuhvaćaju problematiku iz područja planiranja razvoja, s težištem na pripremi dokumentacije za hidroenergetske objekte. Osim toga obuhvaćaju zajedničke studijske radove iz područja izgradnje, vodenja sistema, održavanja elektroenergetskih objekata i informatičke djelatnosti.

Objekti proizvodnje

Ukupno planirana ulaganja za objekte proizvodnje u 1987. godini iznose 107.798 milijuna dinara. Od toga za :

- objekte proizvodnje na području SR Hrvatske (rekonstrukcije i modernizacije, objekti kontinuiteta, grupa objekata HE 1200 GWh i ostali objekti) 87.157 milijuna dinara
- objekte izvan SR Hrvatske 20.641 milijuna dinara.

Radovi predviđeni u okviru rekonstrukcija i modernizacija obuhvaćaju zahvate na objektima proizvodnje koji su u funkciji osiguranja pogonske spremnosti i sigurnosti objekta.

Na objektima kontinuiteta glavnina planiranih financijskih sredstava je namjenjena glavnim građevinskim radovima i izradi opreme.

Tako su u TE »Plomin 2« planirani glavni građevinski radovi na strojarnici s bunkerskim prostorom, kotlovnici, dimnjaku, sistemu rashladne vode i ostalim pomoćnim objektima. Isporučioc opreme moraju definirati sve karakteristike opreme, nabavku materijala i izradu opreme.

U HE Dubrava se planira nastavak glavnih građevinskih radova, i to betonskih radova koji omogućuju početak ugradnje dijela opreme, radova na izradi hale strojarnice, radova na brani, dovodnom i odvodnom derivacijskom kanalu, usporenim bazenu i ostalim djelovima objekta. Kod isporučio-oca opreme planiraju se uglavnom radovi na izradi opreme.

Planirani radovi na HE Đale u dijelu glavnih građevinskih radova se odnose na izvođenje glavnine betonskih radova, zatim radova na zatvaranju zgrade strojarnice, te ostalih radova. Planirana je intezivna izrada opreme kod isporučio-oca, kako bi se cjelokupna isporuka ostvarila u 1988. godini.

Građevinski radovi na akumulacijskom sistemu Lepenica su uglavnom završeni u 1986. godini. Preostali dio radova se odnosi na završene radove.

Novelacije investicijskih programa za objekte kontinuiteta su u fazi usvajanja. Na grupi objekata ukupne moguće godišnje proizvodnje 1.200 GWh planiraju se u 1987. godini istražni radovi prema odobrenim programima i razradi tehničke dokumentacije za potrebe investicijskih programa.

U okviru radova predviđenih u dijelu ostalih objekata u SR Hrvatskoj obuhvaćeno je nekoliko objekata i nuklearni program.

Tako je za objekat TO-TE Borovo planiran početak građevinskih radova na glavnim i pomoćnim objektima.

Za potrebe TE Plomin 2 planirani su radovi na proširenju rudnika Tupljak i Ripenda.

Za potrebe rekonstrukcije turbine i kotla u TE Plomin 1 u 1987. godini planirana je nabava materijala, izrada opreme kod naručio-oca i tvornička montaža pojedinih sklopova.

Na objektu HE Krčić-elektre na biološki minimum planiran je završetak građevinskih radova, isporuka i ugradnja opreme.

U okviru nuklearnog programa u 1987. godini planirani su preostali radovi na izgradnji NE Krško po Aneksu VII, prethodni radovi na projektu skladišta radioaktivnog otpada (RAO).

Planirani radovi izvan SR Hrvatske u 1987. godini predviđeni su na temelju Programa o zajedničkoj izgradnji i korištenju objekata republika i pokrajina u SRF Jugoslaviji.

Tako su za TE Tuzla IV-rudnik, planirani radovi na izgradnji rudnika Šikulje i Dubrave iz kojih će se osigurati ugljen za tu termoelektranu.

Za objekt TE Tuzla B 1 — prethodni radovi, koji obuhvaćaju izradu glavnog projekta, ostvarenje konzalting usluga dopunske istražne radove, te reviziju dokumentacije. SR Hrvatska sudjeluje u dijelu financiranja navedenih radova uz Elektrogospodarstvo Slovenije i Elektroprivredu B i H. Iznos planiranih sredstava za 1987. godinu od 8.873 milijuna dinara predstavlja dio potrebnog dinarskog učešća prema prijedlogu investicijskog programa.

Planirani radovi za TE Kosovo — prethodni radovi su definirani na temelju »Programa aktivnosti prethodnih radova za zajedničku izgradnju energetskih kapaciteta na bazi ligitata u SAP Kosovo.« Radi se uglavnom o studijskim i istražnim radovima vezanim za izgradnju budućih kapaciteta termoelektrana i rudnika na Kosovu.

Prijenosna mreža

Ukupna ulaganja u objekte prijenosne mreže u 1987. godini planirana su u iznosu od 10.900,7 milijuna dinara.

Ovim sredstvima financirat će se:

- rekonstrukcije i modernizacije objekata prijenosne mreže u iznosu od 1.579 milijuna dinara,
- studijsko-istražni i projektni radovi iz djelatnosti prijenosa električne energije u iznosu od 495 milijuna dinara,

- radovi na objektima prijenosne mreže u izgradnji u iznosu od 6.615 milijuna dinara,
- radovi na izgradnji novih objekata prijenosne mreže u iznosu od 2.211,5 milijuna dinara.

Predviđenim ulaganjima za objekte čija je izgradnja u toku obuhvaćena je izgradnja pet dalekovoda (kabela) 110 kV ukupne dužine 43 km, te 12 transformatorskih stanica 110/x kV ukupne instalirane snage 526 MVA. Ulaganjima u nove objekte čija izgradnja počinje u 1987. godini predviđena je izgradnja dvaju dalekovoda 110 kV u ukupnoj dužini 29,2 km, te nabavka transformatora 110/35 kV 1 x 40 MVA.

Distributivna mreža

Razvoj i izgradnja distributivne mreže u Planu izgradnje za 1987. godinu planira se u iznosu od 31.394 milijuna dinara. Ova sredstva su raspoređena na pojedine distributivne organizacije na području republike.

Ulaganja u kategoriju investicija predviđaju se kako slijedi:

— Nove investicije	19.957 mil. din.
— Zamjene i rekonstrukcije	11.285 mil. din.
— Studije na nivou ZEOH-a	152 mil. din.

Ukupno Plan 1987. godine 31.394 mil. din.

I. R.

ISTRAŽIVANJE NAFTE U PODMORJU CRNE GORE

Na području južnog dijela Jadranskog mora nastaviti će se istraživački radovi traganja za naftom i plinom. Istražni radovi obuhvaćaju područje podmorja Crne Gore.

U ovaj posao uključene su radne organizacije: »Jugopetrol« Kotor, INA — Naftaplin Zagreb, Naftagas Novi Sad i ljubljanski »Petrol«. Prvi radovi otpočet će u podmorju blizu Budve. Pomoću broda INA — Naftaplina je ispitano 2.525 kilometara, seizmičkih profila, od čega su u naučnim institucijama Zagreba i Beograda interpretirani, odnosno proučeni podaci s područja od 350 km. Na osnovi dobivenih rezultata vjerojatno će u prvom polugodištu 1987. biti određena lokacija za prvu sondu koja do dubine od četiri do pet tisuća metara treba da stigne krajem 1987. ili početkom iduće godine.

Bušenje sonde u crnogorskom podmorju nastaviti će se i u idućim godinama. Prema prvim pretpostavkama veći su izgledi da se u blizini Budve pronađe prirodni plin nego nafta. U krajnoj liniji svako novo otkriće energetskog izvora je značajno i vrijedno.

Svaki partner u istraživanjima nafte i plina u podmorju Crne Gore dobit će svoj udio u razmjeru s uloženim investicijama u istraživanjima.

I. R.

RADOVI NA AKUMULACIJI LEPENICA

Na akumulacijskom sistemu Lepenica do sada je završen veliki dio građevinskih radova planiran za 1986. godinu.

Opsežan posao obavljen je na skretanju rijeke Lepenica nakon čega se prišlo intenzivnim radovima na brani: rješenje zagata, zamjena materijala i iskop klina. Na strojarnici je betoniranje u završnoj fazi. Radovi na slapištu, preljevu, bočnom nasipu i odvodnom kanalu odvijaju se prema planu.

Ugovorena je isporuka i izrada opreme sa RO »Litostroj« Ljubljana i RO »Jugoturbina« Karlovac. Utvrđeno je da izrada i isporuka opreme kasni. Investitor poduzima niz aktivnosti u otklanjanju kašnjenja.

Financiranje radova na objektu se osigurava iz sredstava elektroprivrede i vodoprivrede i to u odnosu 1 : 1 za akumulaciju, dok cijeli energetski dio financira elektroprivreda.

Prema »Planu izgradnje elektroenergetskih objekata za 1987. godinu u Hrvatskoj« za nastavak radova akumulacijskog sistema Lepenica za ovu godinu predviđena su ulaganja od 866 milijuna dinara. Najveći dio utrošit će se za gradnju objekata i nabavku opreme uređaja i postrojenja, ukupno oko 520 milijuna dinara. Manji dio utrošit će se za: izobrazbu kadrova potrebnih za eksploataciju objekata, osiguranje društvenog standarda, obrtna sredstva, plaćanje obveze za već izvršene radove prethodne godine i sl.

I. R.

REKONSTRUKCIJA REGULACIJE U HE OZALJ II

Planom izgradnje i rekonstrukcijom elektroenergetskih objekata za 1987. godinu predviđena je rekonstrukcija regulacije agregata IV i V HE Ozalj II. Radovi na rekonstrukciji i izradi opreme povjereni su radnoj organizaciji »Litostroj« Ljubljana. Ugovorena je izrada slijedeće opreme: izrada nove regulacijske tlačne naprave, izrada i ugradnja novih elemenata upravljanja, izrada i ugradnja sigurnosnih naprava, te oprema za drenažu turbinskog poklopca, oprema za pripremu zraka pod tlakom, izrada i ugradnja regulatora tipa MER i ugradnja potrebne elektroopreme.

Ugradnjom nove opreme postići će se visoki stupanj sigurnosti regulacije turbina, a time i cijele elektrane.

Prema cijenama 1986. godine rekonstrukcija regulacije stajat će oko 85,0 milijuna dinara, budući da je ugovorom predviđena klizna skala cijena će na kraju iznositi oko 150 milijuna dinara.

Ugovorom je utvrđen rok isporuke opreme i završetak svih montažnih poslova 20 mjeseci od potpisivanja ugovora. Kompletna rekonstrukcija regulacije treba biti završena u 1988. godini.

I. R.

POSTROJENJE ZA ODSUMPORAVANJE DIMNIH PLINOVA

Radna organizacija za izgradnju TE »Plomin 2«, snage 210 MW, vrlo je aktivna oko usvajanja tehničkih rješenja u vezi s uređenjem postrojenja za odsuportavanje dimnih plinova buduće TE »Plomin 2«.

Izvršene su potrebne analize za različite postupke odsuportavanja dimnih plinova. Na osnovi dobivenih rezultata raspisat će se natječaj za izbor tehnologije na temelju koje će se odabrati jedna ili više tehnologija za koju će se prikupiti ponude za izbor dobavljača opreme.

U drugom krugu prikupljenih ponuda nosioci će biti domaće organizacije koje će surađivati s davaocima tehnologije.

Osnove za raspisivanje natječaja za prikupljanje ponuda oko izbora tehnologije stvoreni su nakon što je Republički komitet za građevinarstvo, stambene i komunalne poslove i zaštitu okoline izdao investitoru »Sanitaro-tehničke« uvjete za gradnju TE »Plomin 2« vezane na izgradnju uređaja za

odstumporovanje dimnih plinova po kojima će se vršiti izbor tehnologije.

U Službenom listu od 27. prosinca 1986. godine objavljen je natječaj s rokom davanja ponude od 60 dana. Utvrđeno je da se postrojenje za odsumporavanje pusti u pogon približno u vrijeme kao i osnovna oprema bloka 2.

I. R.

STUDIJSKA ISTRAŽIVANJA ZA NUKLEARKE

Elektroprivreda Hrvatske planom razvoja za 1987. godinu predviđa ulaganja od 155 milijuna dinara za studijsko-istražne radove na rješavanju programa razvoja nuklearnih elektrana u SR Hrvatskoj. Najveći dio utrošit će se, oko 100 milijuna dinara, za istražne radove u vezi s izborom lokacije NE »Slovenija«. Do sada su izvredeni istažni radovi na mikrolokaciji Tenja između Dalja i Erduta pokraj Dunava. U 1987. godini treba završiti dva ključna izvještaja i to:

- izvještaj o sigurnostnim aspektima lokacije i
- izvještaj o utjecaju NE na okolinu.

Ovi izvještaji potrebni su za dobivanje odobrenja izbora lokacije NE »Slavonija«. Nosilac poslova istraživanja je RO »Elektroslavonija« Osijek.

Preostali dio ulaganje predviđen je za: istaživanje lokacije za nuklearnu elektranu u Dalmaciji. Posao je povjeren RO »Elektroprivredadalmacije« Split.

Elektroprivreda Rijeka nastavit će istraživanje urana iz pepela raških ugljena. Zajednica elektroprivrednih organizaci-

ja Hrvatske — sektor razvoja obradit će teme: Proračun troškova goriva za nuklearke, razrada matičnog modela za kvalitativnu analizu komponenata NE, analiza pouzdanosti sigurnosti sustava nuklearnih elektrana i dr.

I. R.

VEZA PRIJENOSNIH SISTEMA JUGOSLAVIJE I AUSTRIJE

Između Zajednice jugoslavenske elektroprivrede i Austrijske elektroprivrede — ÖVG — potpisan je sporazum o izgradnji DV 2 x 380 kV Maribor — Kainachtal. Na području Austrije dalekovod će graditi organizacija ÖVG, a na jugoslavenskoj strani nosilac posla je Elektrogospodarstvo Slovenije.

Prema investicionom programu u prvoj fazi opremio bi se samo jedan sistem dalekovoda.

Planom izgradnje elektroenergetskih objekata za 1978. godinu »Elektroprivreda« Hrvatske u ovoj godini za gradnju dalekovoda 380 kV Maribor — Kainachtal predvidila je svoj dio financiranja u iznosu od 450 milijuna dinara.

Izgradnjom tog dalekovoda poboljšat će se povezanost elektroenergetskog sistema SFRJ s interkonekcijom UCPT, a time i sigurnost pogona i mogućnost razmjene električne energije.

I. R.

ŠIROM SVIJETA

SMANJENJE POTROŠKA TEKUĆIH GORIVA U ELEKTRANAMA ZEMALJA EVROPSKE EKONOMSKE ZAJEDNICE

Zemlje evropske ekonomske zajednice uspjele su drastično smanjiti potrošak tekućih goriva za potrebe proizvodnje električne energije i time se osloboditi velikog dijela uvoza nafte. Ove su zemlje 1985. tek 11 % električne energije dobivale izgaranjem naftnih derivata. Deset godina prije toga taj je postotak iznosio 26 %. Sa 37,6 milijuna tona, teklo je u elektrane 1985. oko 40 % manje tekućeg goriva nego 1975. Ukupan potrošak nafte u zemljama EZ u tom je razdoblju snižen od 14 % na 9,8 %. Najveću je uštedu postigla Francuska. Ona je udio nafte za proizvodnju električne energije snizila na 2 % (1975 : 30,5 %). Zatim slijedi SR Njemačka čiji je naftni udio iznosio 1985. 2,5 % (1975 : 10,6). Drastično je smanjenje postignuto i u Danskoj i Irskoj. Udio je spao na 4,9 % (66,5 %) odnosno 19,7 % (66,6 %). Najveći udio u proizvodnji struje ima Italija 40,5 % (56,2 %) i Grčak 26,3 % (41,1 %).

Elektrizitätswirtschaft 86 (1987), br. 2

Mrk.

POTEŠKOĆE U ŠVEDSKOJ AKO BI NUKLEARNE ELEKTRANE ODMAH PRESTALE S RADOM

Poteškoće do kojih bi došlo kad bi se Švedska odmah odrekla proizvodnje nuklearnih elektrana bile bi tolike da se to i ne bi moglo realizirati. To je rezultat istraživanja švedske uprave za energiju. Takav bi potez imao vrlo jak utjecaj na zapošljavanje i konkurentnost industrije, a osim toga i na povećano zagađivanje okoliša. Stoga bi racionalizacija potroška električne energije bila neophodna. Ako bi se napuštanje nuklearnih elektrana provelo unutar 10 godina, to bi dovelo do trostrukog poskupljenja struje. Investicije za prijelaz na loženje ugljenom ili naftom snažno bi utjecale na cijenu električne energije.

Elektrizitätswirtschaft 86 (1987), br. 2

Mrk.

NOVI POKUSNI UREĐAJ ZA NEŠKODLJIVO SPALJIVANJE SMEĆA

U okviru nuklearnog istraživačkog centra u Karlsruhe (SR Njemačka) stavljen je u pogon pokusni uređaj za spaljivanje kućnog smeća kapaciteta 200 kg na sat. Cilj je uređaja da se ispita mogućnost čišćenja dimnih plinova od teških metala i štetnih kemijskih sastojaka. Da se uoči veličina problema spaljivanja smeća, potrebno je iznijeti neke karakteristične podatke iz SR Njemačke. Procjenjuje se da godišnja količina smeća iznosi 25 milijuna tona. Od toga se spaljuje 8 milijuna tona u 46 spalionica. Pritom se stvara 2,5 milijuna tona šljake i 250000 t prašine s filtra. U tom prahu ima 4000 t cinka, više od 1000 t olova i 50 t kadmija. Unatoč filtriranju u atmosferu izlazi oko 5000 t klorovodika, oko 10000 t sumpornog dioksida i poprilično isto toliko dušičnih oksida, također oko 5000 t fine prašine. U toj prašini još uvijek ima oko 400 t cinka, 150 t olova i do 10 t kadmija. Živa izlazi u obliku pare (oko 10 t). Naravno da navedene količine štetnih sastojaka teško opterećuju okoliš. U laboratoriju je razvijen postupak za reciklažu teških metala i odstranjivanje oksida. Takav je postupak primijenjen u novom uređaju za spaljivanje. Dimni se plinovi na poseban način peru, izdvajaju se teški metali, koji se zatim mogu iskoristiti, a ostali kemijski sastojci se učine neškodljivima. Projektiranje i izgradnja ovog eksperimentalnog uređaja trajali su 3 godine uz investiciju od 3 milijuna DM.

Elektrizitätswirtschaft 86 (1987) br. 3

Mrk.

NUKLEARNE ELEKTRANE U SVIJETU

U rujnu 1986. bilo je u 35 zemalja svijeta ukupno 624 nuklearnih elektrana u pogonu, u gradnji ili u narudžbi. Njihova je snaga 501 487 MW. Od toga je u 26 zemalja bilo u pogonu 378 nuklearnih elektrana (273 600 MW), a u 24 zemlje u gradnji njih 150 (134 051 MW). U 22 zemlje bilo je 96 naručenih nuklearnih elektrana (93 836 MW).

Najveći kompleks takvih elektrana u svijetu bio je u području Fukušime u Japanu, ukupne snage 7748 MW, a izgrađen sa 9 blokova. Zatim slijedi nuklearni kompleks Bruce (Kanada) sa 7 blokova ukupne snage 5563 MW i francuski kompleks Gravelines sa 6 blokova snage 5480 MW.

ÖZE 40 (1987), br. 1

Mrk.

SMJERNICE RAZVOJA SOVJETSKE ELEKTROENERGETIKE

Na XXVII. kongresu KPSS donesen je zaključaj o ubrzanom ekonomskom razvoju zemlje na temelju naučno-tehničkih spoznaja. Već u toku 12. petogodišnjeg plana (1986 – 1990) treba intenzivirati razvoj, a posebna je važnost dana energetske gospodarstvu.

U 1985. godini SSSR je imao u elektranama instaliranu snagu od 315 000 MW, što je za 18 % više nego 1980. Proizvodnja je iznosila 1 544 000 GWh, što je pak 19 % više nego 1980. Proizvodnja po stanovniku u godini porasla je u tom razdoblju za 15 % i 1985. je iznosila 5 600 kWh.

Bitne promjene u sovjetskoj elektroenergetici već su počele sedamdesetih godina. Upotreba nafte kao goriva u elektranama počela se sve više smanjivati, a povećavao se udio ug-

ljena s dnevnih kopova i ubrzala izgradnja vodnih i nuklearnih izvora elektroenergije. Također se počela provoditi supstitucija nafte zemnim plinom. Do 1985. godine 6 je termoelektrana, ukupne snage 4700 MW, pregrađeno od loženja naftnim derivatima na loženje plinom. U toku 1986. to treba učiniti sa još 12 termoelektrana instalirane snage 6000 MW. Ekonomičnost proizvodnje povećala se upotrebom parnih blokova velike snage s povećanim parametrima pare. Godine 1953. ušao je u pogon najveći agregat snage 150 MW, a 1983. u NE Ignalinska agregat od 1500 MW.

Izgradnja nuklearnih elektrana stalno je forsirana pa se njihova snaga povećala kako slijedi:

1975.	4 900 MW
1980.	12.760 MW
1985.	28 000 MW.

Gotovo cijeli porast ostvaren je u evropskom dijelu SSSR-a. U razdoblju 1986. do 1990. trebalo bi ući u pogon novih 41 000 MW nuklearnih elektrana.

Glavna razvojna linija sovjetske elektroenergetike je danas, a bit će i ubuduće, razvoj nuklearne energetike. Na njoj počiva racionalizacija u upotrebi goriva za elektrane. Mnogo se polaže i na iskorišteno oko 20 % ekonomski iskoristivih vodnih snaga. Na istoku taj postotak iznosi 14 %. U pripremi je npr. iskorištenje sibirskije rijeke Jeniseja. u hidroelektrani Turušansk predviđa se ugradnja 10 golemih hidroagregata od po 1000 MW.

Prema ovim smjernicama već se u 12. petoljetki (1986 – 1990) trebaju ostvariti sljedeći ciljevi uz navedeni prioritet razvoja nuklearne energije:

1. Treba staviti u pogon znatne snage termoelektrana na istoku, koristeći u prvome redu ugljen u području Ekibastuz, Kansk-Ačinsk i Kuznjec, kao i plin iz dalekog sjevera.
2. Staviti u pogon znatne snage hidroelektrane u Sibiru, srednjoj Aziji i Dalekom istoku i više pumpnih elektrana u evropskom dijelu SSSR-a.
3. Izgraditi toplane zbog štednje goriva.
4. U velikom opsegu modernizirati stare termoelektrane.
5. Izgraditi prijenosne sisteme 1150 kV trofaznog i 1500 kV istosmjernog napona. Time će se na zapadu moći koristiti energija velikih sibirskih termoelektrana i spojiti elektroenergetski sistem SSSR-a.
6. Smanjiti gubitke povišenjem prijenosnih napona i ugradnjom kompenziranih uređaja.
7. Bitno pojačati pogonsku spremnost u pogledu opskrbe poljoprivrede elektroenergijom i pouzdanosti napajanja seoskih potrošača.
8. Izgraditi pokusne uređaje za korištenje obnovljivih izvora energije.

Energietechnik 36 (1986) br. 12

Mrk.

PRVI PRIJENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE NAPONOM 1 150 kV

Prva dionica prijenosa na svijetu s ultravisokim naponom od 1 150 kV (maksimalni pogonski napon 1200 kV) ušla je u pogon u SSSR-a 1985. godne.

Dionica duga 497 km veže stanice Ekibastuz i Kokčetau i u pogonu je kao eksperimentalno-elektroprivredni prijenos već duže od godine dana. U tom razdoblju pogon je bio vrlo uspješan, a proveden je velik broj opsežnih ispitivanja i provjera.

Navedena linija je dio voda čija će duljina iznositi oko 2500 km. U prvo bi se vrijeme vodom prenosila snaga od nekih 2500 MW, od velikog kompleksa termoelektrana ugljenog

bazena Karagande (stanica Ekibastuz) na Ural (stanica Čeljabinsk). U daljnjoj izgradnji povezali bi se elektroenergetski sistemi Sibira i Kazahstana. Tada bi dalekovod prenosio 5000 do 5700 MW. Na taj bi način evropskih dio SSSR-a bio direktno vezan sa svojim sibirskim područjem. Predviđene su čvorne točke, tj. transformatorske stanice, računajući od istoka prema zapadu: Barnaul (južno od Novosibirsk) — Ekibastuz-Kokčetaf-Kustanaj-Čeljabinsk (Ural).

Ispitivanja potrebna za prijelaz na ultravisoki napon od 1200 kV već su počela 1973. u ispitnoj stanici Beli Rast, a zatim su nastavljena na pokusnom vodu Itat-Novokuznjeck. Na temelju ovih rezultata Energosetprojekt je izradio konkretne projekte prijenosa. U razdoblju pokusnog pogona di-onice Ekibastuz — Kokčetaf provedena su kompleksna ispitivanja stavljanja u pogon, pojave prenapona prilikom skla-panja, rad zaštite itd. Ispitivanja su potvrdila ispravnost osnovnih naučnih pretpostavki i projektnih rješenja. Dobi-veni rezultati omogućuju da veza uđe u redovnu eksploata-ciju.

U skladu s koncepcijom predviđene su dvije vrste stanica: stanice za velike proizvodne centre i stanice (mrežne) za povezivanje sistema i predaju energije. U prvoj je grupi sa-mo stanica Ekibastuz, a u drugoj sve ostale. Zbog poveća-nja prijenosne moći i stabilnosti pogona u drugom su tipu stanica predviđeni jaki kompenzacioni uređaji. Razmatrane su dvije varijante:

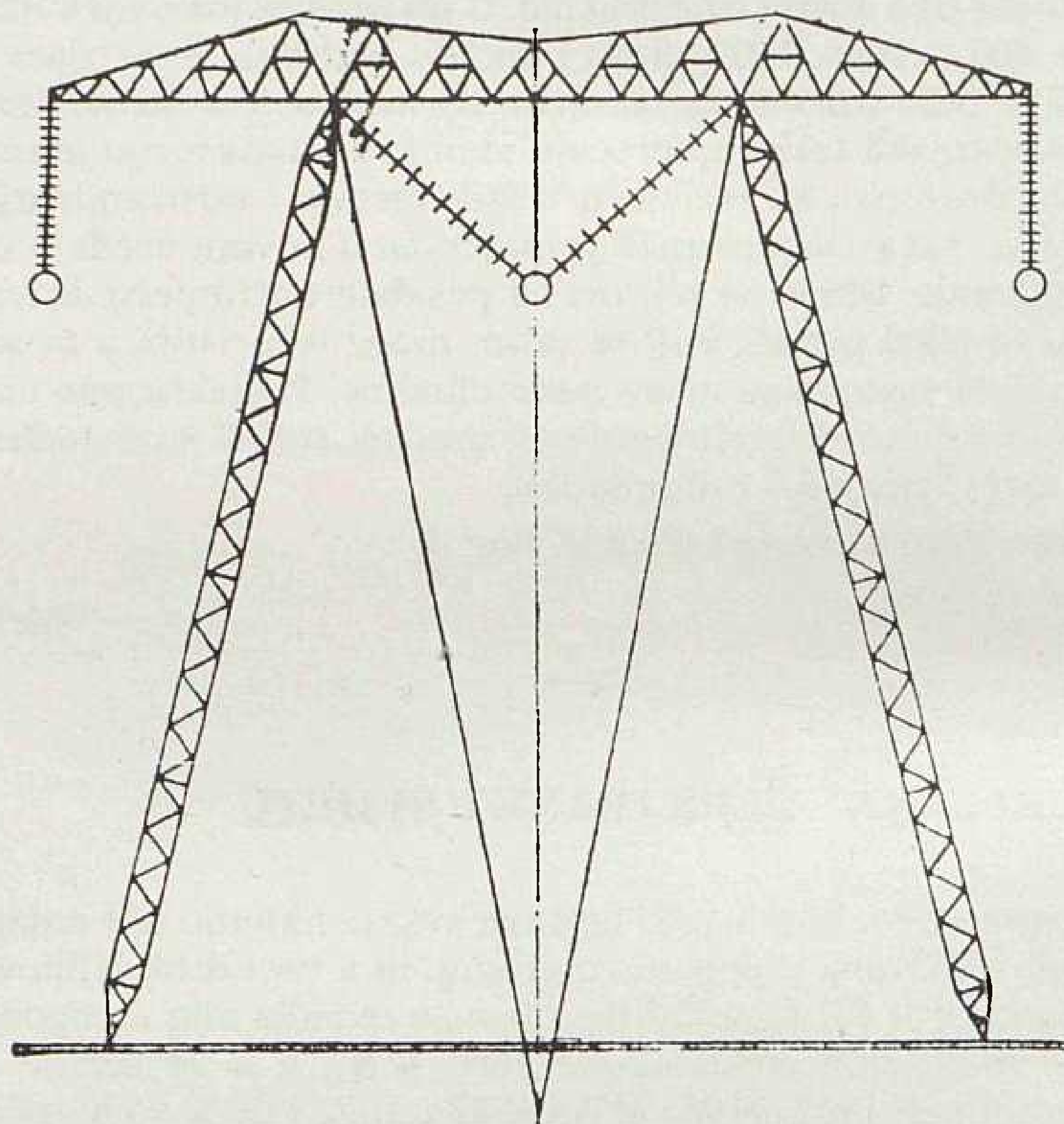
- sinhroni kompenzatori i reaktori 1150 kV, 500 MVar,
- statički tiristorski kompenzatori 500 kV, 450 MVar.

Tim bi se uređajima omogućio prijenos od 5500 MW po trojki. Premda se pokazalo da tiristorski kompenzatori imaju prednost, u dio linije koja je sada aktualna ugradit će se reaktori s mogućnošću da se s vremenom ugrade tiristor-ski kompenzatori kad ih razviju sovjetske tvornice. Kako je

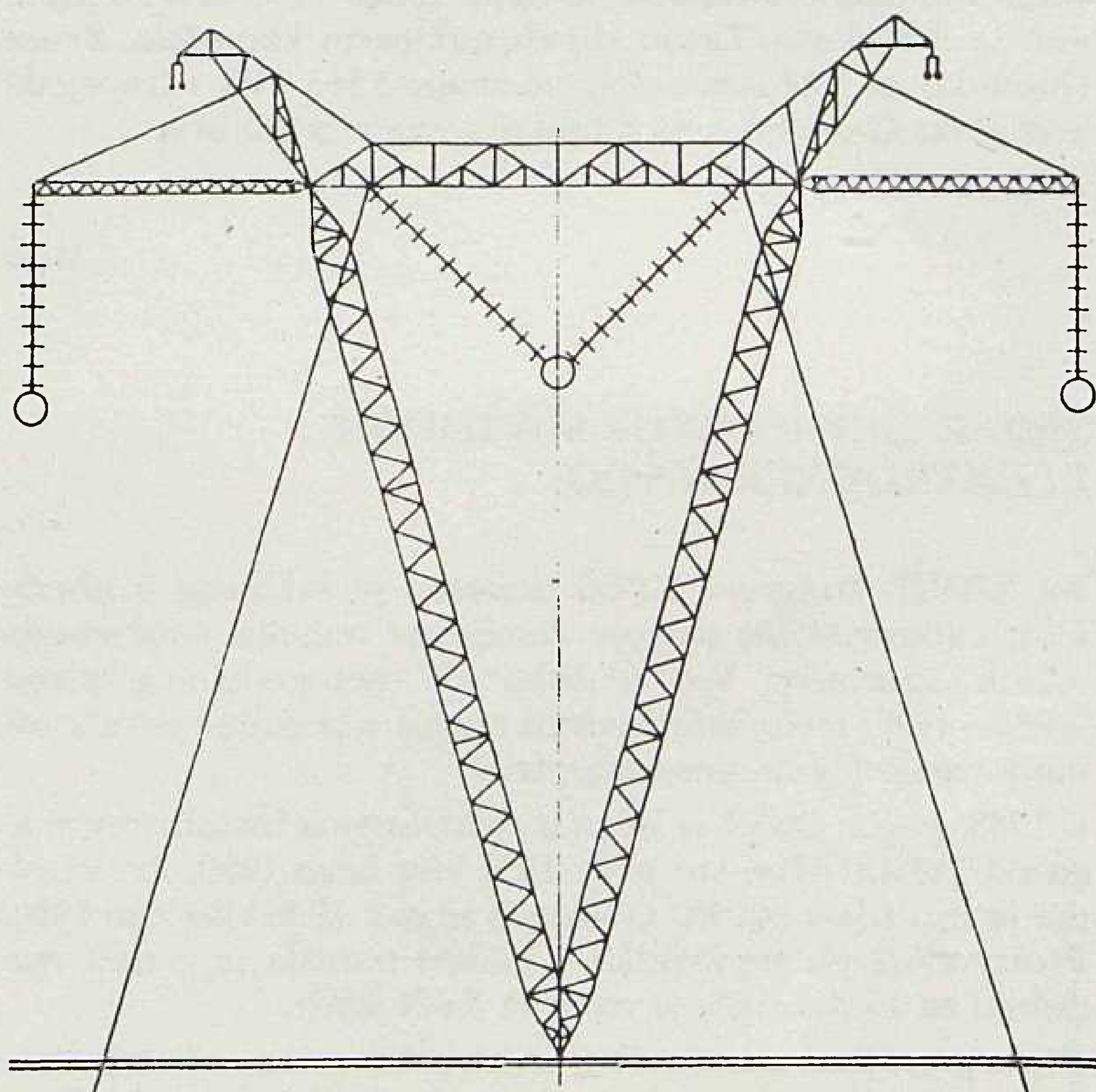
u području kud prolazi trasā voda 1150 kV izgrađena viso-konaponska mreža 500 kV, s tri jednofazna transformatora 3 x 667 MVA. Prenaponski uređaji ograničuju prenapone na postrojenju na $1,8 U_F$. Na svaki porast pogonskog napona preko 1,1. U djeluje unutar 1 do 3 sekunde automa-tika koja uključuje reaktore. Ako se napon poveća $(1,2 - 1,4)\sqrt{2}$, U-linija se isključuje za 0,1 do 0,4 sekunde.

Da se dobije najoptimalnija konstrukcija faza na dalekovo-du, razmatrane su dvije varijante snopa vodiča; sa 8 i sa 12 alučeličnih užeta u snopu. U realizaciji projekta primijenjen je snop od 8 užeta Ač 330/43 i Ač 300/48 (sl. 1).

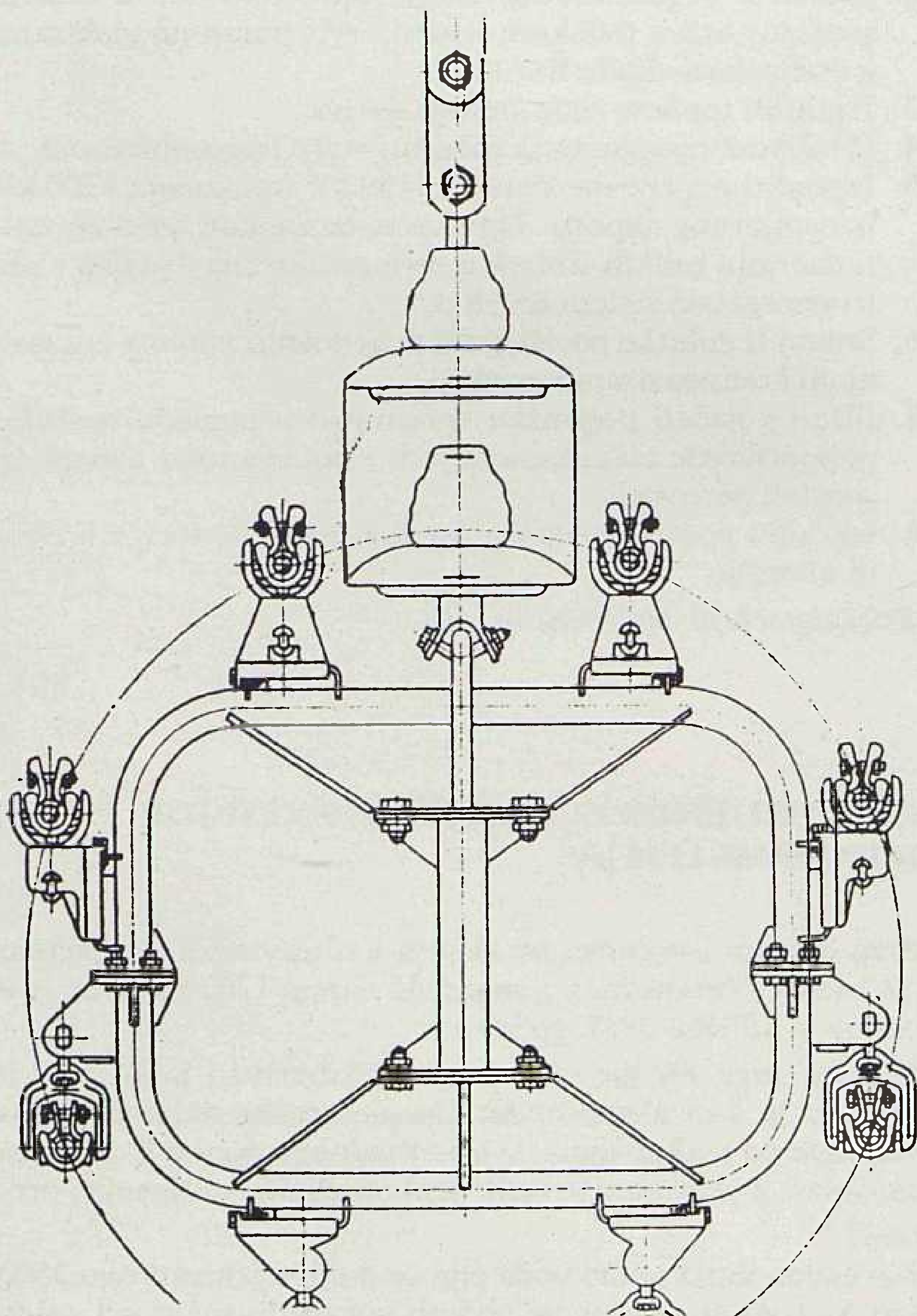
Za nosne stupove razmatrano je 5 varijanti konstrukcije. U jednom je dijelu voda primijenjen stup sa zategama V konstrukcije (sl. 2), a drugom portalni stup (sl. 3), oba s hori-zontalnim rasporedom vodiča.



Slika 2.



Slika 3.



Slika 1.

Zaštita od atmosferskih prenapona izvedena je sa dva snopa zaštitnih užeta od po dva užeta. Time je omogućeno ugraditi određeni broj kanala za potrebe veza upravljanja i dispečiranja.

Visine vodiča nad zemljom odabrane su tako da je jačina električnog polja 1,8 m iznad zemlje navjise 15 kV/m u naseljenim područjima i 10 kV/m na prelazu autocesta. Prijelaz preko naseljenih mjesta nije dopušten.

Električeskie stanciji 1982, br. 10.

Električeskie stanciji 1986, br. 7.

Mrk.

SUPER-DUBOKO BUŠENJE U SAD I U SR NJEMAČKOJ

Superduboko bušenje u SAD počinje 1987/88. godine

U »Energiji« broj 5, 1985, str. 382, pisali smo krajem 1984. godine o najdublje izbušenoj istražnoj bušotini (preko 12000 m) na svijetu — na poluotoku Kola u SSSR-u. Sada se izvještava o projektu isto tako »superduboke« bušotine u »konkurentskom« dijelu svijeta — u SAD i u SR Njemačkoj.

»Deep Observation and Sampling od the Earth's Continental Crust Incorporation, DOSECC«, istraživački konzorcij SAD za znanstveno istraživanje kontinentalne kore Zemlje prvi put najavljuje predstojeće izvođenje 15000 m duboke istražene bušotine u SAD. Institut pod okriljem »National Science Foundation, NSF« ima kao akcionare 23 sveučilišta iz 17 saveznih država, ali i pokretače iz redova velikih naftnih kompanija, Državnog sekretarijata za unutrašnje poslove i energiju te Savezne geološke službe SAD. Institut nastupa, dakle, u svom planu u ime velikog kruga zainteresiranih i eksperata. DOSECC predstavlja time kontinentalnu verziju 1985. godine započetog programa »ODP — Ocean Drilling Programm«. (Ovaj ODP program je nastavak tzv. »ODSP — Deep Sea Drilling Project«, programa vrlo dubokih marinskih bušenja u toku od 1968. do 1983. god. — bušenja u svim svjetskim morima: pred američkom obalom, u Karibima, Pacifiku i sjevernom Atlantiku.)

Glavni cilj planiranog superdubokog bušenja treba biti istraživanje razvoja kontinenata i kopnene litosfere, sedimentacijskih bazena, aktivnog vulkanizma, termalnih i hidrotermalnih sistema, kao i geneze kristala. Prema određenom lokalitetu bušotine istražiti će se i problemi temeljnih struktura, dubokih kopnenih potolina i lomnih zona. Prema tome vršit će se 12000 do 15000 m duboke istrage — sve u prekambrij. Kao početak bušenja sada se spominje termin 1987/88. sa bušenjem do 15000 m u području Apalača (atlantska provincija) unutar duge zone navlačenja. Pretpostavlja se da tamo leže jako metamorfozirane kristalaste stijene tzv. »afričke podloge« nad slabo metamorfnim sedimentima »američkog facijesa«. Prema geološkim hipotezama u ovoj su navlačnoj zoni prije oko 250 milijuna godina bile spojene sjevernoamerička i afrička ploča u jedinstvenu, ali deformiranu ploču, iz koje je izraslo gorje Apalači. Predviđa se da će trajati 5 do 10 godina. Prije bušenja trebaju još detaljnija geofizička istraživanja odrediti najpovoljniju lokaciju. Osim toga, prethodnim bušenjem na dubini do 300 m treba ispirati pokrovne sedimentne naslage. Znanstvena i tehnička razmišljanja o projektu takve veličine široka su, ali i suprotna — naročito zbog problema tehnike bušenja, jer će se raditi u ekstremno tvrdim kristalastim stijenama.

U SAD radi se trenutno na još dva istražna projekta dubokog bušenja koji trebaju započeti 1987. godine. Prvi se od-

nosi na bušotinu dubine 4500 m u području Creede-Minen-district, Colorado, za istraživanje geokemijskih i fizikalnih odnosa epitermalnih željeznih rudišta, obrazovnih na vrhu dubokog hidrotermalnog sistema, a drugi na ponovno savlađivanje bušotine u kalifornijskom prijevoju Cajon za istraživanje tektonskih procesa duž poznate lomne linije San Andrés.

(Übertiefe Bohrung in den USA beginnt 1987/88. »Erdöl und Kohle — Erdgas«, 39, 1986, 6, 153).

Kontinentalni program dubokog bušenja a Saveznoj Republici Njemačkoj

Kontinentalni program dubokog istražnog bušenja u Saveznoj Republici Njemačkoj ima pred sobom ovaj osnovni cilj: »Istraživanje osnova o uvjetima fizikalnih i kemijskih stanja i procesa u dubokoj kori za razumijevanje dinamike i evolucije obrazovanja interkontinentalnih struktura«.

Tehnički koncept predviđa prethodno istražno bušenje na dubini oko 3000 m i superduboko bušenje s planiranom konačnom dubinom od 12 do 14 km. Poseban izazov prethodnog bušenja jest u kontinuiranom vađenju uzoraka u kristalastim stijenama, a glavnom bušenju u očekivanim visokim temperaturama i pritiscima u ekstremnoj dubini.

Za tehničku realizaciju bušenja uradit će se opsežni istraživački i razvojni projekti.

Za izvođenje superduboke bušotine postaviti će se posebni zahtjevi u odnosu na kapacitet bušace garniture i vremena spuštanja te dizanja bušaćih šipki.

Istraživanje geoznanstvenih osnova već tradicionalno ima u SRNJ veliko značenje i doživjelo je međunarodno priznanje. S kontinentalnim programom superdubokog bušenja nastavlja se tradicija i stvara se pretpostavka za njemačku znanost da dade poseban prilog svjetskim nastojanjima u istraživanju grade i razvoja Zemljine kore.

Nacionalni program se u okviru »Internacionalnog programa istraživanja litosfere«, u kojem sudjeluju brojne države, kao SAD, Kanada, Francuska, Švedska, Švicarska i neke zemlje tzv. istočnog bloka svojim dubokim bušenjima i dubokim seizmičkim ispitivanjima. Najdublje bušenje dosad na svijetu s viš od 12 km konačne dubine, izvedeno je u SSSR-u na poluotoku Kola.

Lokacija superduboke istražne bušotine u SRNJ nalazi se u graničnoj zoni između moldanubika i saxoturingika, u području srednjoevropske kontinentalne kore, oko 40 km jugositočno od grada Bayreutha — blizu kristalastog Češkog masiva.

Ovaj kontinentalni program dubokog bušenja treba da pridonose rješavanju sljedećih pitanja:

- Kakvu strukturu ima podloga srednje Evrope i kako je nastala?
- Kako se razvijao i mijenjao sastav materije Zemljine kore u geološkoj prošlosti?
- Koje vrste i količine plinovitih i tekućih materija (fluida) sadrži kora? Kako se ovi fluidi kreću u stijenama i kakav utjecaj imaju na procese u njima, kao npr. obrazovanje mineralnih ležišta ili otpuštanje stijenskih napona u vezi s potresima?
- Kakve se reakcije vrše u dubini?
- Kako se ponašaju stijene kod temperatura u velikim dubinama (kod 12000–14000 m možda 250–300 °C) odnosno kod pritiska (npr. 2000 bara), te kakva su njihova mehanička, električna i magnetska svojstva, kao i proizvodnja topline u tim uvjetima?
- Što je priroda na površini izmjerenih geofizičkih heterogenosti?

Pošto je Bavarska dala na raspolaganje teren za to bušenje odredit će se u proljeće 1987. godine lokacija za bušenje i podignuti kompleks objekata za laboratorije, vodstvo projekta i ostalo.

Nastojat će se sa bušenjem prethodne istražne bušotine započeti rujna 1987. godine.

Paralelno s time provodit će se pripreme za glavno bušenje, koje treba da započne u ljeto 1989. godine. Na kraju treba naglasiti da je tehnički koncept ovog kontinentalnog dubokog bušenja zadatak interdisciplinarnog znanstvenog, tehničkog i ekonomskog optimiranja.

(H. Rischmüller, C. Chur: Kontinentale Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland. »Erdöl, Edrgas, Kohle«, 103, 1987, 1, 11 – 16).

Dr. Z. K.

DA LI JE VEĆ NA VIDIKU SLJEDEĆA EKSPLOZIJA CIJENA NAFTE?

Ako cijene nafte za vrijeme sljedeće tri godine i dalje budu oscilirale između 12 i 17 \$ US, svijet bi, prema mišljenju »Chese Econometricsa« — a, 1989. godine mogao doživjeti sljedeću krizu cijena nafte, jer bi OPEC u to vrijeme već mogao s više od 50% sudjelovati u opskrbi naftom tzv. slobodnog svijeta. Ova ja pak u području mogućeg i onda ako će cijena biti od danas do 1990. god. u prosjeku kod 20 \$ po barelu. »Krah« (slom) će se onda samo pomaknuti na početak 90-ih godina.

Ovakav razvoj se ne može izbjeći s obzirom na porast potražnje naftnih proizvoda, kao i veliko smanjene istražne djelatnosti zemalja izvan OPEC-a, navodi informacijska služba »Erdöla« prema studiji »Chese Econometrisc a«.

(Ist die nächste Ölpreisexplosion schon in Sicht. »Erdöl, Edrgas, Kohle«, 102, 1986, 12, 541).

Dr. Z. K.

NOVE KNJIGE

Stephan K. — Mayinger F.: THERMODYNAMIK, Band I Einstoffsysteme

Izdavač: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, London, Paris, Tokyo 1986; 510 stranica, 214 slika, 2 dijagrama, format 24 x 16,5 cm, tvrdo ukoričeno. Cijena DM 86.

Ovo je već dvanaesto izdanje ove knjige, ali se od prethodnih razlikuje po tome što je znatno prerađeno. No unatoč promjenama cilj je knjige ostao isti. To je udžbenik termodinamike namijenjen ponajprije studentima tehničkih znanosti koje treba uputiti u osnove termodinamike i njezinu tehničku primjenu. Materija knjige je prikazana zorno, a brojni podaci o svojstvima tvari olakšavaju rješavanje praktičnih zadataka.

Tehnički kružni procesi obrađeni su iscrpno, uključujući i promjenu stanja plinova, posebno vodika. Glava o procesima strujanja je dosta sažeta, a dvofazna su strujanja posve izostavljena jer je to obrađeno u mnogim specijalnim radovima. Termodinamika termičkih procesa, hlađenja, kao i

toplinske pumpe objašnjeni su pomoću eksergije, koja je za ovakva tumačenja naročito prikladna. Sve tablice i dijagrami su nanovo obrađani prema njanovijem stanju nauke o toplini. S obzirom na činjenicu da se unatoč uvođenju novih jedinica još uvijek često susreću i stare jedno je poglavlje posvećeno sistemima jedinica.

Sadržaj knjige najbolje se razabire iz naslova poglavlja:

1. Zadatak i osnovni pojmovi termodinamike
2. Termodinamička ravnoteža i empirička temperatura
3. Prvi glavni stavak termodinamike
4. Drugi glavni stavak termodinamike
5. Termodinamička svojstva materije
6. Termodinamički procesi
7. Strujanje plinova i para
8. Pogoni zračnim strujanjem
9. Osnovni pojmovi prijenosa topline

Na kraju knjige priložene su tablice pare i rješenja zadataka na vježbu.

Mrk.

IZDAVAČI

Godište 36 (1987)

Zagreb 1987

Br. 4

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

SADRŽAJ

<i>Rajić Ž.:</i> Nepotpuni model za određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža (Originalni znanstveni rad)	307
<i>Kalan B.:</i> Karakteristike regulacije termoenergetskog bloka s obzirom na regulaciju frekvencije u elektroenergetskom sistemu (Pregledni rad)	315
<i>Matanić D.— Kisić Z.:</i> Veliki tranzitni vrelovi (Stručni rad)	323
<i>Nikolić B.:</i> Položaj kablova u kablovskom rovu (Stručni rad)	331
<i>Petrović M.— Špišić Z.— Avdagić A.:</i> Primjena računala u pripremi i praćenju proizvodnje metalnih konstrukcija (Stručni rad)	337
Rad Instituta za elektroprivredu u 1986. godini	345
Vijesti iz elektroprivrede	364
Širom svijeta	367
Oglasi	373

IZDAVAČKI SAVJET

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

UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.

Urednik: Zdenka Jelić, prof.

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

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

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

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

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 3000 dinara, a za poduzeća i ustanove 8000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 1500 (za studente 200) dinara.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec

ENERGETIKA

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

Evo nekoliko podataka:

Parni kotlovi i izmjenjivači topline

Više jednocjevnih parnih kotlova za pet termoelektrana u Jugoslaviji.

Dizel motori

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

Plinske turbine

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

Proizvodnja električne i toplinske energije

① Kombinirana električna centrala s plinsko/parnim turbinama u Maleziji.

Gorivo: zemni plin na licu mjesta.

Toplinske pumpe

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

Vodne turbine

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

Komponente za nuklearne elektrane

④ Završni radovi u jednoj od švicarskih nuklearnih centrala.

Ventili

⑤ Visokotlačni sigurnosni ventili za termocentralu.

Pumpe

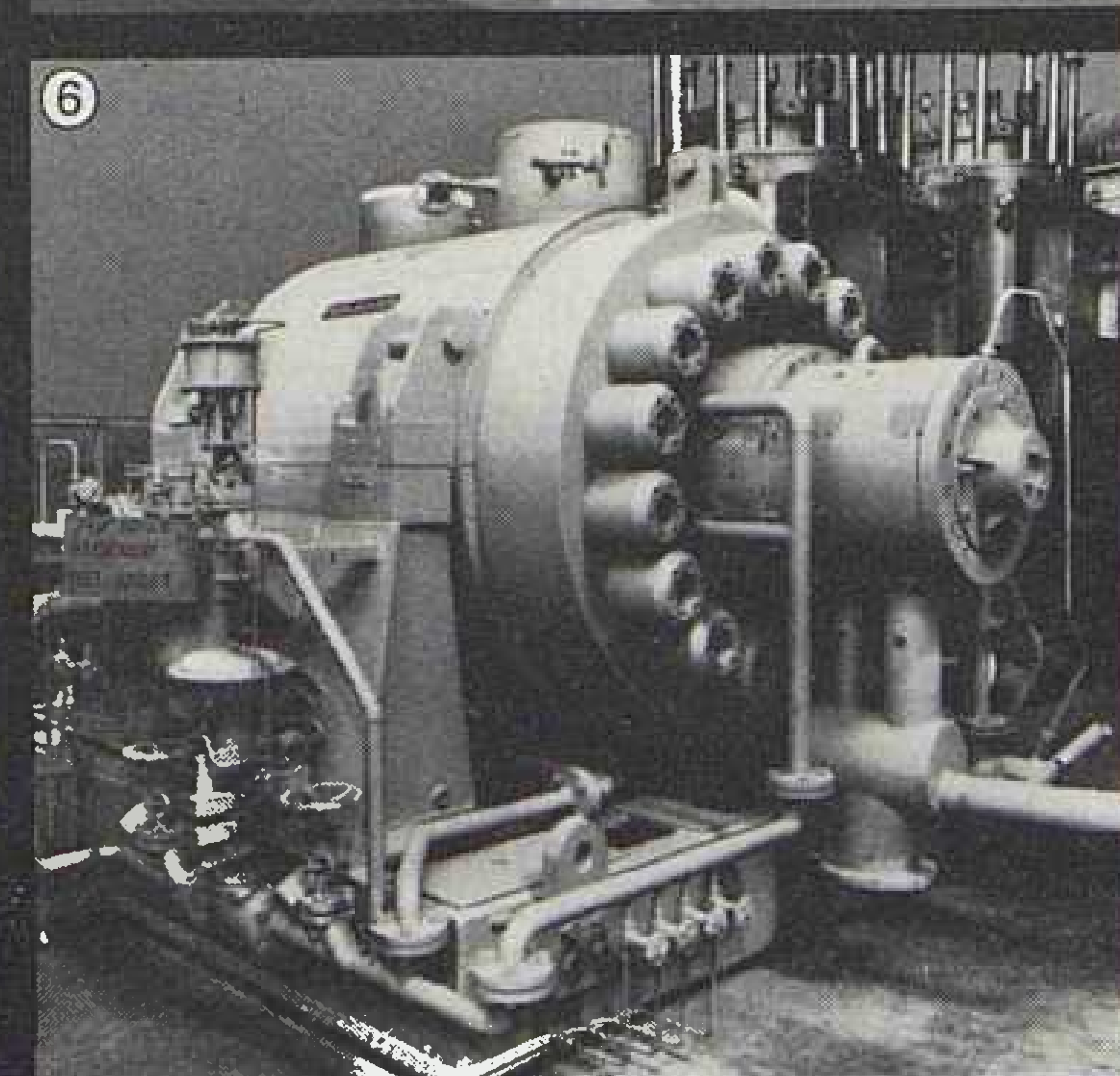
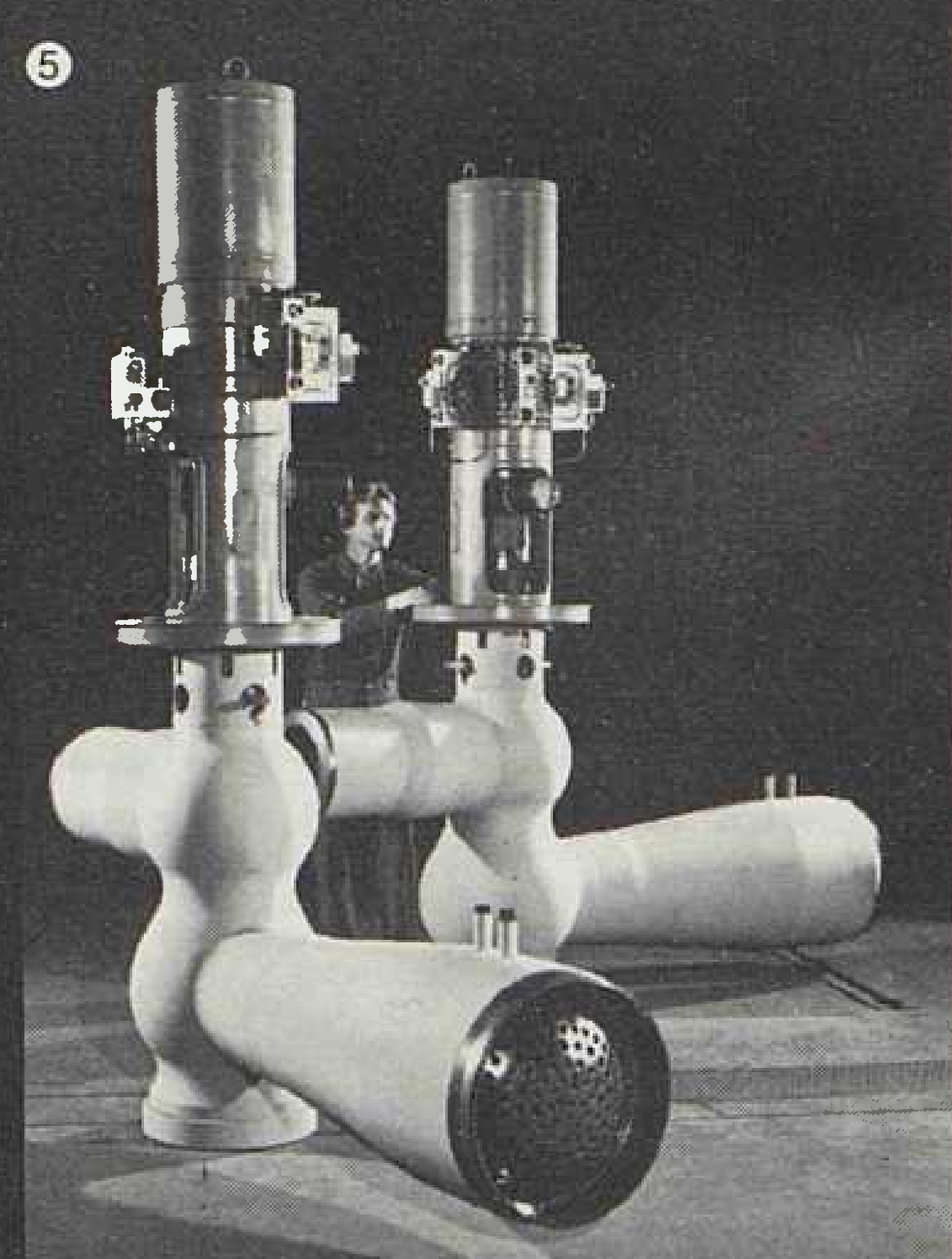
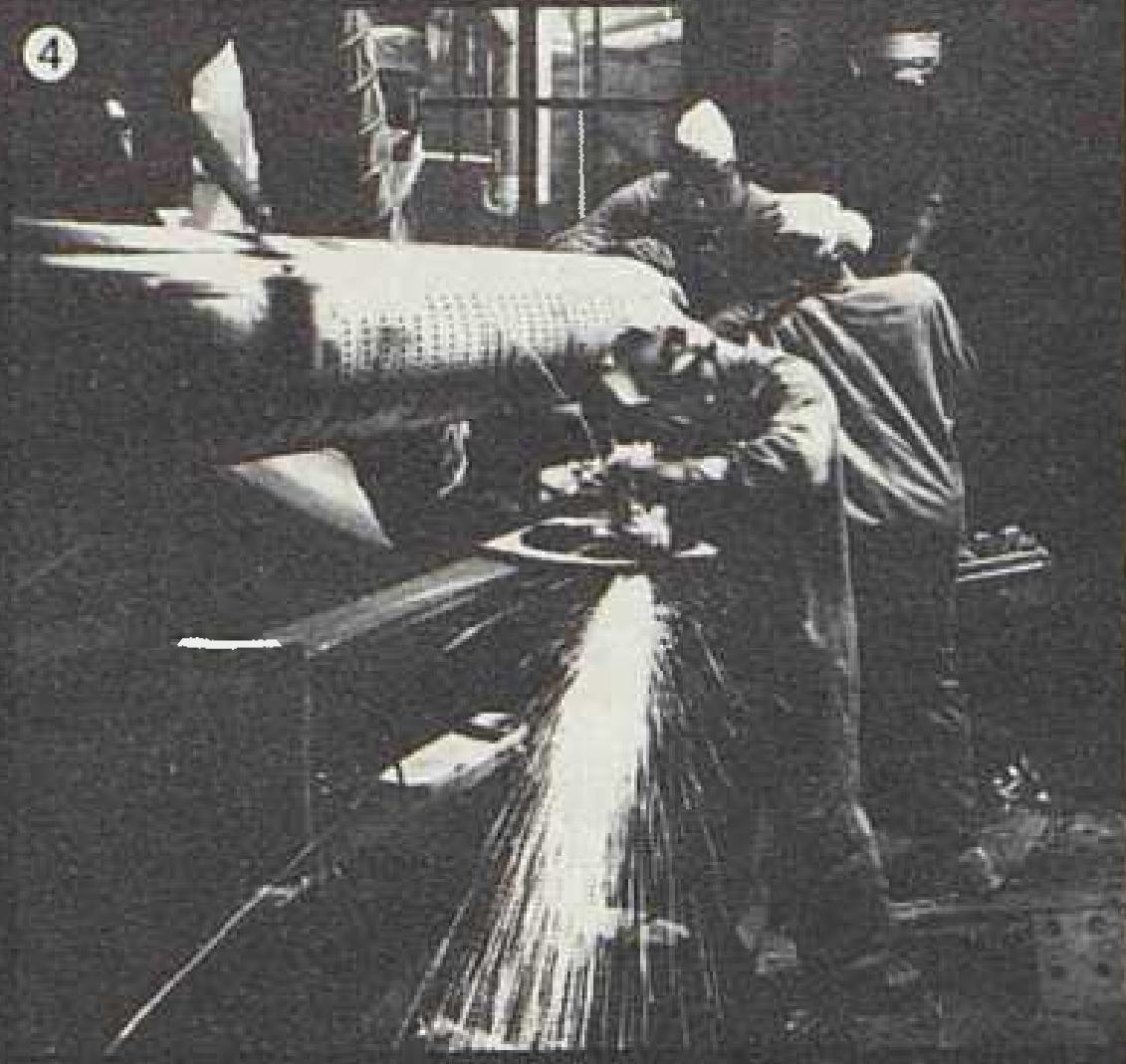
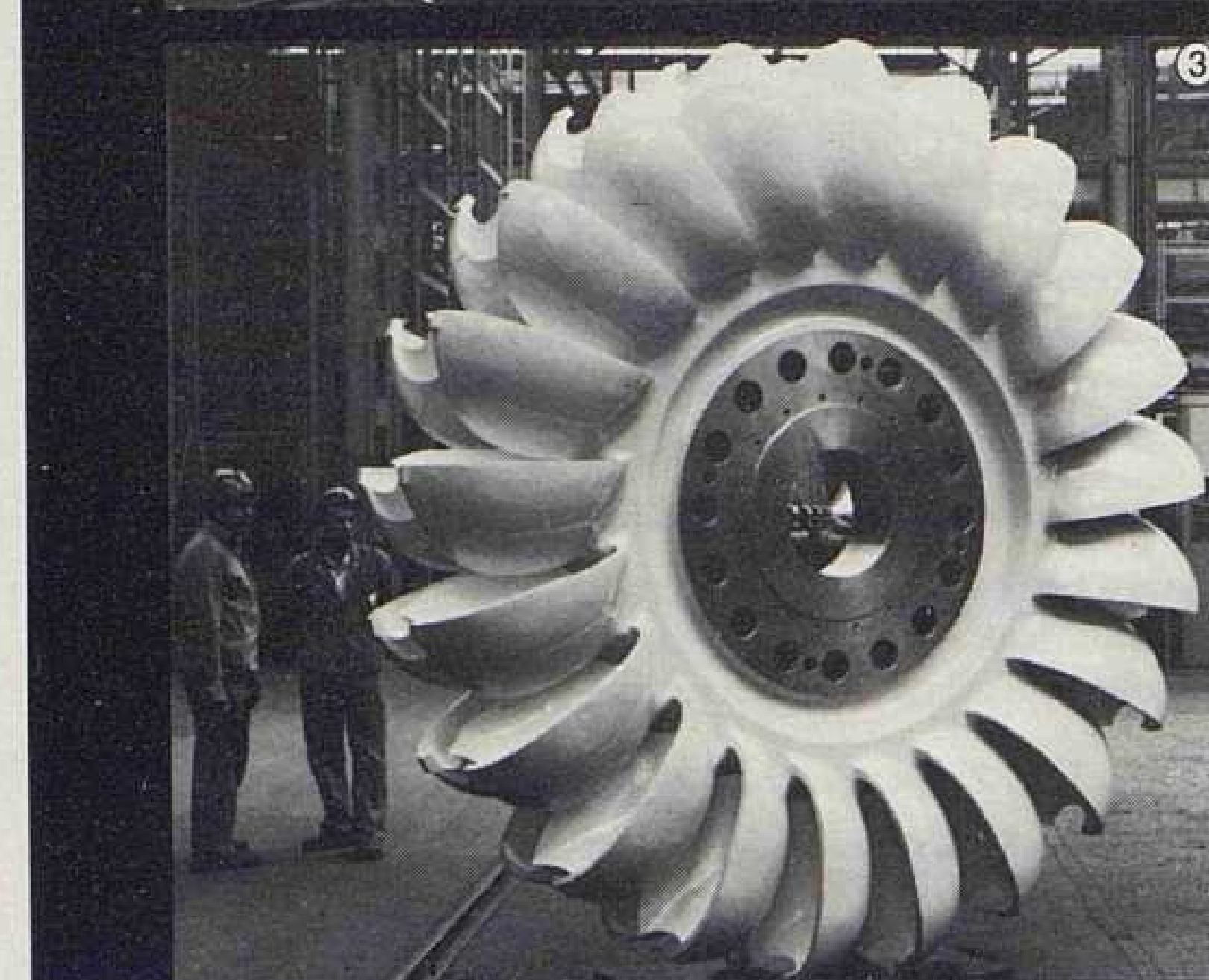
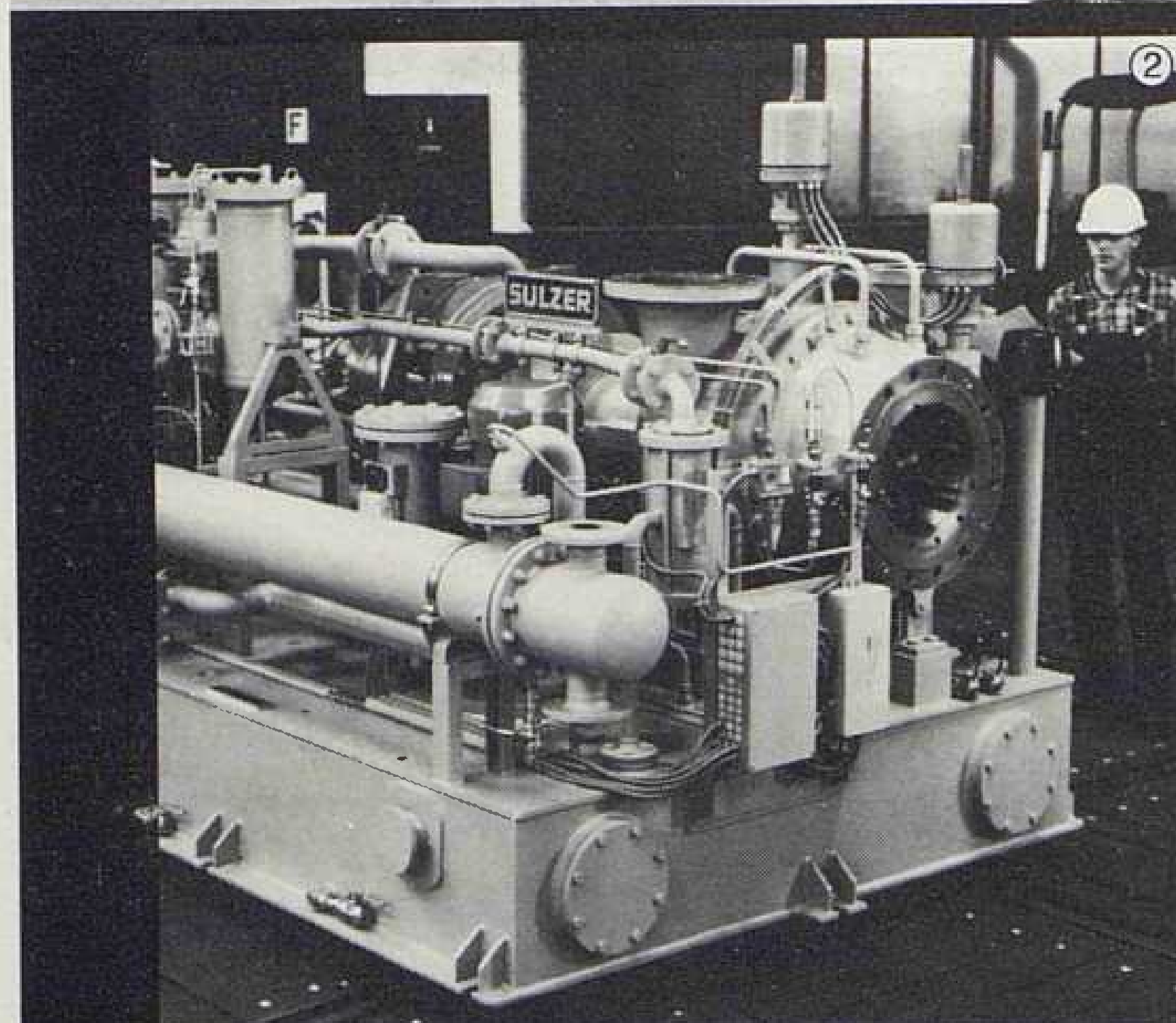
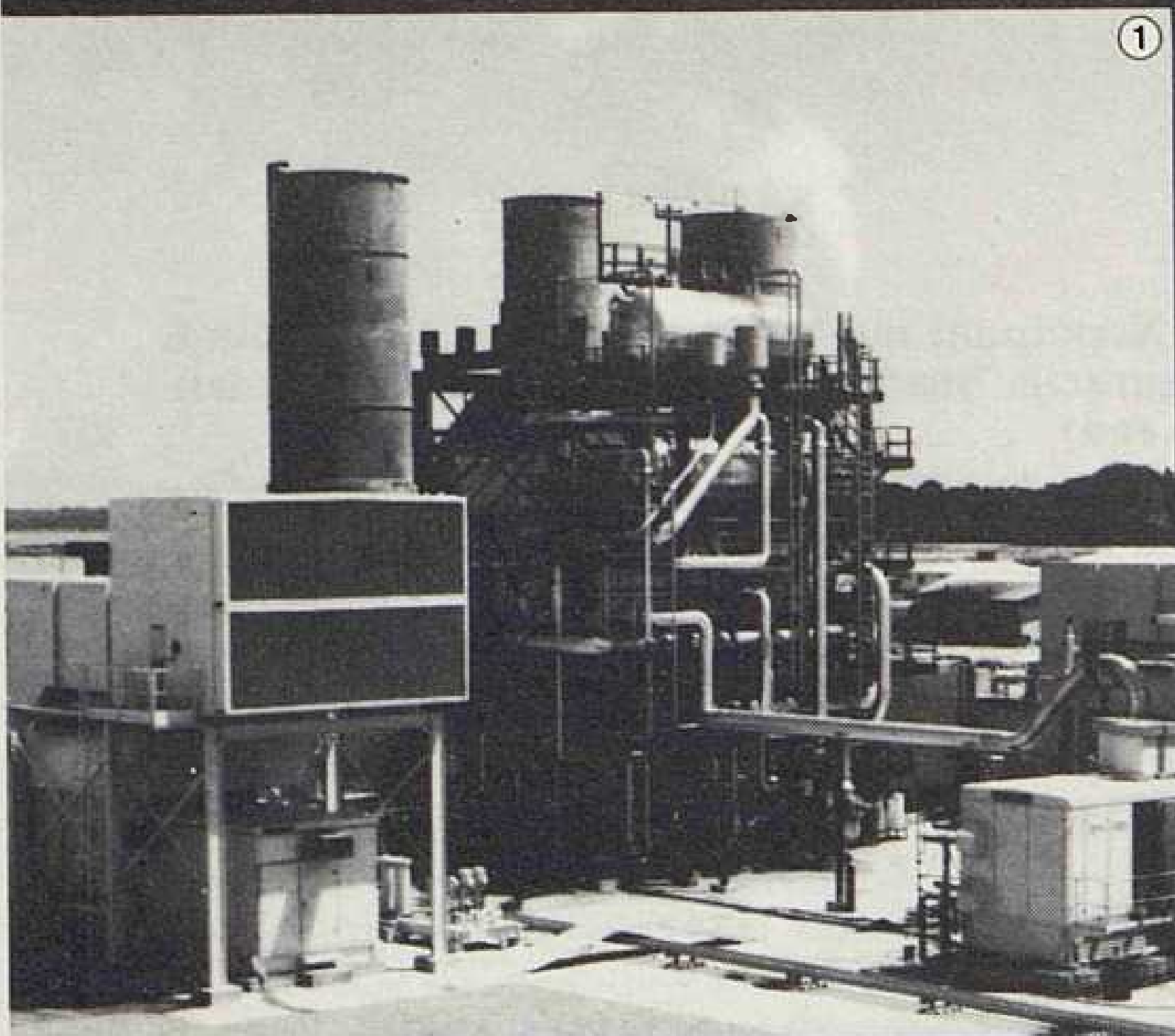
⑥ Kotlovska napojna pumpa za 600 MW-termoelektranu u Nizozemskoj.

Sistemi za upravljanje i reguliranje

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

SULZER®

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft
8401 Winterthur
Telefon 052-81 11 22
Telex 896 060



NEPOTPUNI MODEL ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNIH KONFIGURACIJA RAZDJELNIH MREŽA

Mr. Željko Rajić, Zagreb

UDK 621.316.001.57:681.3

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je prikazan nepotpun model za određivanje optimalnih konfiguracija distributivnih mreža, a riješen točnim algoritmom koji se bazira na primjeni matematičkog programiranja. Model je nepotpun jer su vodovi prikazani samo s varijabilnim, dok su transformatorske stanice opisane i s fiksnim troškovima. U odnosu na točni model odgovarajući kompjutorski program se jednostavnije kodira i brže izvodi, a pruža rezultate koji su vrlo blizu optimalnima.

Ključne riječi: razdjelna mreža, nepotpuni optimizacijski model, matematičko programiranje.

1. UVOD

Određivanje optimalnih konfiguracija elektroenergetskih razdjelnih mreža primjenom tehnika matematičkog programiranja zahtijeva i svrsishodno prezentiranje elemenata distributivnog sistema.

Elementi važni za cilj optimiranja su vodovi i napojne transformatorske stanice, a opisani su određenim tehničkim i ekonomskim karakteristikama.

Zadatak je odabrati najjeftiniju konfiguraciju električne mreže koja zadovoljava tehničke uvjete. Tehničke karakteristike transformatorskih stanica ovise o upotrijebljenim transformatorima, a vodova o materijalu i presjeku vodiča, kao i vrsti voda. Ekonomski parametri su troškovi investicija i eksploatacije. Troškovi eksploatacije ili pogonski troškovi sastoje se od troškova održavanja i troškova zbog gubitka električne snage i energije. Troškovi investicija i održavanja pojavljuju se čim je neki element u pogonu i ne ovise o opterećenju, pa predstavljaju stalne ili fiksne troškove. Troškovi zbog gubitaka čine promjenljive ili varijabilne troškove jer ovise o opterećenju. Također, troškovi održavanja i gubitaka moraju se aktualizirati jer se pojavljuju u toku čitavog perioda promatranja ili životnog vijeka elementa.

Ako se napojne transformatorske stanice i vodovi prikažu s fiksnim i varijabilnim troškovima, onda se može formulirati potpuni model za određivanje optimalnih konfiguracija distributivnih mreža. Sam optimizacijski problem predstavlja zadatak mješovitog cjelobrojnog linearnog programiranja ili, kako se jednostavno zove, problem fiksnih troškova. Kako je pokazano u [1], može se egzaktno riješiti. Međutim, u slučajevima većih dimenzija vrijeme izvođenja odgovarajućih kompjutorskih programa znatno je i predstavlja stanovit nedostatak.

U ovom radu prikazan je nepotpuni optimizacijski model u kome su zanemareni fiksni troškovi vodova,

čije je rješavanje jednostavnije, izvođenje pripadnog programa na elektroničkom računalu mnogo brže, a rezultati vrlo blizu optimalnim.

2. MODEL S VARIJABILNIM I NEPOTPUNIM FIKSNIM TROŠKOVIMA

2.1. Matematički opis modela

Cilj je odrediti najjeftiniju konfiguraciju distributivne mreže uz pretpostavku da su poznata mjesta i iznosi potrošnje, stvarne ili potencijalne lokacije i veličine napojnih transformatorskih stanica te njihove troškovne karakteristike, kao i potencijalne trase vodova koji su opisani odgovarajućim tehničko-ekonomskim parametrima. Pritom moraju biti zadovoljena ograničenja koja se odnose na dozvoljena opterećenja vodova i transformatorskih stanica. Također, padovi napona moraju biti unutar zadanih tolerancija, a dobivena konfiguracija električne mreže radikalna.

Namjera je bila da se pokuša formulirati takav model koji bi pružao još uvijek kvalitetne rezultate, a lakše i brže bi se rješavao nego točni. Ako se zanemare fiksni troškovi, optimizacijski problem svodi se na pretovarni i jednostavno se rješava. Međutim, kako su fiksni troškovi mnogo veći nego varijabilni, njihovo razmatranje nema smisla, a rezultati koji se tako dobijaju su nerealni [1].

Činjenica da su fiksni troškovi transformatorskih stanica mnogo veći od fiksnih troškova vodova, omogućuje razvijanje takvog modela koji pruža rezultate vrlo blizu optimalnim, a da su pri tome samo napojne transformatorske stanice, pored varijabilnih, opisane i fiksnim troškovima [2, 3].

Funkcija cilja se definira kao:

$$\min \left[\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} b_{ij}'' \cdot P_{ij} + \sum_{i \in M} (C_{sj} \cdot Y_{sj} + d_{sj}'' \cdot P_{sj}) \right] \quad (2.1)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{i \in M} P_{ij} = S_i + R \quad i \in M' \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in M} P_{ij} = D_j + R_j \quad j \in M' \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in M} P_{sj} = S_s + R \quad (2.4)$$

$$0 \leq P_{ij} \leq P_{\max ij} \quad i, j \in M \quad (2.5)$$

$$0 \leq P_{sj} \leq P_{\max sj} Y_{sj} \quad j \in M \quad (2.6)$$

$$Y_{sj} \in \{j \in M, \dots\} \quad (2.7)$$

gdje su:

M = $\{1, \dots, m\}$ — skup svih čvorova električne mreže;

M' = $M \setminus \{1\}$ — skup nezavisnih čvorova električne mreže;

P_{ij} — tok radne snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [W];

$P_{\max ij}$ — maksimalno dozvoljen tok radne snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [W];

b''_{ij} — linearizirani varijabilni troškovi voda po jedinici prenesene radne snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [din/W];

s — fiktivni čvor kojem je pridijeljena snaga napajanja jednaka ukupnom opterećenju mreže;

P_{sj} — snaga napajanja transformatorske stanice instalirane u j -tom čvoru električne mreže odnosno tok radne snage od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [W];

$P_{\max sj}$ — maksimalna radna snaga koju može dati trafostanica instalirana u čvoru j električne mreže odnosno najveći dozvoljeni tok radne snage od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [W];

c''_{sj} — prošireni prosječni fiksni troškovi transformatorske stanice instalirane u čvoru j , za $j \in M$ [din];

d''_{sj} — prošireni linearizirani varijabilni troškovi po jedinici opterećenja transformatorske stanice instalirane u čvoru j električne mreže odnosno varijabilni troškovi pridruženi toku snage kroz granu od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [din/W];

$$Y_{sj} = \begin{cases} 1, & \text{ako je } P_{sj} > 0 \\ 0, & \text{ako je } P_{sj} = 0 \end{cases} \quad \text{za } j \in M$$

S_i — snaga napajanja u čvoru i , za $i \in M'$ [W];

D_j — snaga potrošnje u čvoru j , za $j \in M'$ [W];

R — konstanta.

Uvijek vrijedi da je $b''_{ii} = 0$ za $\forall i \in M$, a $b''_{ij} = \infty$ i $d''_{sj} = \infty$ za slučaj da ne postoji veza između čvora j i čvora i , odnosno j i s .

Konstanta R je proizvoljan broj veći nego zbroj snaga svih izvora ili svih potrošača.

2.2. Metoda rješavanja

Primijenjen je optimizacijski postupak koji koristi metodu grana i granica. Uspješnost algoritma, kao što je to slučaj kod ovakvih metoda, ovisi o dobrom izboru kriterija za grananje i ograđivanje.

Metoda se bazira na načinu grananja iz zadnjeg čvora u stablu varijanti, za razliku od slučaja kada se grananje izvodi, kod primjera minimuma, iz čvora sa najmanjom donjom granicom funkcije cilja. U ovoj metodi posebna pažnja je posvećena čvorovima stabla varijanti iz kojih se grananje vrši prvi put. Za sve čvorove koji mogu proizaći u prvom koraku grananja iz jednog takvog razmatranog čvora računaju se iznosi donjih granica funkcije cilja. Na osnovi njihovih rastućih vrijednosti utvrđuje se raspored grananja potencijalnih grana iz razmatranog čvora.

Kriterij ograđivanja znači usporedbu donje granice funkcije cilja u razmatranom čvoru s trenutnim minimumom i odluku o nastavku daljnjeg grananja.

Postupak računanja vrijednosti donje granice funkcije cilja Z^d u nekom čvoru stabla varijanti vrši se u dvije faze.

a) Riješi se pretovarni problem definiran relacijama od (2.1) do (2.4) uz uvjete:

- da sve napojne transformatorske stanice, određene granama stabla varijanti od početnog čvora do zadanog, imaju neograničen kapacitet
- da su svi fiksni troškovi jednaki nuli
- da svi vodovi razmatrane razdjelne mreže imaju neograničenu prijenosnu moć.

b) Troškovima rješenja pretovarnog problema pribroje fiksni troškovi trafostanica definiranih do razmatranog čvora stabla varijanti i na taj način se dobije vrijednost donje granice funkcije cilja Z^d .

Prije opisa samog algoritma grana i granica objasnit će se oznake koje će se koristiti:

k — oznaka koraka (faze) grananja;

Z — vrijednost funkcije cilja;

Z_{\min} — trenutno najmanja vrijednost funkcije cilja;

LF_k — skup trenutno slobodnih, neinstaliranih transformatorskih stanica u k -tom koraku grananja; transformatorske stanice su poredane u ovom skupu s obzirom na rastuću vrijednost donje granice funkcije cilja koja se pridjeljuje čvoru stabla varijanti u koji vodi grana koja označava instaliranje odgovarajuće transformatorske stanice iz promatranog skupa LF_k ;

p — predstavlja oznaku (indeks) prve transformatorske stanice u skupu LF_k , tj stanice koja će biti instalirana u tom koraku grananja;

LS_k — skup transformatorskih stanica koje su aktivirane zaključno sa k -tim korakom grananja;

V' — vrijednost rješenja pretovarnog problema određenog relacijama od (2.1) do (2.5) uza

sve fiksne troškove jednake nuli i kapacitet svih transformatorskih stanica jednak nazivnom;

$Z_{LF_k}^d$ — donja granica funkcije cilja određena u čvoru stabla varijanti u koji vodi grana koja definira instaliranje prve transformatorske stanice iz skupa LF_k

Algoritam grana i granica je određen sljedećom procedurom:

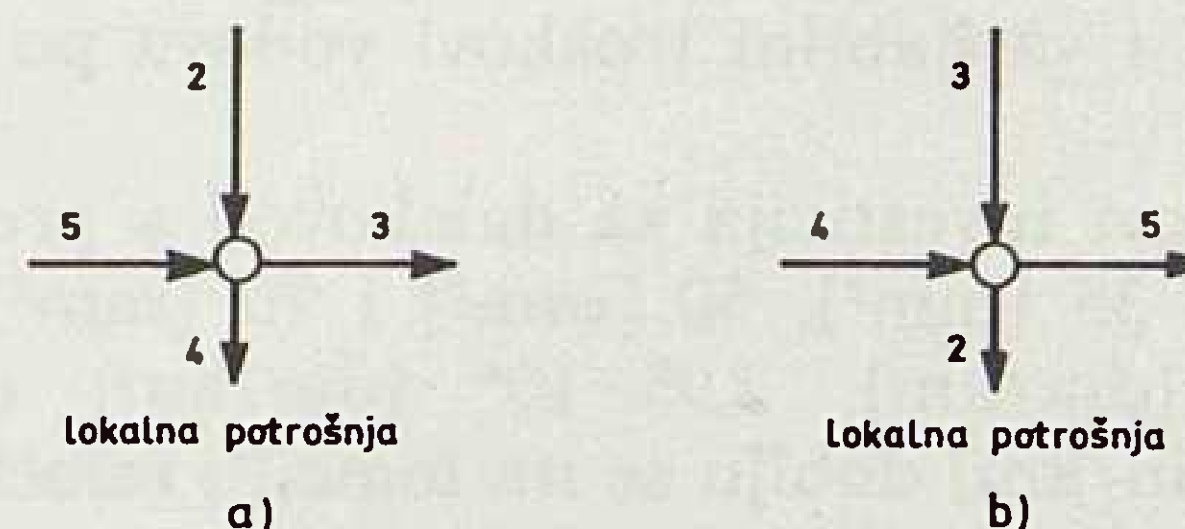
- (1) $k = 1$; $Z_{\min} = \infty$; $LS_0 = \{0\}$, tj. nijedna potencijalna transformatorska stanica nije instalirana. Izračunavanje vrijednosti V' .
- (2) Definira se skup LF_k trenutno neinstaliranih transformatorskih stanica. Iz čvora stabla varijanti do kojeg su čvrsto pridružene transformatorske stanice skupa LS_{k-1} mogu proizaći grane od kojih svaka definira instaliranje jedne transformatorske stanice iz skupa LF_k . Za sve čvorove stabla varijanti u koje vode ove potencijalne grane računaju se donje granice funkcije cilja. Na temelju njihovih rastućih vrijednosti određuje se raspored transformatorskih stanica u skupu LF_k .
- (3) Ako je $LF_k = \{0\}$, ide se na 5. Inače se ide na 6.
- (4) Ako je $LF_k = \{0\}$ ili ako je $Z_{LF_k}^d \geq Z_{\min}$, ide se na 5. Inače se ide na 3.
- (5) $k = k-1$. Ako je $k > 0$, ide se na 3. Inače se ide na 13.
- (6) $Z_{pom}^d = Z_{LF_k}^d$; $LS_k = LS_{k-1} \cup \{p\}$; $LF_k = LF_k \setminus \{p\}$.
- (7) Ako je kapacitet transformatorskih stanica određenih skupom LS_k manji od potrošnje konzuma i ako je $Z_{pom}^d < Z_{\min}$, ide se na 9. Inače se ide na 8.
- (8) Ako je $Z_{pom}^d \geq Z_{\min}$, ide se na 5. Inače se ide na 10.
- (9) $k = k + 1$. Ide se na 2.
- (10) Rješavanje pretovarnog problema određenog relacijama od (2.1) do (2.5) uz pretpostavku da su sve transformatorske stanice u skupu LS_k instalirane i imaju kapacitet jednak nazivnom. Računaje Z dodavanjem fiksnih troškova instaliranih stanica.
- (11) Ako je $Z \leq Z_{\min}$, vrši se ažuriranje trenutnog optimuma i postavlja $Z_{\min} = Z$.
- (12) Ako je razlika varijabilnih troškova novog optimalnog rješenja i vrijednost V' manja nego fiksni troškovi bilo koje transformatorske stanice u skupu LF_k , ide se na 4. Inače se ide na 9.
- (13) Kraj.

Na osnovi ovog algoritma baziranog na metodi grana i granica razvijen je odgovarajući program za elektroničko računalo.

Za rješenje dobiveno razmatranim optimizacijskim postupkom računaju se stvarni ukupni troškovi. Oni se dobiju da se postojeći troškovi vodova električne mreže zamijene stvarnima koji, pored varijabilnih, uključuju i fiksne troškove. Pritom se odabiru takvi presjeci vodova da su za zadani tok snage troškovi najmanji.

Treba istaći da opisani postupak ne garantira radijalna rješenja. Električna mreža nije radijalna ako sad-

ržava jednu ili više zamki odnosno jedan ili više neradijalnih čvorova. Neradijalni čvor je onaj što ga napajaju dva ili više vodova. Što se tiče neradijalnih rješenja, postoje dva slučaja, a ilustrirana su na sl. 1. a i b.



Slika 1. Mogući tipovi neradijalnih čvorova

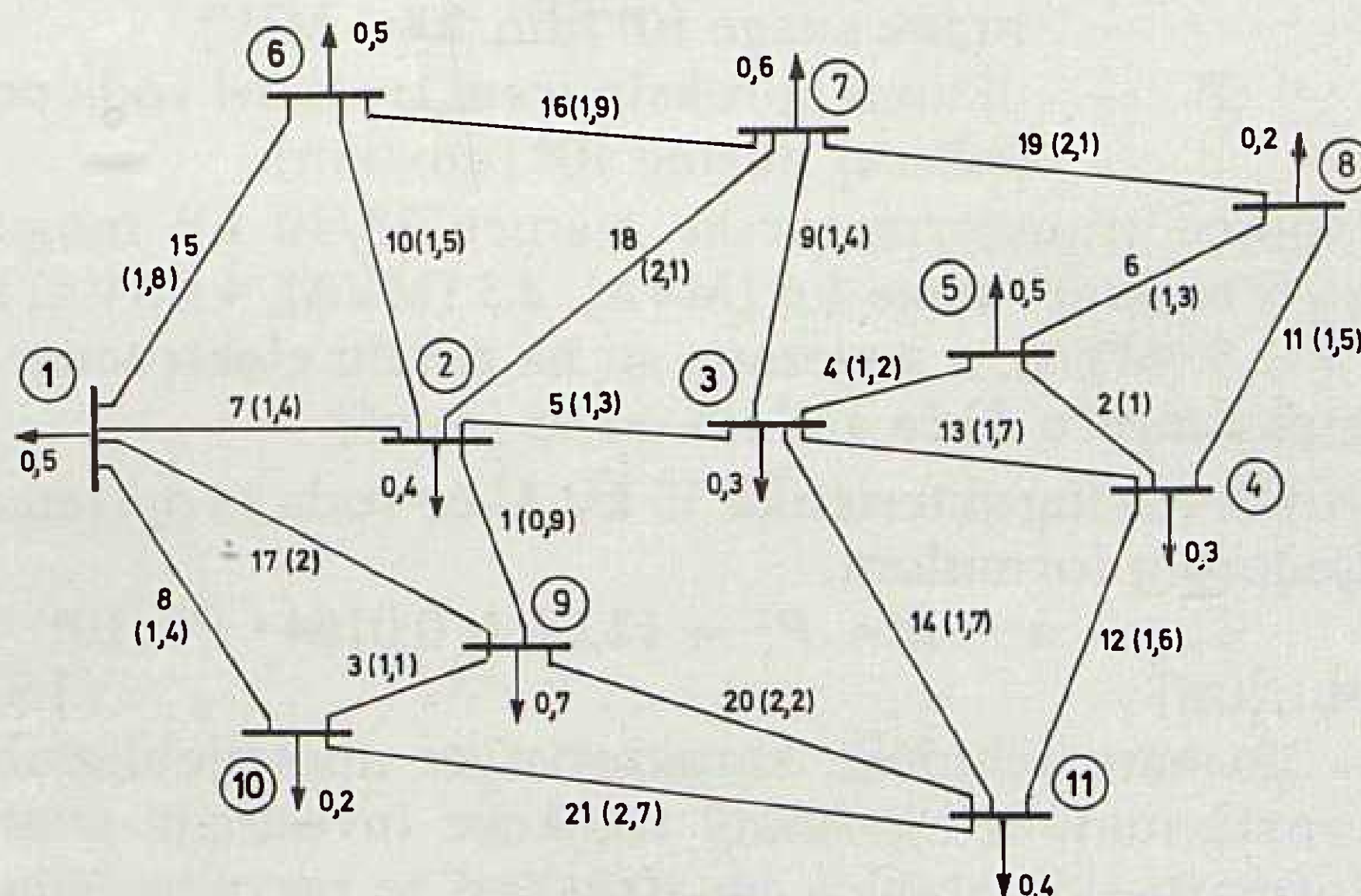
Neradijalni čvor na sl. 1.a može se radijalizirati jednostavno razdvajanjem lokalne potrošnje, jer je veća od bar jednog ulaznog toka snage. Neradijalni čvor na sl. 1.b se ne može radijalizirati jer je potrošnja manja od oba ulazna toka snage. U ovom slučaju izbacuje se vod s najmanjim tokom snage i ponavlja optimizacijski postupak [4]. Praktično nakon nekoliko ponavljanja dobije se gotovo uvijek, ako postoji, radijalno rješenje koje je optimalno ili vrlo blizu optimumu.

Provjera na pad napona vrši se naknadno.

3. PRIMJER 10 kV RAZDJELNE MREŽE

3.1. Opis mreže

Zadana je 10 kV razdjelna mreža sa 11 čvorova i 21 potencijalnim vodom. Raspored potrošačkih točaka i potencijalnih trasa vodova prikazan je na sl. 2.



Slika 2. Razmatrana 10 kV mreža

Snage potrošnje u čvorovima dane su u [MW]. Trase su numerirane rastućim redoslijedom indeksa s obzirom na dužinu koja je naznačena u zagradama i izražena u [km].

Mreža je zračna, a na raspolaganju su Al-če vodiči od 35 [mm²], 50 [mm²] i 70 [mm²]. Faktor snage u mreži je konstantan i iznosi $\cos \varphi = 0,9$.

Uz pretpostavku da je vrijeme promatranja $t = 30$ [god], stopa aktualizacije $p = 10$ [%], godišnje vrije-

me trajanja gubitaka $T_{\Delta} = 1017$ [h], iznos troškova održavanja u postocima investicijskih troškova voda $k_1 = 5$ [%], cijena električne energije i snage na pragu distribucije $C_e = 3,55$ [din/kWh] odnosno $c = 2030$ [din/kW] te poznavajući cijene izgradnje 10 kV dalekovoda sa Al-če vodičima, mogu se izračunati fiksni i varijabilni troškovi vodova po jedinici dužine.

Ako troškovi investicija za dalekovod s presjecima vodiča od 35 [mm²], 50 [mm²] i 70 [mm²] iznose $2,75 \cdot 10^6$ [din/km], $2,95 \cdot 10^6$ [din/km] odnosno $3,3 \cdot 10^6$ [din/km] dobiju se na temelju relacija iz [1] sljedeće troškovne karakteristike:

$$T_{v35} = a + b \cdot P^2 = 4,046 + 0,614 \cdot P^2 \quad (3.1)$$

$$T_{v50} = a + b \cdot P^2 = 4,340 + 0,437 \cdot P^2 \quad (3.2)$$

$$T_{v70} = a + b \cdot P^2 = 4,855 + 0,304 \cdot P^2 \quad (3.3)$$

gdje su:

a — fiksni troškovi voda po jedinici dužine 10^6 [din/km];

b — varijabilni troškovi voda po jedinici dužine i kvadratu prenesene radne snage 10^6 [din/km · MW²];

P — radna snaga kroz vod [MW];

$T_{v35}, T_{v50}, T_{v70}$ — odgovarajući ukupni troškovi vodova po jedinici dužine 10^6 [din/km].

Nakon aproksimacije dobije se jedinstvena troškovna karakteristika voda neovisna o presjeku, a prikazana je sljedećim izrazom:

$$T'_v = a' + b' \cdot P = 3,92 + 1,36 \cdot P \quad (3.4)$$

gdje su:

a' — prosječni fiksni troškovi voda po jedinici dužine 10^6 [din/km];

b' — linearizirani varijabilni troškovi voda po jedinici dužine i jedinici prenesene radne snage 10^6 [din/km · MW];

T' — ukupni aproksimirani troškovi voda po jedinici dužine 10^6 [din/km].

Napojne transformatorske stanice 35/10 kV mogu imati nazivne snage 1,6 [MVA], 2,5 [MVA], 4 [MVA] i $2 \times 2,5$ [MVA], a povezane su na ostalu elektroenergetsku mrežu Al-če vodom od 95 [mm²].

Troškovna karakteristika 35 kV Al-če voda je opisana sljedećom formulom:

$$T_{v90} = a + b + P^2 = 12,14 + 0,0184 \cdot P^2 \quad 10^6 \text{ [din/km]} \quad (3.5)$$

Za poznate tehničke karakteristike upotrijebljenih transformatora i poznate troškove investicija transformatorskih stanica po strukturi te pretpostavljajući da je iznos troškova održavanja transformatorskih stanica izražen u postocima ugrađene elektroopreme jednak $k_2 = 5$ [%], mogu se na temelju relacija iz [L. 1] odrediti pripadne troškovne karakteristike:

$$T_{t1,6} = c + d \cdot P^2 = 194,0 + 0,450 \cdot P^2 \quad (3.6)$$

$$T_{t2,5} = c + d \cdot P^2 = 209,2 + 0,250 \cdot P^2 \quad (3.7)$$

$$T_{t4} = c + d \cdot P^2 = 224,6 + 0,135 \cdot P^2 \quad (3.8)$$

$$T_{t5} = c + d \cdot P^2 = 228,2 + 0,125 \cdot P^2 \quad (3.9)$$

gdje su:

c — fiksni troškovi transformatorske stanice 10^6 [din];

d — varijabilni troškovi transformatorske stanice po kvadratu radnog opterećenja 10^6 [din/MW²];

$T_{t1,6}, T_{t2,5}, T_{t4}, T_{t5}$ — odgovarajući ukupni troškovi transformatorskih stanica 10^6 [din].

3.2. Ilustrativni primjeri

Razmotrit će se četiri slučaja određivanja optimalne konfiguracije zadane distributivne mreže.

U prvom slučaju potencijalne lokacije napojnih transformatorskih stanica su u čvorovima 1, 5, 6 i 11. U čvoru 1 gradila bi se transformatorska stanica nazivne snage 1,6 [MVA], u čvoru 5 snage 2,5 [MVA], u čvoru 6 snage 5 [MVA] i u čvoru 11 snage 4 [MVA]. Dužina priključnog voda je jednaka za sve potencijalne lokacije i iznosi 5 [km]. Sada se mogu odrediti ukupni prošireni aproksimirani troškovi transformatorskih stanica koji uključuju i aproksimirane troškove priključnog 35 kV voda. Ovi troškovi iznose:

$$T'_{t1,6} = c'' = d'' P = 254,7 + 0,6 P \quad (3.10)$$

$$T'_{t2,5} = c'' = d'' P = 269,9 + 0,6 P \quad (3.11)$$

$$T'_{t4} = c'' = d'' P = 285,3 + 0,6 P \quad (3.12)$$

$$T'_{t5} = c'' = d'' P = 288,9 + 0,6 P \quad (3.13)$$

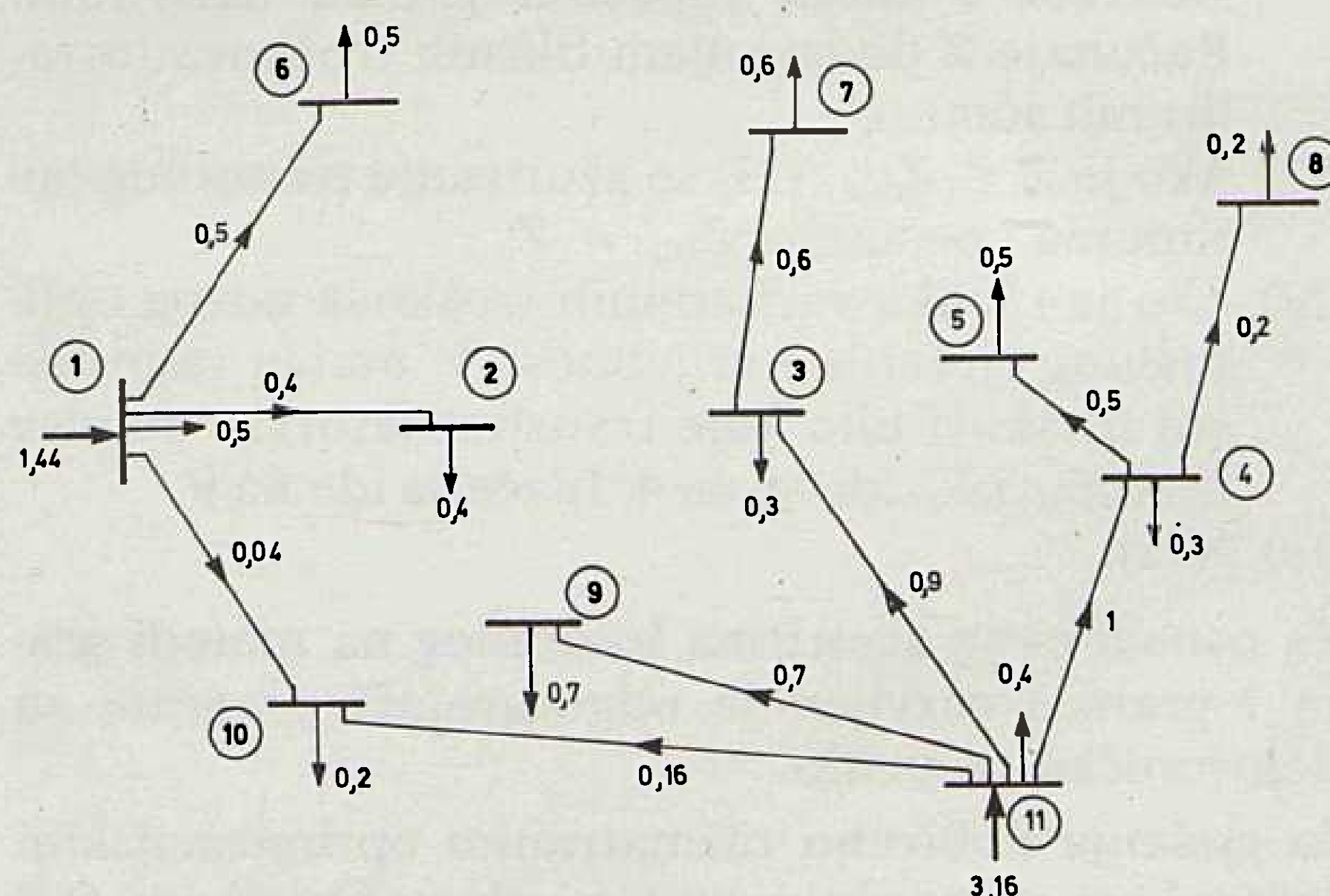
gdje su:

c'' — prošireni prosječni fiksni troškovi transformatorske stanice 10^6 [din];

d'' — prošireni linearizirani varijabilni troškovi transformatorske stanice po jedinici radnog opterećenja 10^6 [din/MW];

$T'_{t1,6}, T'_{t2,5}, T'_{t4}, T'_{t5}$ — odgovarajući ukupni prošireni aproksimirani troškovi napojnih transformatorskih stanica 10^6 [din].

Optimizacijskim postupkom dobiveno je rješenje prikazano na sl. 3.



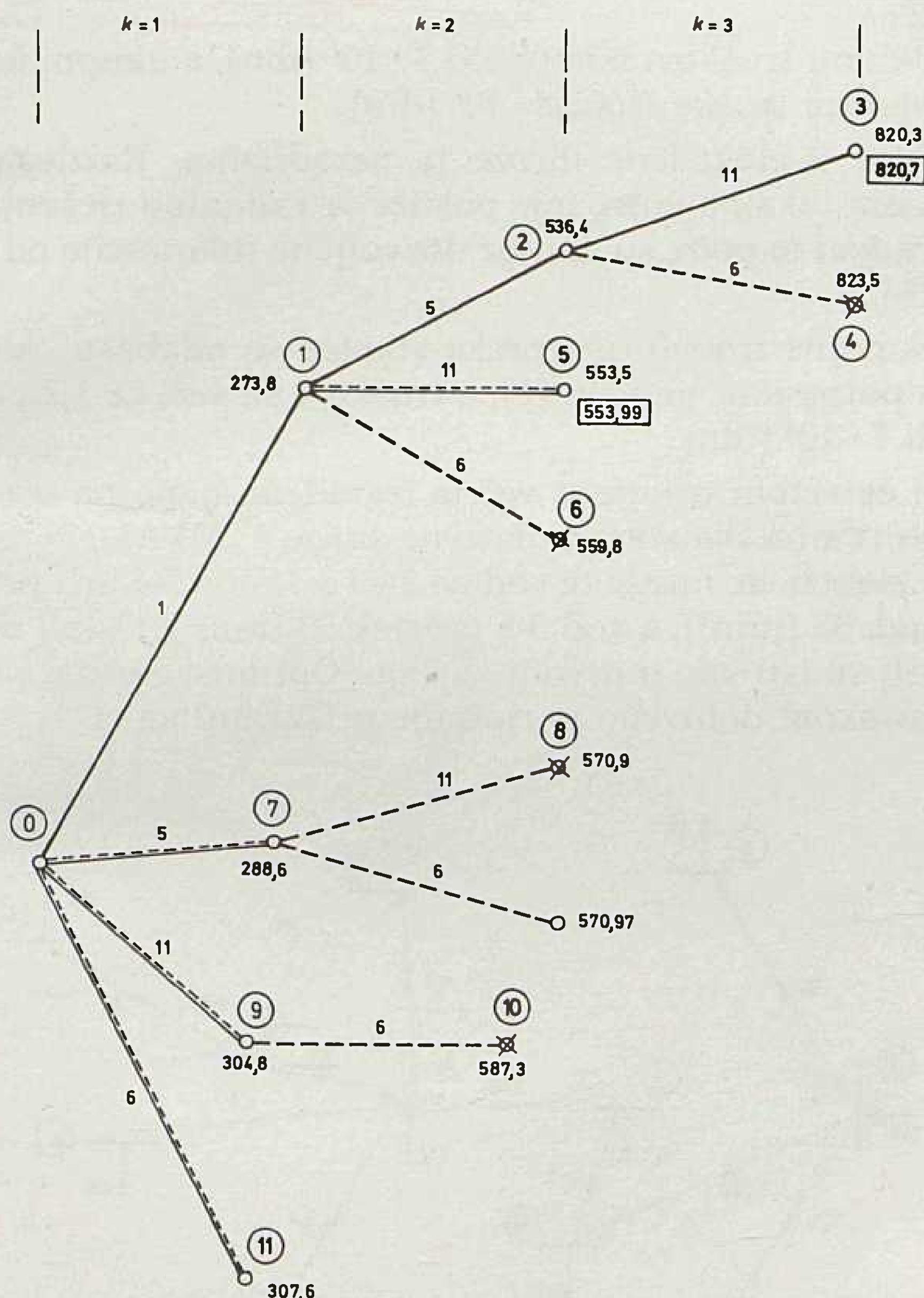
Slika 3. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6, i 11

Ukupni troškovi, zanemarujući fiksne troškove vodova, iznose $554 \cdot 10^6$ [din]. Uvažavanjem fiksnih troškova vodova i njihovih presjeka, dobije se vrijednost $613,8 \cdot 10^6$ [din].

Čvor 10 je neradijalan, ali se lako može radijalizirati razdvajanjem lokalne potrošnje. Ispitivanjem padova napona u predloženoj konfiguraciji dobivene su vrijednosti koje su daleko ispod granice od 5 [%].

U usporedbi s točnim optimizacijskim modelom [1] i ovdje su odabrane napojne transformatorske stanice u čvorovima 1 i 11. Međutim, konfiguracija vodova električne mreže je drugačija i zato su dobiveni veći ukupni troškovi za 2,37 [%] ili $14,2 \cdot 10^6$ [din] u odnosu na egzaktni optimum.

Na ovom slučaju ilustrirat će se detaljnije karakteristike upotrebljenog algoritma grana i granica. Stablo varijanti je prikazano na sl. 4. Iznad grane stabla varijanti je oznaka transformatorske stanice koju ta grana aktivira, a pokraj čvora stabla varijanti je ispisana vrijednost donje granice funkcije cilja u tome čvoru. Transformatorske stanice su označene prema čvorovima električne mreže u kojima je predviđeno da se instaliraju. Kad je grana stabla varijanti označena punom linijom to znači da se po njoj nastavlja grananje. Ako je označena crtkanom linijom, onda se samo izračunava donja granica funkcije cilja za čvor u koji vodi. Linije koje su crtane gornje rješavaju se ranije u toku postupka grananja. Troškovi su izraženi u 10^6 [din].



Slika 4. Stablo varijanti za primjer potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11

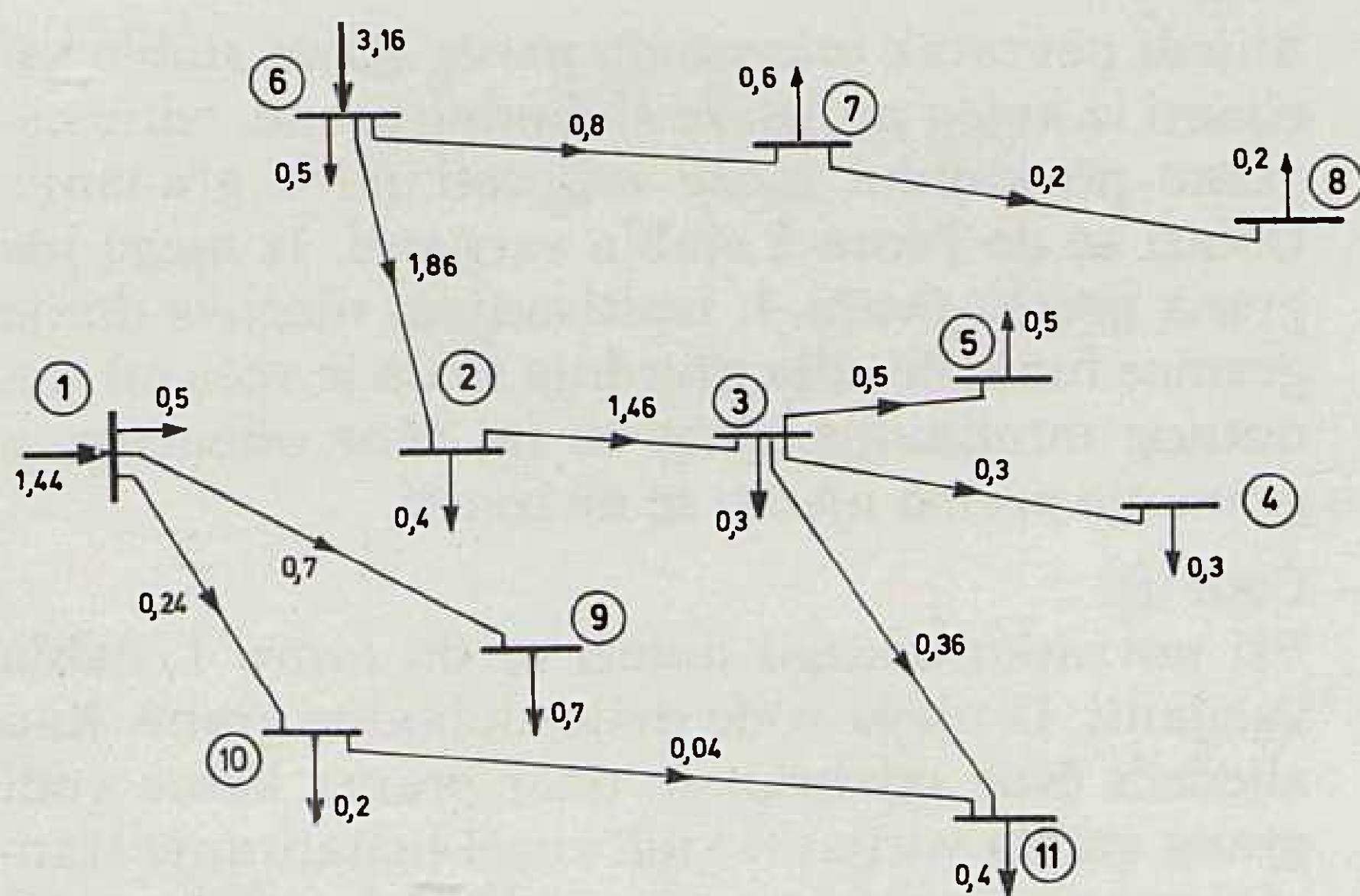
— Čvor ①:
Nijedna napojna transformatorska stanica nije instalirana. Iz ovog čvora mogu proizaći četiri gra-

ne stabla varijanti. Za čvorove u koje vode ove grane izračunate su vrijednosti donjih granica funkcije cilja i ispisane pored njih. Ovisno o tome pojedine grane stabla dobivaju prioritet.

- Čvor ①:
Ovaj čvor ima najmanju vrijednost donje granice funkcije cilja koja iznosi 273,8. Instalirana je transformatorska stanica u čvoru 1 električne mreže. Ona može dati maksimalnu djelatnu snagu od 1,44 [MW] i ne može zadovoljiti konzum. Zato se iz čvora 1 stabla varijanti dalje nastavlja grananje. Iz njega mogu proizaći tri grane, a svaka od njih znači instaliranje još jedne transformatorske stanice pored one instalirane u čvoru 1 električne mreže.
- Čvor ②:
Grana stabla varijanti koja povlači gradnju transformatorske stanice u čvoru 5 električne mreže vodi u čvor stabla varijanti s najmanjom donjom granicom funkcije cilja. Ta vrijednost iznosi 536,4, a čvor je odabran kao sljedeći. Ukupna raspoloživa djelatna snaga u ovom čvoru je 3,69 [MW] i ne podmiruje potrošnju. Grananje se zato nastavlja dalje iz čvora 2 stabla varijanti.
- Čvor ③:
Iz čvora 2 stabla varijanti mogu se granati dvije grane. Ona grana koja označava instaliranje transformatorske stanice u čvoru 11 električne mreže vodi u čvor stabla varijanti sa manjom donjom granicom funkcije cilja. Ta vrijednost iznosi 820,3. Ukupna instalirana snaga transformatorskih stanica u ovom čvoru stabla varijanti zadovoljava konzum, pa se računa točna vrijednost funkcije cilja. Ona iznosi 820,7 i predstavlja trenutni optimum. Ovaj iznos je na sl. 4. uokviren.
- Čvor ④:
Slijedi povratak unazad do prvog čvora stabla varijanti iz kojeg proizlaze slobodne grane, odnosno grane po kojima može započeti novo grananje. Dolazi se do čvora 2 stabla varijanti. Iz njega ide grana prema čvoru 4. Ispitivanjem njegove donje granice funkcije cilja utvrđuje se da je veća od trenutnog minimuma. Zato se taj čvor odbacuje, a grananje prema njemu se ne izvodi.
- Čvor ⑤:
Pri povratku unazad dolazi se do čvora 1 stabla varijanti. Iz njega vode dvije slobodne grane. Kao sljedeći čvor odabran je onaj prema kome vodi grana stabla varijanti koja znači instaliranje transformatorske stanice u čvoru 11 električne mreže. Donja granica funkcije cilja u čvoru 5 manja je od trenutnog minimuma i zato se grananje vrši prema tom čvoru. Kako ukupna snaga transformatorskih stanica zadovoljava potrošnju, računa se točna vrijednost funkcije cilja koja iznosi 553,99. Budući da je manja od tekućeg optimuma, postaje trenutni minimum. Slijedi vraćanje nazad.
- Čvor ⑥:
Ovaj čvor se odbacuje jer ima donju granicu funkcije cilja veću od trenutnog optimalnog rješenja. Slijedi povratak unazad.

- Čvor ⑦:
Iz čvora 0 stabla varijanti grananje se vrši prema čvoru u koji vodi grana stabla varijanti koja znači aktiviranje transformatorske stanice u čvoru 5 električne mreže, jer ima najmanju donju granicu funkcije cilja. Ona iznosi 288,6. Kako snaga napojne trafostanice ne zadovoljava, grananje se nastavlja.
- Čvor ⑧:
Ovaj čvor ima donju granicu funkcije cilja veću od trenutnog optimuma. Zato postaje pasivan. Također, svi čvorovi koji nastaju grananjem iz čvora 7 postaju pasivni jer im je donja granica funkcije cilja sigurno veća od one u čvoru 8. Vršiti se vraćanje unazad.
- Čvor ⑨:
Ovaj čvor stabla varijanti ima donju granicu funkcije cilja manju od trenutnog minimuma, ali snaga transformatorske stanice ne zadovoljava, pa grananje treba nastaviti.
- Čvor ⑩:
Ima donju granicu funkcije cilja preveliku, te postaje pasivan, a grananje prema njemu se ne izvodi. Slijedi povratak natrag.
- Čvor ⑪:
Iz čvora 0 vodi grana prema čvoru 11 stabla varijanti. Donja granica funkcije cilja zadovoljava, ali je snaga napojne transformatorske stanice od 4,5 [MW] nedovoljna. Ni iz ovoga čvora, a niti iz čvora 0 stabla varijanti ne vodi više nijedna slobodna grana pa je postupak završen.

Sada će se razmotriti drugi primjer. Isti je kao i prvi, samo što dužina priključnog voda do lokacije u čvoru 11 električne mreže iznosi 10 [km]. Optimalno rješenje je prikazano na sl. 5.



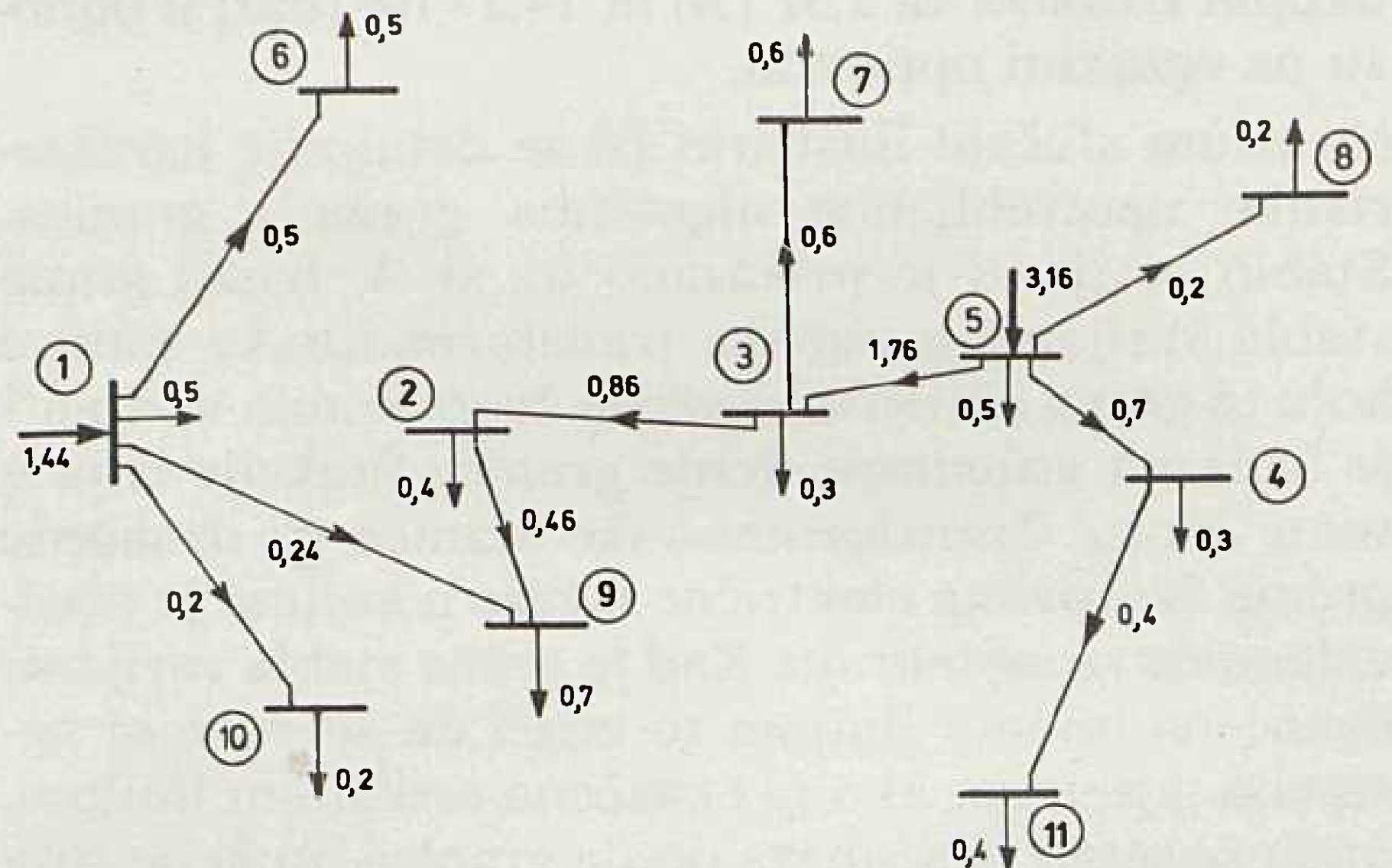
Slika 5. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11. Priključni vod do lokacije u čvoru 11 je dug 10 [km].

Ukupni troškovi iznose $560,2 \cdot 10^6$ [din], a ukupni korigirani troškovi koji uvažavaju fiksne troškove vodova iznose $623,3 \cdot 10^6$ [din].

Čvor 11 električne mreže je neradijalan, a radijaliziranje se postiže jednostavno razdvajanjem lokalne potrošnje. Padovi napona su unutar dozvoljenih granica.

S obzirom na točno rješenje [1] troškovi su veći za 2,6 [%] ili $16,1 \cdot 10^6$ [din], a izbor napojnih transformatorskih stanica je identičan.

U trećem slučaju, s obzirom na prvi, omogućeno je da se u čvoru 5 električne mreže instalira napojna transformatorska stanica od 2,5 [MVA] ili 4 [MVA]. Rješenje je prikazano na sl. 6.



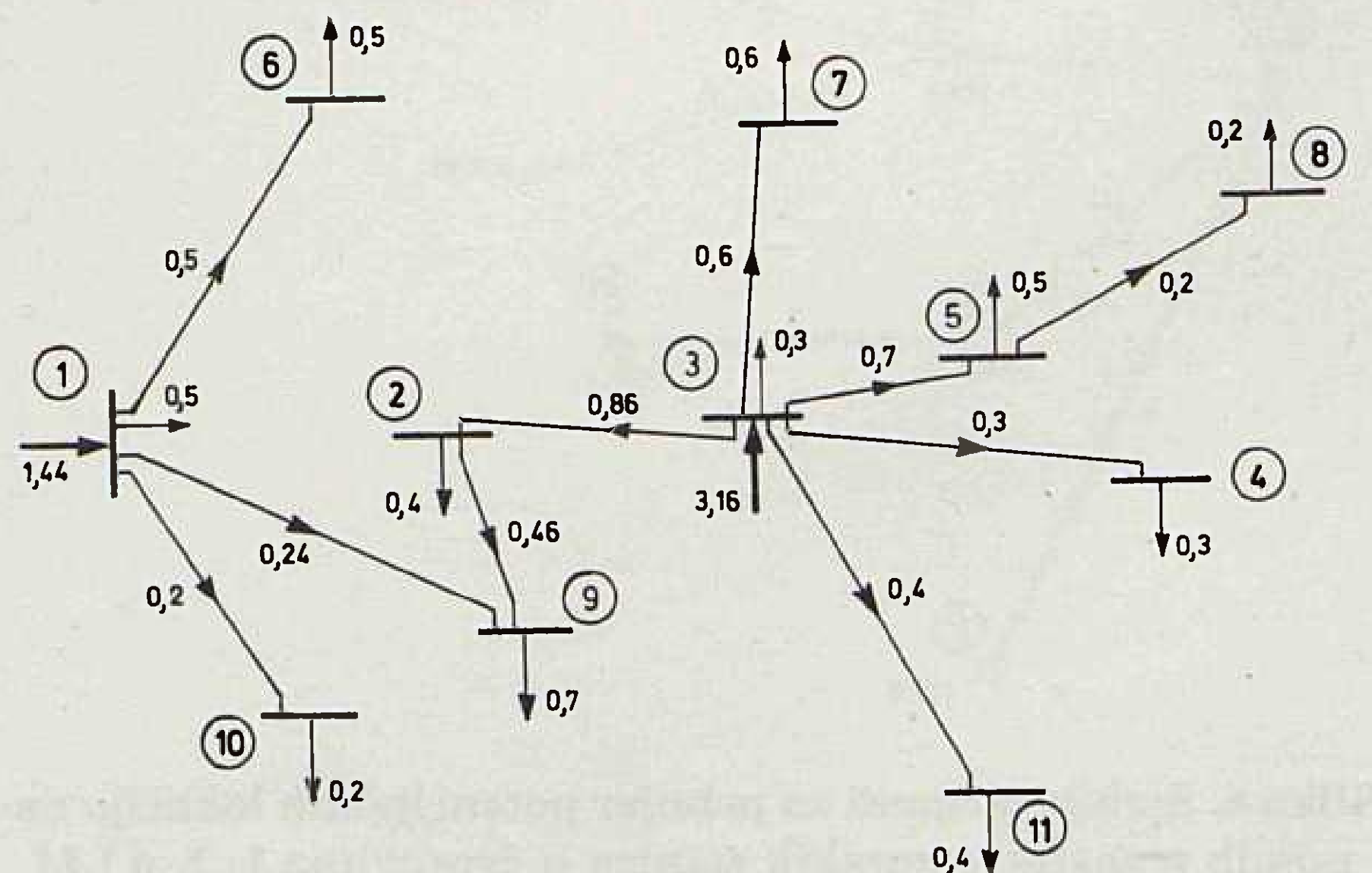
Slika 6. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5 (2,5 ili 4 MVA), 6 i 11

Ukupni troškovi iznose $553,3 \cdot 10^6$ [din], a ukupni korigirani troškovi $602,8 \cdot 10^6$ [din].

Čvor 9 električne mreže je neradijalan. Razdvajanjem lokalne potrošnje postiže se radijalno rješenje. Padovi napona su unutar dozvoljene tolerancije od 5 [%].

Napojne transformatorske stanice su odabrane kao u potpunom modelu [1], a troškovi su veći za 1,2 [%] ili $7 \cdot 10^6$ [din].

U četvrtom primjeru već je izgrađena napojna transformatorska stanica nazivne snage 4 [MVA] u čvoru 3 električne mreže te vodovi 3-4 i 3-5. Vod 3-4 ima presjek 35 [mm²], a vod 3-5 presjek 50 [mm²]. Ostali uvjeti su isti kao u prvom slučaju. Optimizacijskim postupkom dobiveno je rješenje prikazano na sl. 7.



Slika 7. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11. Vodovi 3-4 i 3-5 te trafostanica u čvoru 3 su već izgrađeni.

Ukupni troškovi iznose $322,5 \cdot 10^6$ [din], a ukupni korigirani troškovi, koji uključuju i fiksne troškove vodova, jesu $367,5 \cdot 10^6$ [din].

Čvor 9 električne mreže se radijalizira razdvajanjem lokalne potrošnje. Padovi napona su unutar dozvoljenih granica.

S obzirom na točno rješenje [1] troškovi su veći za 2 [%] ili za $7,1 \cdot 10^6$ [din], a izbor napojnih transformatorskih stanica je isti.

4. ZAKLJUČAK

Prikazan je nepotpuni model za određivanje optimalnih konfiguracija elektroenergetskih razdjelnih mreža i razmještaja napojnih transformatorskih stanica. Model je nepotpun jer su zanemareni fiksni troškovi vodova, ali je riješen točnom algoritmom.

Troškovi rješenja postignuti primjenom ovoga modela su bili do 3 [%] veći u odnosu na optimalne za testirane primjere. Pritom je izbor napojnih transformatorskih stanica bio isti kao pri upotrebi potpunog modela, dok su se trase i presjeci vodova razlikovale, što je posljedica prezentiranja vodova samo varijabilnim troškovima.

Brzina izvođenja pripadnog programa za elektroničko računalo koji je kodiran na temelju potpunog optimizacijskog modela bila je i do 100 puta veća s obzirom na brzinu izvršenja programa koji odgovara potpunom modelu za različite obrađivane primjere distributivne mreže. Također, uvaženi su i fiksni troškovi napojnih transformatorskih stanica koji su znatno veći nego fiksni troškovi vodova što osigurava određenu kvalitetu rezultata. Prema tome, iako nije točan, primjena potpunog modela ima opravdanja ako se želi na brz način odrediti raspored i veličina napojnih transformatorskih stanica a da pritom nema potrebe za detaljnijim razmatranjem konfiguracija vodova električne mreže.

Optimizacijski postupak koji se bazira na korištenju modela je statički, ali može poslužiti kao osnova za primjenu pseudodinamičkog pristupa.

LITERATURA

- [1] RAJIĆ Ž.: »Određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža«, Energija, br. 2, 1987.
- [2] RAJIĆ Ž.: »Određivanje optimalnih konfiguracija elektroenergetskih razdjelnih mreža i razmještaja napojnih transformatorskih stanica«, Magistarski rad, ETF Zagreb, Zagreb, 1986.
- [3] THOMPSON G. L., WALL D. L.: »A branch and bound model for choosing optimal substation locations«, IEEE Trans., Vol. PAS-100, No. 5, May 1981., pp. 2683-2688.
- [4] WALL D. L., THOMPSON G. L., NORTHCOTE-GREEN J. E. D.: »An optimization model for planning radial distribution networks«, IEEE Trans., Vol. PAS-98, No. 3, May/June 1979., pp. 1061-1067.

AN UNCOMPLETE MODEL FOR DETERMINATION OF DISTRIBUTION NET OPTIMAL CONFIGURATION

In the article is presented an uncomplete model for determination of distribution net optimal configuration that is based on mathematical algorithm. The model is uncomplete due to variable costs of lines and constant costs of transformer stations. In relation to exact model, applied computer program is simpler and faster with results close to optimal.

UNVOLLSTÄNDIGES MODELL FÜR DIE BESTIMMUNG OPTIMALER KONFIGURATIONEN DER VERTEILUNGSNETZE

In der Arbeit wird das unvollständige Modell für die Bestimmung optimaler Konfigurationen der Verteilungsnetze geschildert, daß mit einem genauen Algorithmus der an der Anwendung des mathematischen Programmierens gründet, gelöst wird. Das Modell ist unvollständig, weil die Leitungen nur an variablen Unkosten geschildert wurden, während die Transformatorstationen auch an fest unkosten beschrieben wurden. Im Verhältnis zum genauen Modell wird das entsprechende Computerprogramm einfacher codiert und schneller ausgeführt so daß er Resultate bringt die sich den optimalen sehr nähern.

НЕПОЛНОЦЕННАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

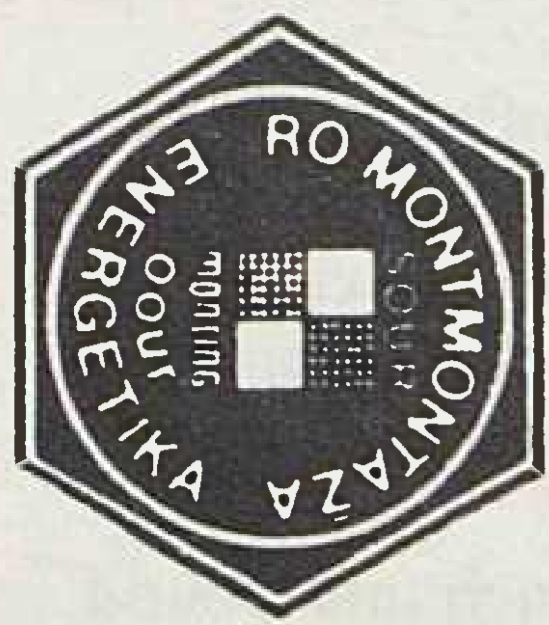
В работе представлена неполноценная модель определения оптимальных конфигураций распределительных сетей, решенная точным алгоритмом, базирующимся на применении математического программирования. Модель неполноценная потому, что линии представлены только переменными, в то время как трансформаторные подстанции описаны и с постоянными расходами. По отношению к точной модели соответствующая программа ЭВМ проще кодируется и скорее осуществляется и дает результаты весьма близкие оптимальным.

Naslov pisca:

mr Željko Rajić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
Proleterskih brigada 37
41000 Zagreb
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1986-12-23

SOUR »MONTING« RO »MONTMONTAŽA«



**OUR »ENERGETIKA«
ZA IZGRADNJU I MONTAŽU
OBJEKATA I ENERGETSKIH
POSTROJENJA**

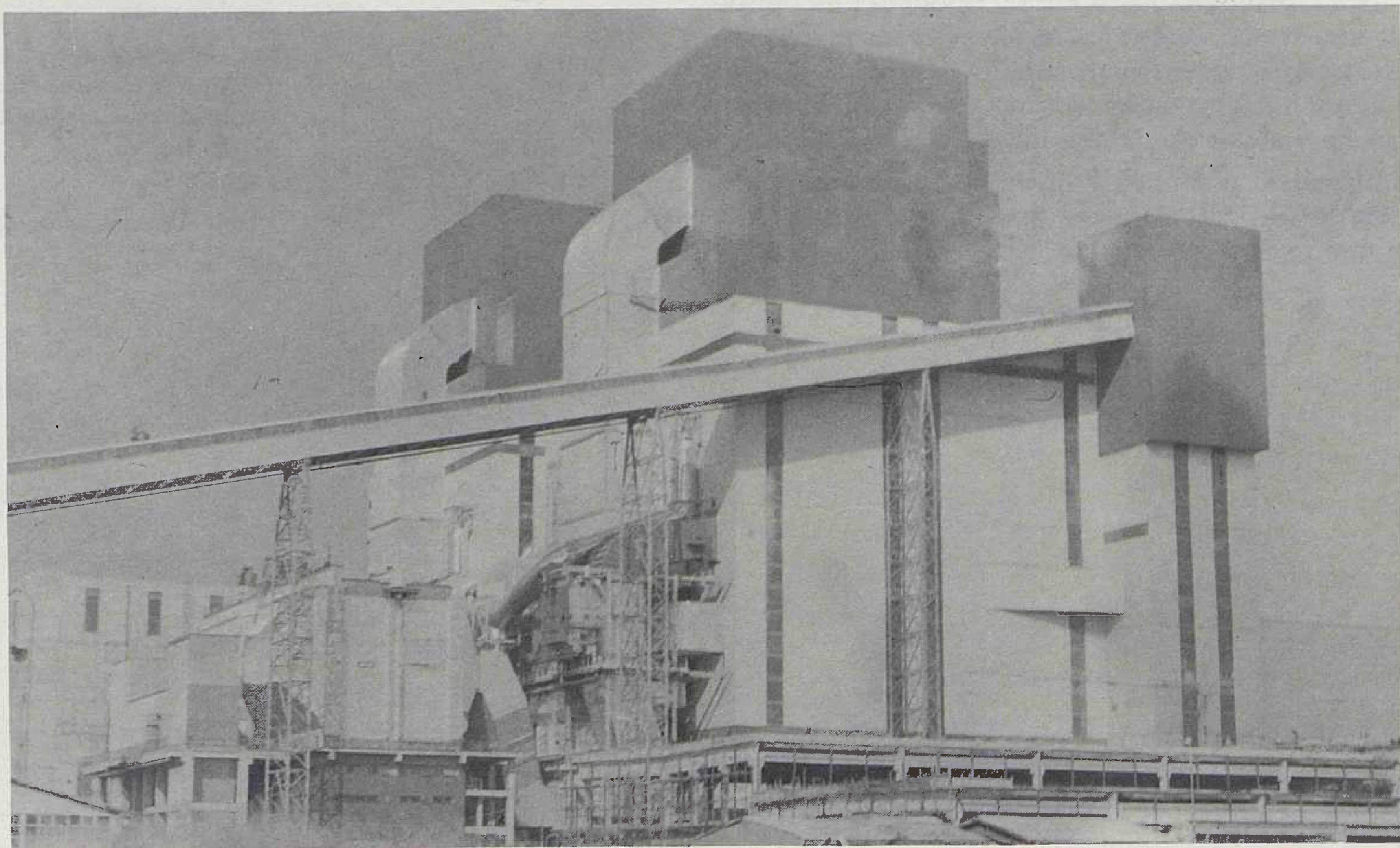
**ZAGREB
DIMITROVLJEVA 2 — 6**

VRŠI MONTAŽU:

- termoelektrana, toplana, energana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, te u njihovom sklopu montira sva pripadajuća postrojenja: kotlovska, turbinska, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutna gospodarstva i drugu pripadajuću opremu.
- izrađuje i montira čelične konstrukcije, unutrašnji i vanjski razvod svih medija unutar termoelektrana, toplana nuklearnih, hidroelektrana i drugih energetskih postrojenja
- vrši remonte i održavanje termoelektrana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, kotlovskih i turbinskih postrojenja, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutnih gospodarstva s rezervoarima, te remont i održavanje unutrašnjih razvoda
- projektira, izrađuje i montira, u suradnji s Institutom za drvo — Zagreb, predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja

PROIZVODI:

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



Termoelektrana »Kosovo« — B« 2 × 339 MW

Direktor OOUR-a, telefon dir. 512-071
centr. 518-900
Tehnička služba dir. 514-435
Financijska služba 512-070
Kadrovska služba dir. 513-848
telex 21 476 yu mont
Komercijalna služba dir. 214-960
Kesterčanekova br. 1 222-499
222-508
centr. 217-700
telex 21 473 yu mont

KARAKTERISTIKE REGULACIJE TERMOENERGETSKOG BLOKA S OBZIROM NA REGULACIJU FREKVENCije U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Mr Boris Kalan, Zagreb

UDK 621.311.22-5:621.3.072.6

PREGLEDNI RAD

U članku su prikazane osnovne karakteristike regulacije termoenergetskog bloka s obzirom na zahtjeve za održavanje frekvencije u elektroenergetskom sistemu. Opisani su osnovni režimi rada bloka s dinamičkim karakteristikama, kao i osnovne zakonitosti u primarnoj i sekundarnoj regulaciji frekvencije.

Ključne riječi: regulacija, termoenergetski blok, zahtjevi sistema.

1. UVOD

U termoelektrani se uz pomoć termičkih procesa prevodi primarna energija u električnu energiju. Primarna energija se pretvara u toplinsku energiju u generatoru pare, odakle se pomoću vodene pare prenosi do turbine gdje se pretvara u mehaničku energiju.

Mehanička energija se u generatoru pretvara u električnu energiju.

Postoje termoelektrane u kojima nije krajnji cilj proizvodnja električne energije, već proizvodnja toplinske energije za daljinsko grijanje ili industrijske pare za potrebe tehnoloških procesa. Kod takvih termoelektrana proizvodnja električne energije je u izvjesnom smislu nusprodukt.

S toga se termoelektrane mogu podijeliti u dvije grupe: kondenzacione elektrane (proizvodnja samo električne energije) i toplane (primarna proizvodnja toplinske energije).

S obzirom na primjenu goriva mogu se termoelektrane podijeliti na termoelektrane na kruta goriva (kameni ugljen, smeđi ugljen, itd.), tekuća goriva (nafta) i plinovita goriva (zemni plin). Moguće su također i kombinacije primjene raznih goriva. Danas se najčešće termoelektrane grade u blok-jedinicama, kod kojih su generator pare, turbina, generator i sva pomoćna postrojenja spojena u jednu nezavisnu i samostalnu tehnološku cjelinu. Takva koncepcija izgradnje pruža niz prednosti usprkos nedostatku da kod ispada jednog postrojenja dolazi do ispada cijelog bloka. Prednosti samo sa stajališta regulacije i upravljanja su sljedeće [1]:

- jasno i pregledno vođenje pogona
- jednostavnija regulacija temperature međupregrijane pare budući da je protok pare kroz međupregrijač proporcionalan ukupnoj oslobođenoj toplini u generatoru pare pa su time utjecaji smetnji manji

- regulacija protoka napojne vode je jednostavnija jer je protok vode proporcionalan oslobođenoj toplini u generatoru pare; budući da su napojne pumpe vezane uz jedan generator pare, ukupan protok se određuje regulacijom brzine vrtnje pumpi, pa se gubici energije zbog prigušenja na regulacionom ventilu mogu svesti na minimum
- zbog jednoznačne povezanosti generatora pare i turbine moguće je optimalno regulirati promjenu opterećenja bloka.

Zbog smanjenja specifičnih troškova izgradnje danas se u svijetu grade blokovi sve većih snaga, tako da se kod klasičnih termoelektrana dostižu snage do 1000 MW. Povećanje instalirane snage ne postiže se samo povećanjem dimenzija nego i boljim korištenjem materijala. Budući da se tolerancije pojedinih procesnih veličina održavaju u sve užim granicama, omogućeno je da blokovi rade s bržim promjenama snage, te mogu sudjelovati u pokrivanju dnevnih vršnih opterećenja u elektroenergetskom sistemu.

Također, današnji blokovi preuzimaju ulogu regulacionih elektrana jer hidroelektrane usprkos svojim dobrim regulacionim karakteristikama nemaju dovoljno vode u akumulacionim jezerima na raspolaganju. To se postiže primjenom boljih metoda mjerenja i regulacije, kao i opsežnijem automatiziranjem starta i prekida rada bloka.

2. REŽIM RADA TERMOENERGETSKOG BLOKA

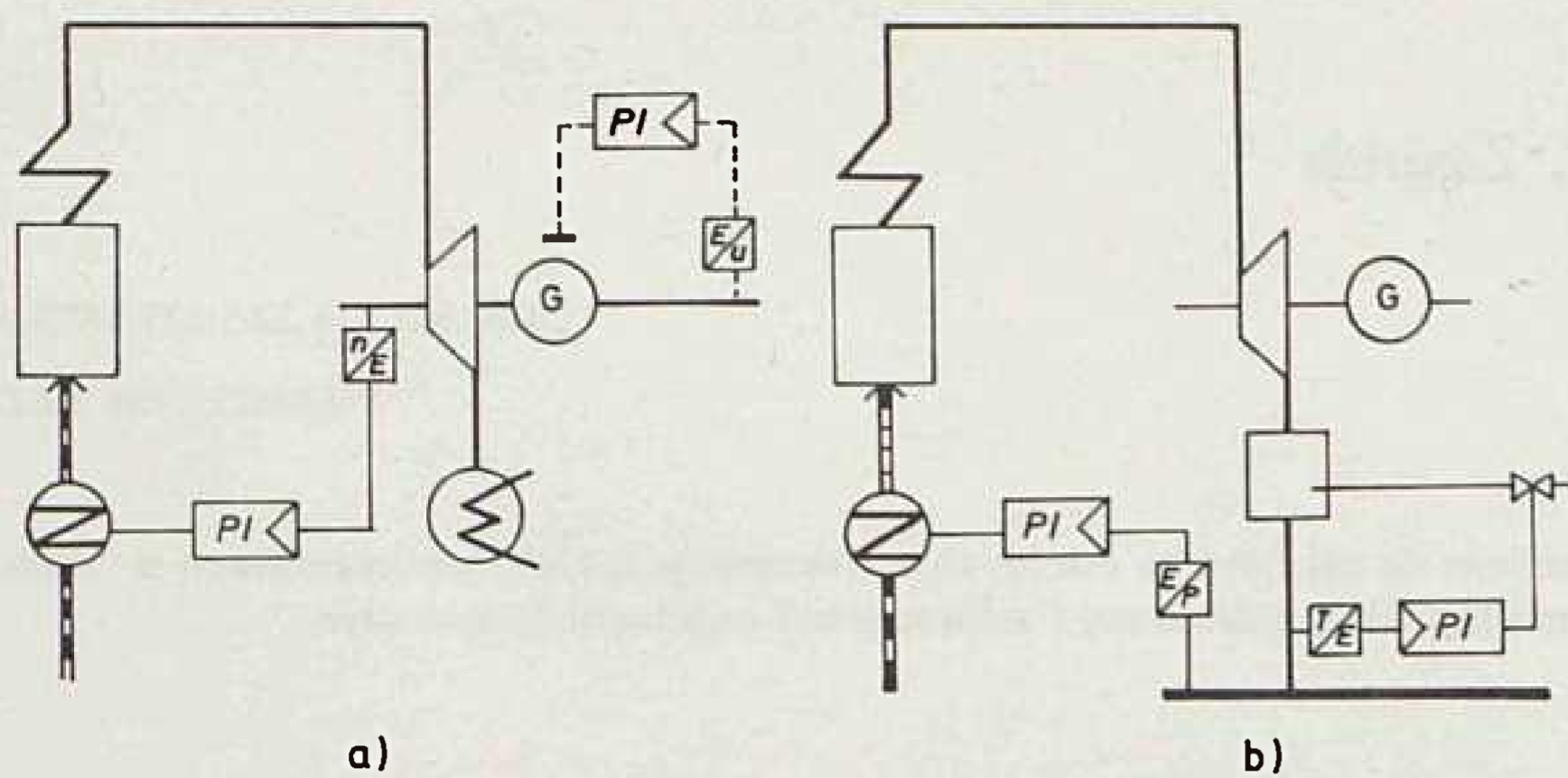
Osnovna funkcija regulacije svake termoelektrane jest prilagođivanje proizvodnje energije potrebama potrošača. To se odnosi i na proizvodnju električne energije (termoelektrane u elektroenergetskom sistemu), kao i na proizvodnju toplinske energije (industrijske toplane, toplane za daljinsko grijanje).

Uz to isporučena energija treba biti odgovarajuće kvalitete, npr. električna energija s odgovarajućim

naponom i frekvencijom, a toplinska energija s odgovarajućim tlakom i temperaturom pare.

S gledišta regulacije glavne regulacione veličine na bloku jesu snaga bloka i stanje pare (pritisak i temperatura), a glavne izvršne veličine su otvorenost turbinskog ventila, dobava goriva i protok napojne vode.

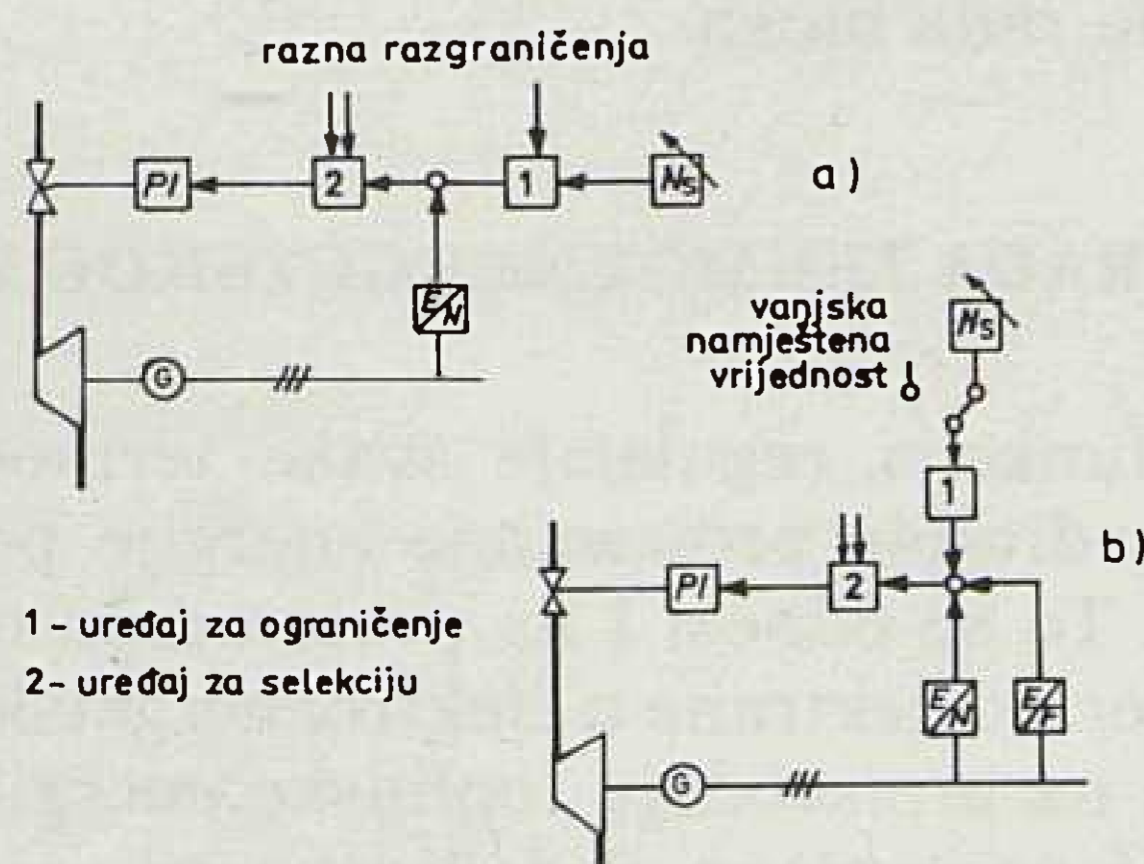
Osnovni oblik regulacijske sheme termoenergetskog bloka prikazan je na slici 1.



Slika 1. Osnovne sheme regulacije bloka za proizvodnju električne (a) i toplinske energije (b) u otočnom radu

Na slici 1a prikazana je pojednostavljena shema regulacije bloka za proizvodnju električne energije u otočnom radu gdje se napon održava pomoću promjene uzbude na generatoru, a frekvencija pomoću regulacije brzine vrtnje turbine. Izvršna veličina za regulaciju brzine vrtnje turbine jest dobava goriva.

Na slici 1b prikazana je pojednostavljena shema regulacije bloka za proizvodnju toplinske energije. Temperatura pare iza protutlačne turbine regulira se pomoću promjene protoka vode za uštrcavanje, dok se tlak pare održava na namještenoj vrijednosti putem zahvata u dobavu goriva. U slučaju rada bloka na velikoj mreži regulacija brzine vrtnje turbine više nije primarna regulacija kao kod otočnog rada, jer frekvencija u mreži određuje brzinu vrtnje. Primarna postaje regulacija opterećenja bloka. Razlikuju se dva režima rada bloka na mreži: pasivni i aktivni. Kod pasivnog režima rada turbina radi na namještenoj vrijednosti opterećenja neovisno o frekvenciji u mreži (slika 2a), dok kod aktivnog režima rada blok podržava frekvenciju u mreži na taj način da se namještena vrijednost opterećenja u slučaju odstupanja frekvencije korigira proporcionalno statičkoj karakteristici turbine (slika 2b).



Slika 2. Načini priključenja bloka na mrežu: a) pasivni blok i b) aktivni blok

Na slici 2. prikazani su također sljedeći uređaji u regulacijskoj petlji opterećenja bloka.

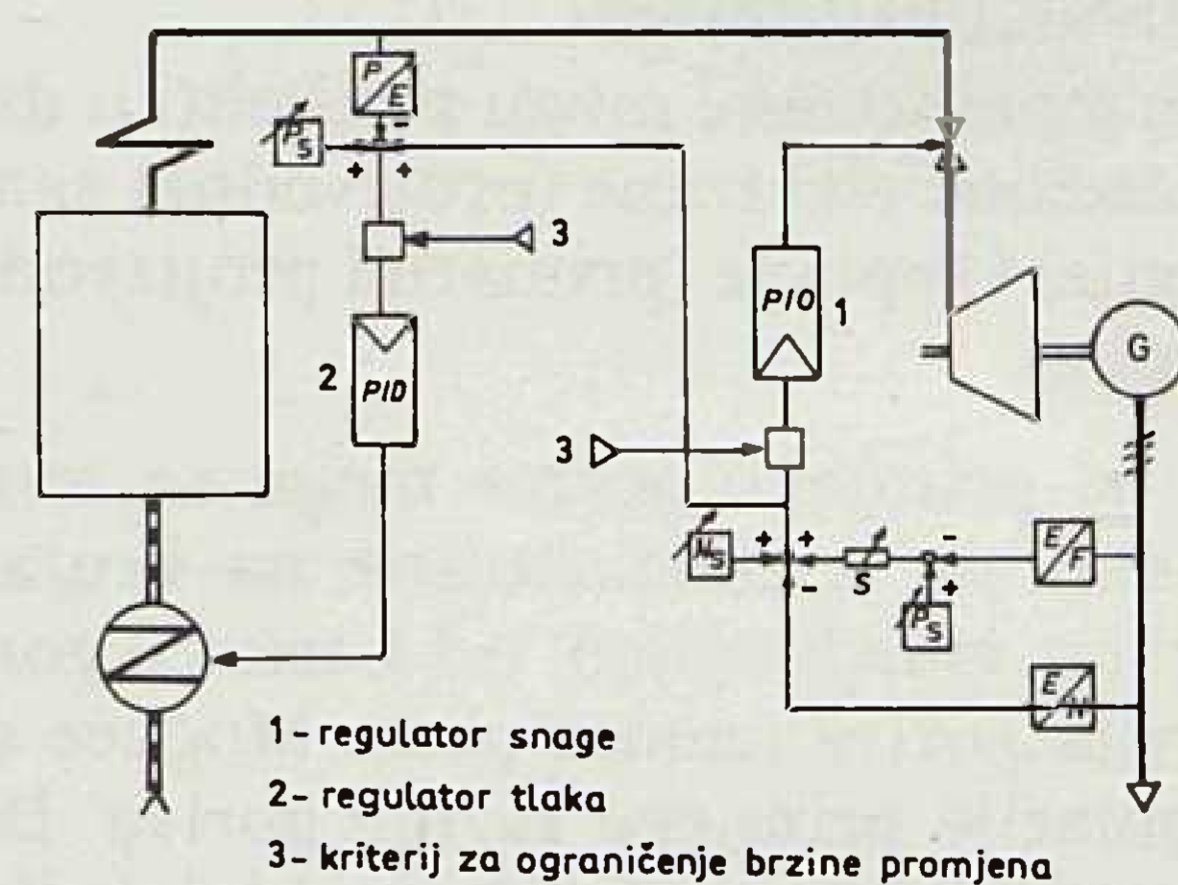
- uređaj za ograničenje brzine promjene namještene vrijednosti koji omogućuje promjenu namještene vrijednosti samo unutar dopuštenih granica koje ovise o stanju turbine i generatora
- mogućnost za vanjsko zadavanje namještene vrijednosti, npr. automatsko daljinsko upravljanje iz dispečerskog centra
- uređaj za selekciju na koga su priključeni signali raznih pogonskih ograničenja, kao npr. ograničenja predtlaka ili brzine vrtnje turbine.

Prema preporukama JUGELA [2] termoenergetski blokovi treba da sudjeluju u regulaciji frekvencije i snage u elektroenergetskom sistemu. Stoga će se u daljnjem tekstu prikazati važnije sheme regulacije aktivnih blokova.

Do prije 20 godina većina blokova radila je u režimu konstantnog tlaka svježe pare. U tom režimu rada tlak pare se održava na konstantnoj vrijednosti bez obzira na opterećenje bloka. Opterećenje turbine održava se na namještenoj vrijednosti N_s putem regulacije protoka pare na regulacionom ventilu turbine. Zbog zahtjeva da blok sudjeluje u regulaciji frekvencije, u regulacijsku petlju opterećenja uključuje se signal korekcije snage koji je proporcionalan odstupanju frekvencije u mreži:

$$\Delta N = S \cdot \Delta f \quad (1)$$

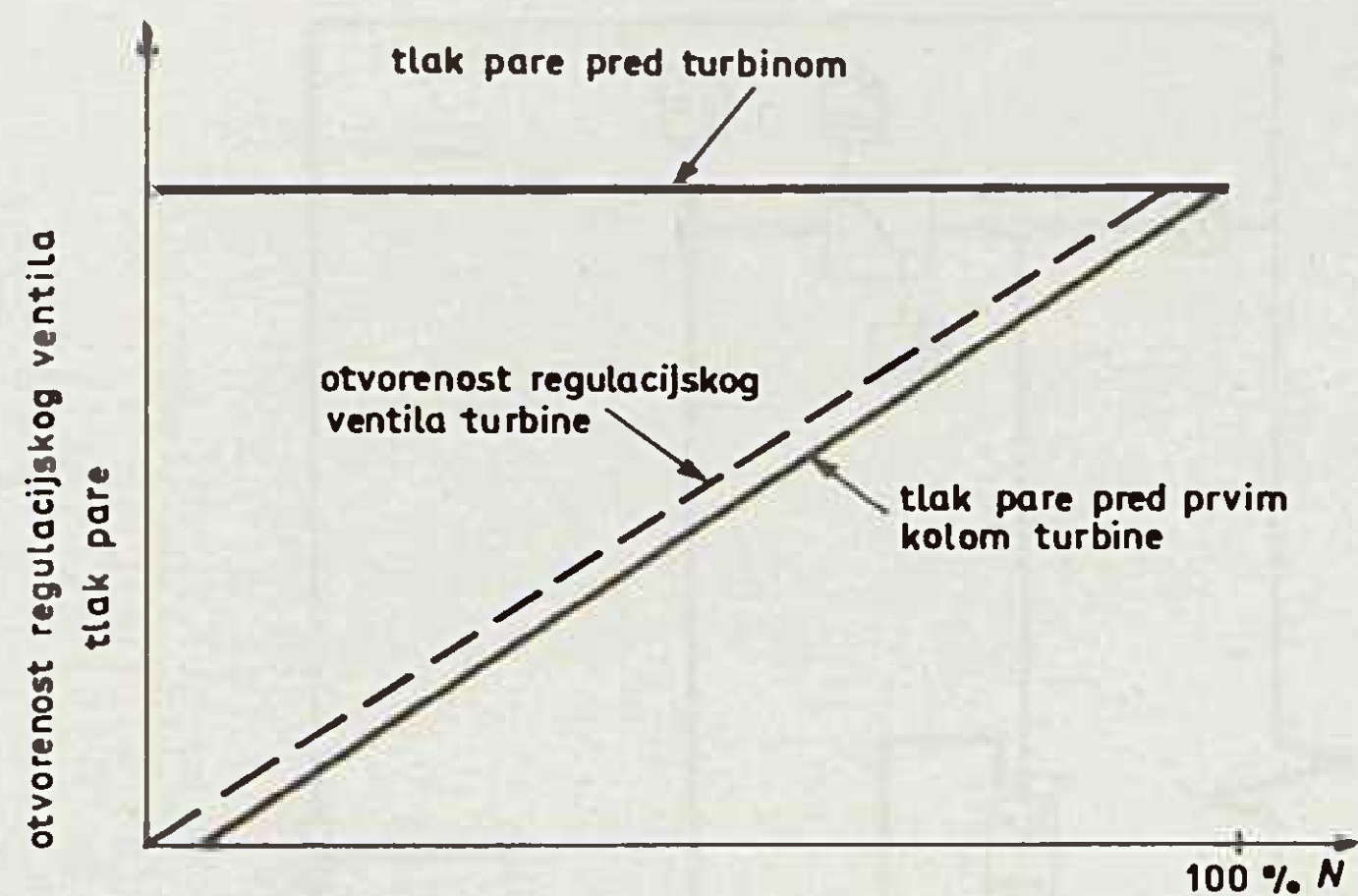
Konstanta proporcionalnosti S je podešenje statike. Tlak se održava na konstantnoj vrijednosti pomoću regulatora tlaka koji djeluje na dobavu goriva, a time se i proizvodnja pare prilagođava potrošnji. Za poboljšanje dinamičkih karakteristika bloka moguće je priključiti i signal odstupanja snage na regulator tlaka pare (slika 3).



Slika 3. Shema regulacije za režim rada bloka s konstantnim tlakom pare

Na slici 4. prikazan je tlak ispred turbinskog ventila za režim rada s konstantnim tlakom.

Takva shema regulacije povoljno koristi akumulativnu sposobnost generatora pare. Naime, pri manjem porastu opterećenja, zbog poremećaja u mreži, najprije pada tlak, a povećavaju se protok pare nadoknađuje iz akumulirane topline. Regulator tlaka djeluje na povećanje dobave goriva, pa se generatoru pare ponovo povratu oduzeta količina pare. Veće promjene opterećenja ne mogu se skokovito izregulirati, već se treba cijeli blok postepeno dovesti na veće optere-



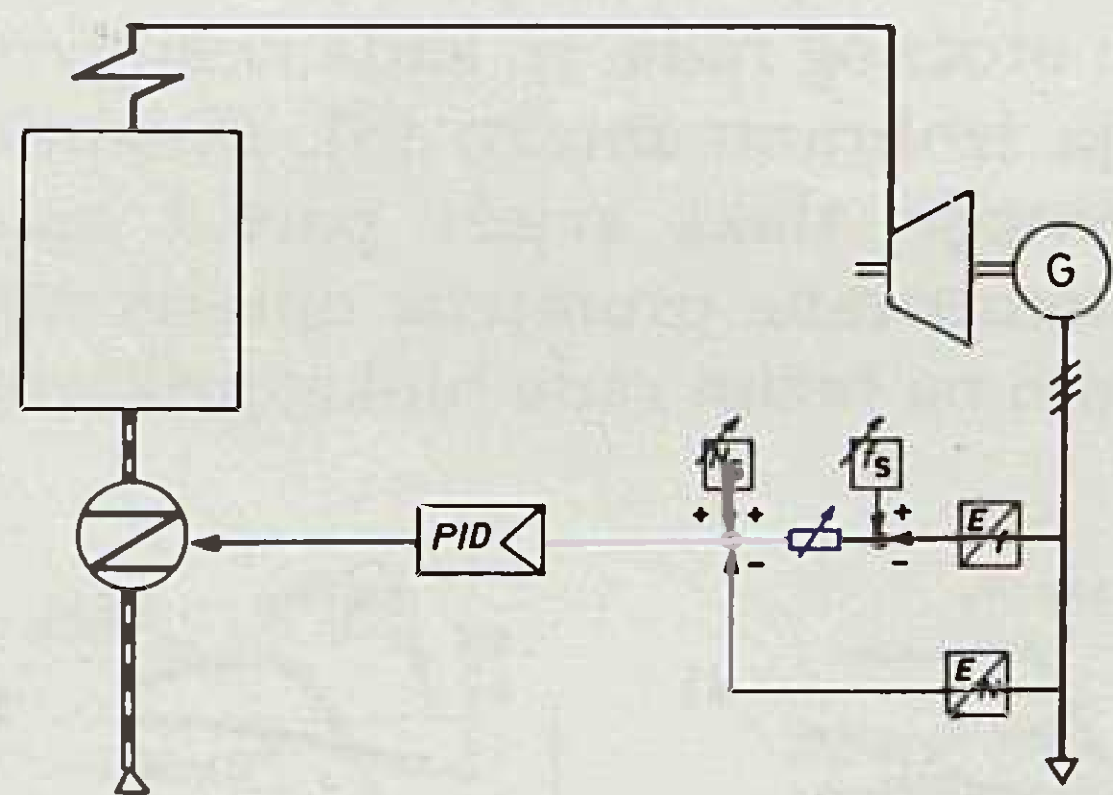
Slika 4. Režim rada s konstantnim tlakom

ćenje putem promjene dobave goriva. Ovakav režim rada ima i dva značajna nedostatka:

- napojna voda treba biti na nazivnom tlaku i kod malih opterećenja, što kod velikih jedinica zahtijeva velike potrošnje energije
- zbog prigušivanja na ulazu u turbinu dolazi do stalnog gubitka energije [3].

Zbog tih nedostataka u posljednjim godinama sve se više primjenjuje režim rada s kliznim tlakom kod kojeg se tlak mijenja u ovisnosti o promjeni opterećenja.

Shema regulacije za režim čistog kliznog tlaka prikazana je na slici 5. Regulator održava opterećenje bloka na namještenoj vrijednosti tako da djeluje direktno na dobavu goriva. Budući da je regulacioni ventil turbine potpuno otvoren, tlak pare se ne regulira, već se slobodno uspostavlja (slika 6). Takav režim rada ne koristi akumulativnu sposobnost generatora pare, tako da se nagle promjene opterećenja ne mogu regulirati. Pri promjeni opterećenja potrebno je da se najprije nakon povećane dobave goriva poveća tlak u generatoru pare pa tek onda i opterećenje turbine. Zbog takve karakteristike objekta regulacije (mrtvo vrijeme i veliko vrijeme uspona) brzina promjene opterećenja bloka za pola je manja od brzine kod bloka s konstantnim tlakom.

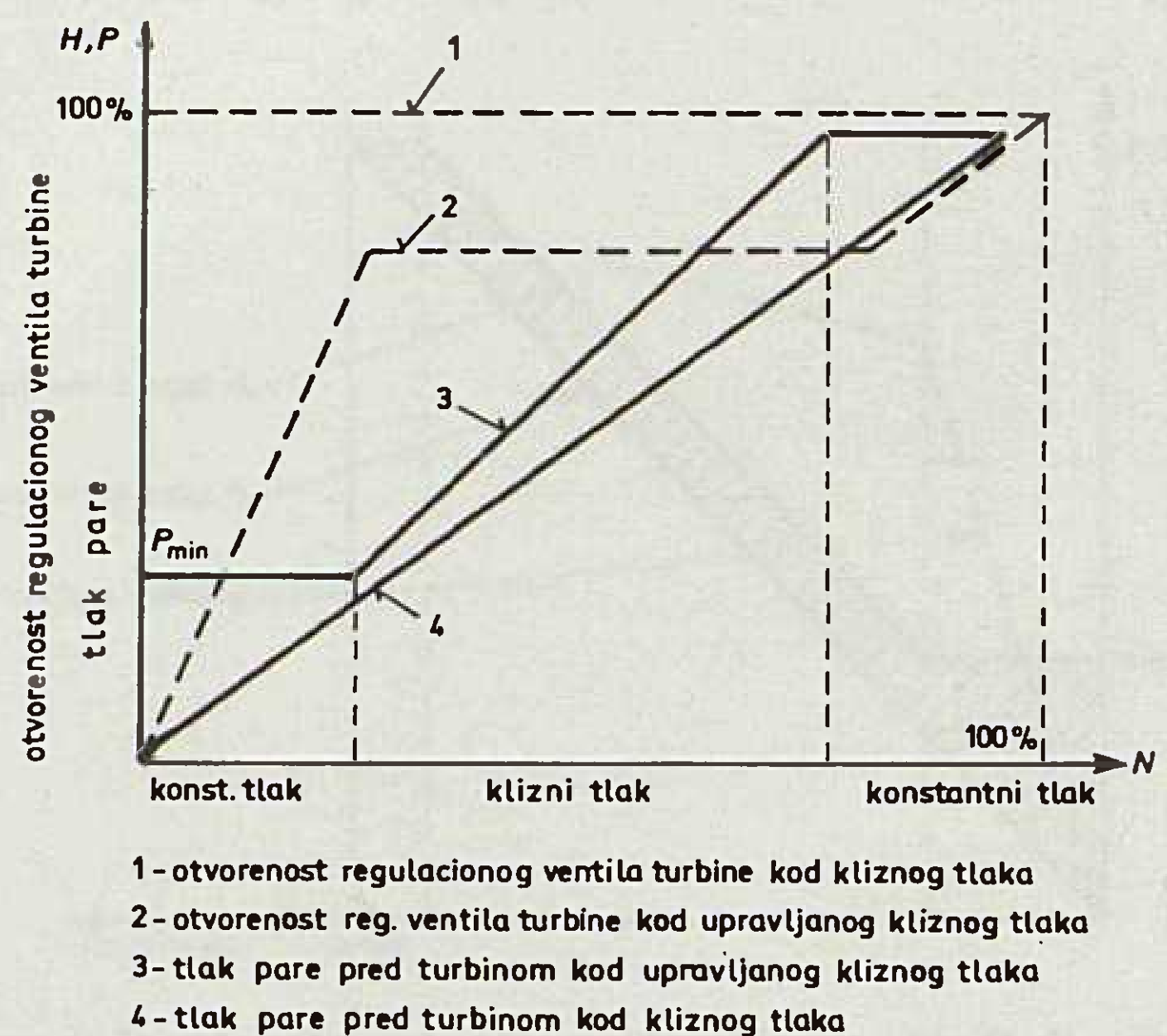


Slika 5. Režim rada s čistim kliznim tlakom

Zbog toga blokovi koji rade s čistim kliznim tlakom ne mogu raditi u primarnoj regulaciji frekvencije, a jedino su pogodni za reguliranje dugotrajnih odstupanja frekvencije.

S gledišta održavanja sistema takav rad ima prednosti zbog manjih tlakova, a time i manjih napreznja u generatoru pare pri radu na nižem opterećenju. Zato se kod većine modeliranih blokova primjenjuje režim rada s upravljanim kliznim tlakom. U tom režimu rada regulacioni ventil ispred turbine nije potpu-

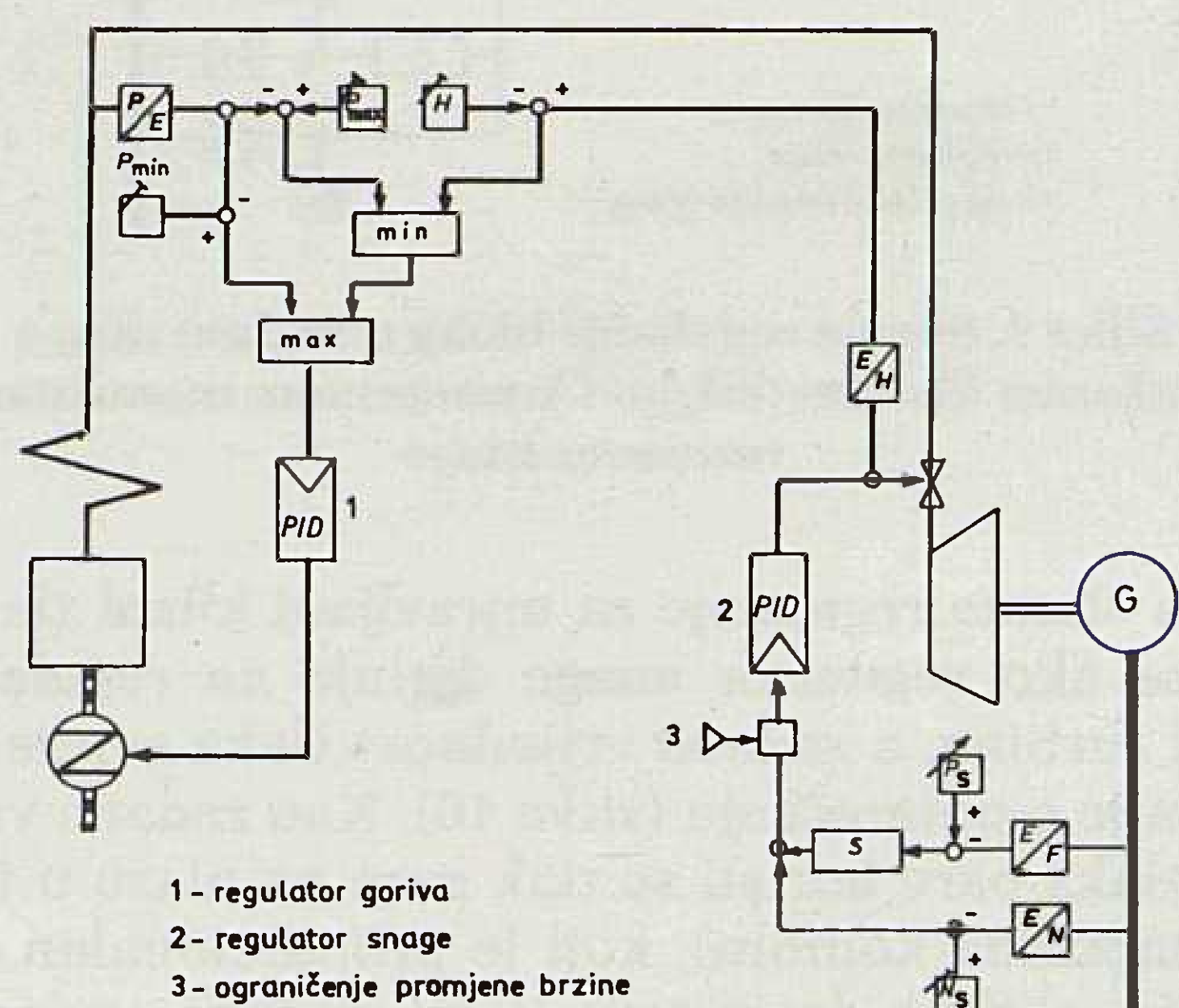
no otvoren, već je malo prigušen (npr. na 90%). U tom području rada tlak svježe pare se slobodno formira od minimalne do maksimalne vrijednosti, u ovisnosti o opterećenju (sl. 6), a nagle promjene opterećenja (do 10%), zbog primarne regulacije frekvencije, mogu se regulirati na račun toplinskog kapaciteta podešavanjem regulacionog ventila. Nakon takve kratkotrajne promjene tlak svježe pare se povećava, a regulacioni ventil se vraća na namještenu vrijednost.



Slika 6. Režim rada čistog kliznog tlaka i upravljanog kliznog tlaka (crtkano-momentalna rezerva opterećenja pri upravljanoj kliznom tlaku)

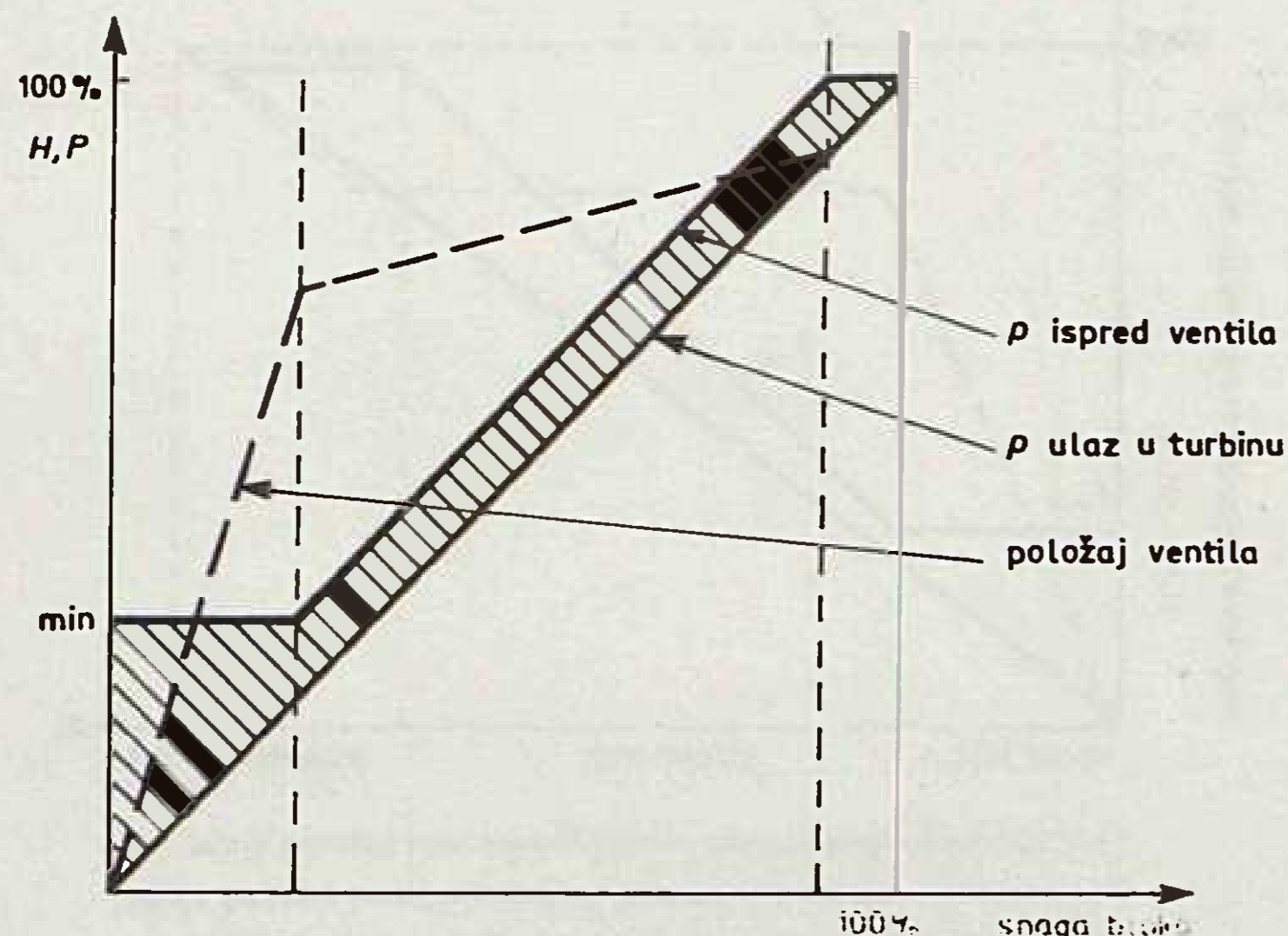
U području većih opterećenja, kada je tlak pare na maksimalnoj vrijednosti, povećanje opterećenja postiže se dodatnim, otvaranjem regulacionog ventila. Isto tako je tlak ograničen na minimalnu vrijednost (npr. 30%) pa se daljnje smanjenje opterećenja postiže prigušenjem na regulacionom ventilu. Na slici 7. prikazana je shema regulacije za režim rada sa upravljanim kliznim tlakom [4].

Regulacija opterećenja provodi se na turbini, dok se promjenom dobave goriva regulira tlak pare na vrijednost koja odgovara namještenoj vrijednosti položaja regulacionog ventila pred turbinom. K tome još dolaze ograničenja minimalnog i maksimalnog tlaka pare.



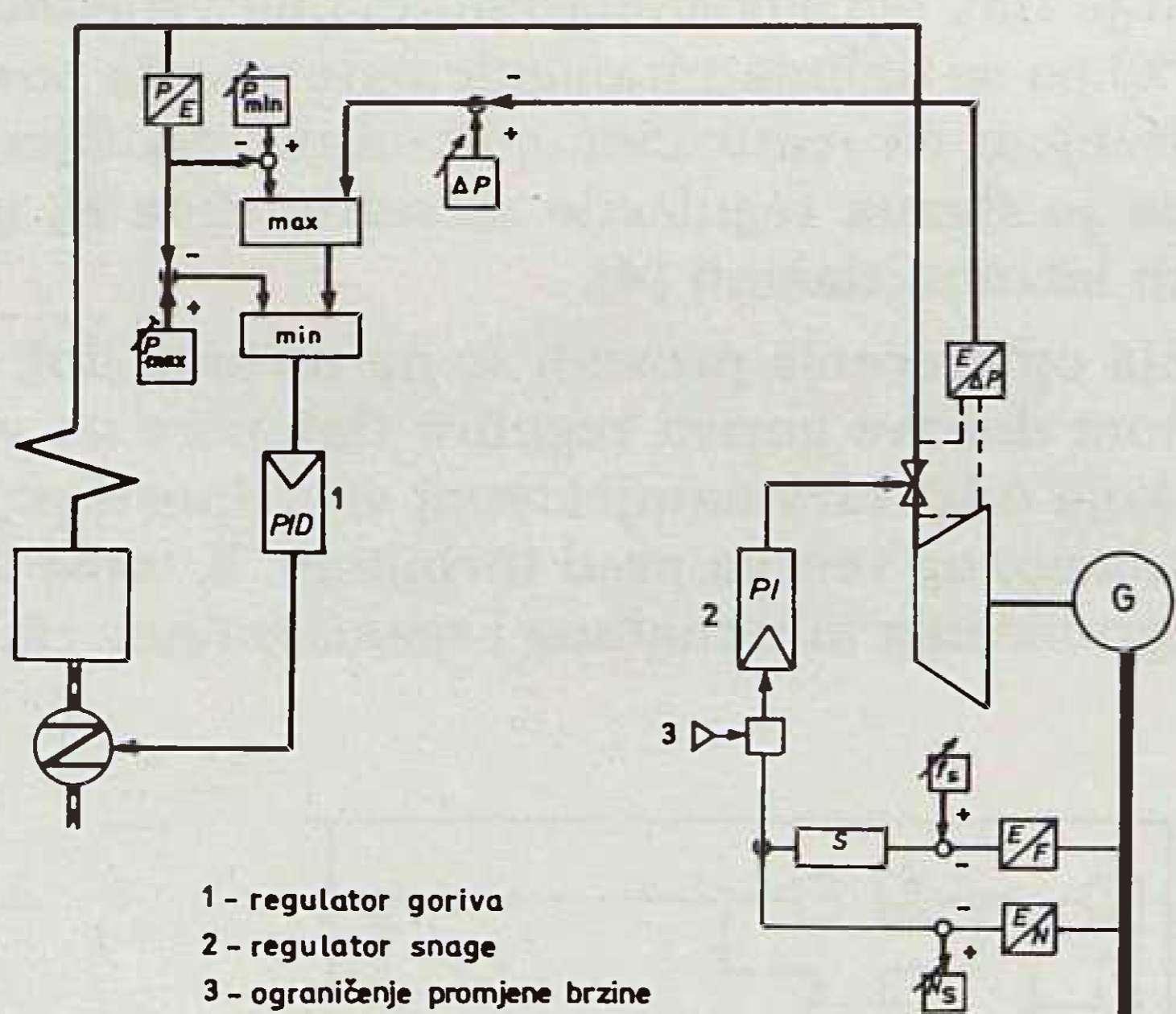
Slika 7. Shema regulacije bloka u režimu rada s upravljanim kliznim tlakom

Opisani režim rada s upravljanim kliznim tlakom omogućuje korištenje momentane rezerve opterećenja koja nije konstantna u cijelom području opterećenja. Ta momentana rezerva, koje je proporcionalna razlici tlaka pred regulacionim ventilom i pred turbinom, u apsolutnom se iznosu smanjuje sa smanjenjem opterećenja. Međutim, često se kod novih blokova zahtijeva da je momentana rezerva jednaka kod malih opterećenja kao i kod punog opterećenja. To se postiže režimom rada kod kojeg je regulacioni ventil pri nižem opterećenju jača prigušen (slika 8).



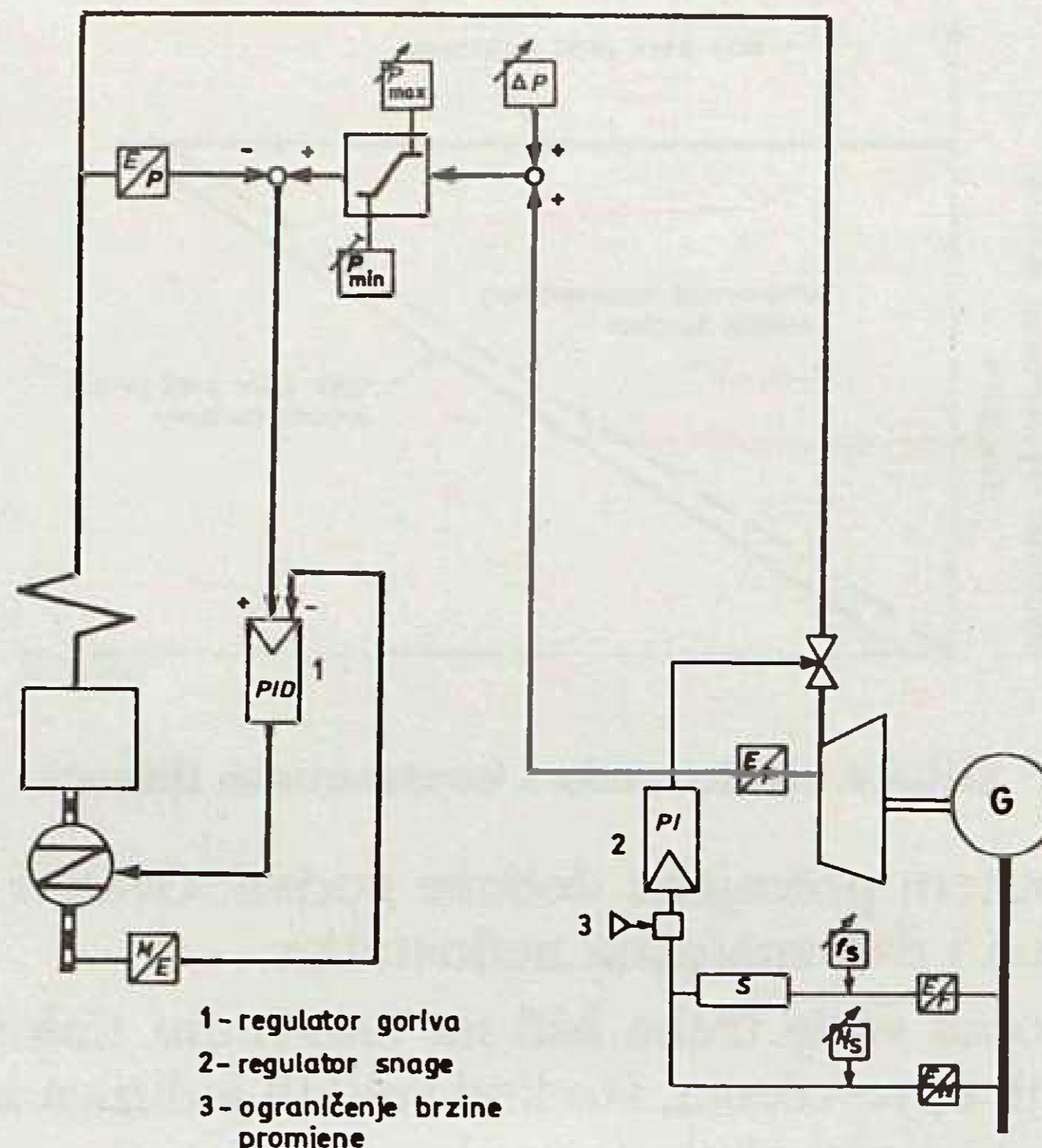
Slika 8. Režim rada s upravljanim kliznim tlakom i konstantnom momentanom rezervom

Konstantna rezerva snage postiže se regulacijom kod koje je regulirana veličina pad tlaka na regulacionom ventilu, a ne položaj ventila. Shema regulacije prikazana je na slici 9.



Slika 9. Shema regulacije bloka u režimu rada s upravljanim kliznim tlakom i konstantnom momentanom rezervom snage

Slična shema regulacije za upravljani klizni tlak dobije se ako regulator snage djeluje na regulacioni ventil turbine, a zadana vrijednost tlaka svježe pare ovisna je o opterećenju (slika 10). Kao zadana vrijednost tlaka pare koristi se tlak pare na ulazu u turbinu (impulsna komora), koji je proporcionalan opterećenju, s time da je tom tlaku dodana vrijednost razlike tlaka koja se prigušuje na regulacionom ventilu.

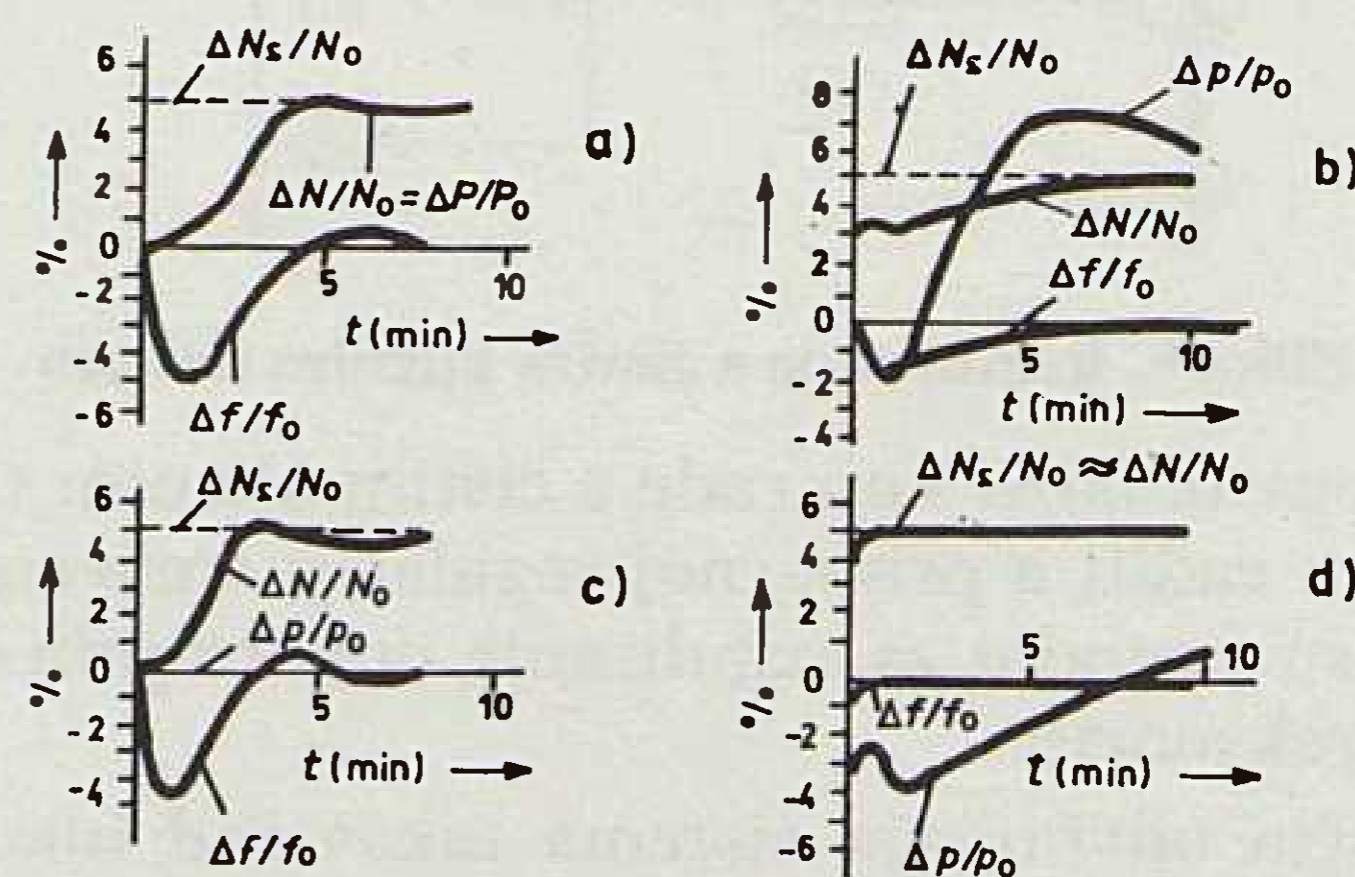


Slika 10. Shema regulacije bloka sa zadanom vrijednošću tlaka svježe pare

Tako stvoreni klizni tlak ograničava se na minimalnu i maksimalnu vrijednost. Dodatno dinamičko poboljšanje se postiže tako da se na ulaz regulatora goriva dovodi i povratni signal dobave goriva, tj. ako se primijeni trokomponentna regulacija.

Dinamičke karakteristike pojedinih shema regulacije ispituju se na analognom računalu, dok se općenito može reći da regulacije s upravljanim kliznim tlakom imaju nedostatak prema regulaciji s konstantnim tlakom svježe pare zbog znatno manje brzine promjene opterećenja (oko 50%) kod većih promjena opterećenja. Brzina promjene opterećenja manja je zbog vremenski sporih procesa ugrijavanja i hlađenja generatora pare (akumulativnost), ograničenje brzine promjene temperature na masivnim komponentama i ograničenja brzine promjene tlaka na recirkulacionom pumpama.

Utjecaj akumulativnosti generatora pare na reguliranje brzih promjena opterećenja najbolje se može uočiti u slučaju otočnog rada, tj. kada nekoliko blok jedinica napaja izoliranu mrežu [5]. Dinamičke promjene frekvencije, tlaka svježe pare i opterećenja bloka kod momentane promjene opterećenja potrošača, s obzirom na režim rada bloka, prikazane su na



Slika 11. Ponašanje različitih režima rada bloka kod skokovite promjene opterećenja u otočnom radu: a) — čisti klizni tlak, b) — modificirani klizni tlak, c) — regulacija predtlaka, d) — konstantni tlak

slici 11. Iz usporedbe režima rada bloka uočljiva je prednost režima rada s konstantnim tlakom za održavanje frekvencije u mreži jer taj režim omogućava korištenje momentane rezerve opterećenja. Krivulje tlaka svježe pare odgovaraju korištenju akumulativnosti generatora pare, jer pri smanjenju tlaka pare dolazi do korištenja akumulacione energije, čime se podržava učinak loženja, i obrnuto.

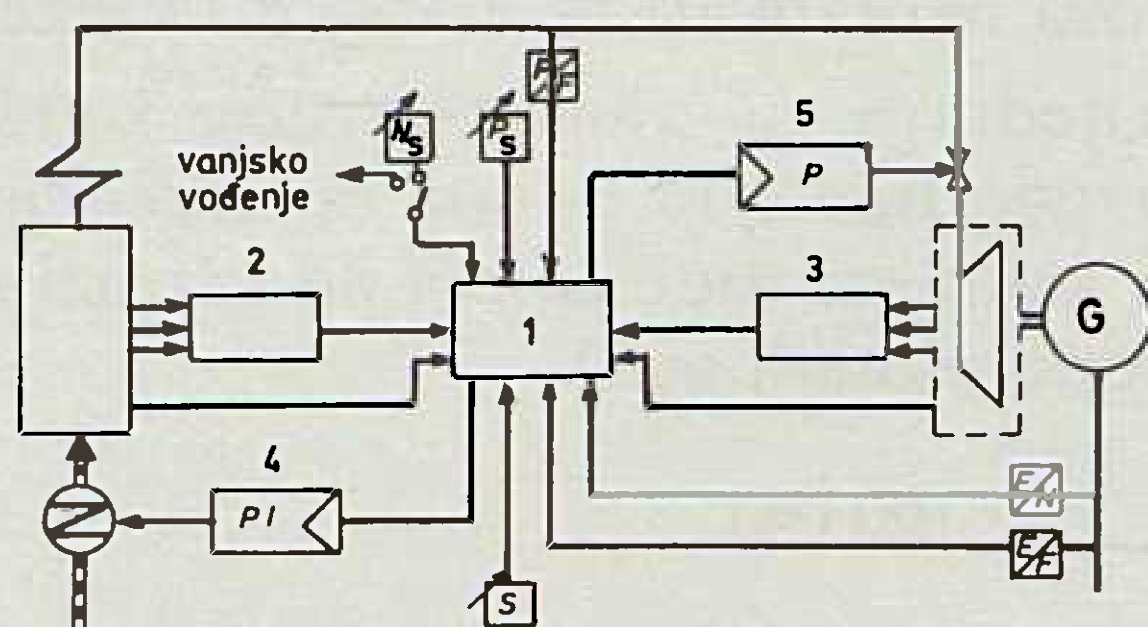
3. UREĐAJ ZA VOĐENJE BLOKA

Kod modernih blokova uvode se uređaji za vođenje bloka koji oslobađaju pogonsko osoblje od donošenja odluke o brzini promjene opterećenja, kao i o mogućim gornjim i donjim granicama opterećenja. Pogonsko osoblje određuje samo zadanu vrijednost opterećenja bloka, dok uređaj za vođenje bloka zahvaća putem regulacije i upravljanja u tehnološke procese bloka. Uređaj za vođenje bloka na osnovi informacija o procesu i stanju opreme određuje moguće promjena opterećenja. Ulazne informacije mogu biti sljedeće:

- raspoloživa snaga napojnih pumpi
- broj raspoloživih mlinova za ugljen odnosno gorionika
- raspoloživost ventilatora zraka za izgaranje
- pogonsko stanje predgrijača
- toplinska naprezanja u turbini
- toplinska naprezanja u kritičnim dijelovima generatora pare (npr. masivni sabirnik pare)
- provjera eventualnih krajnjih položaja regulacionih ventila (npr. regulacioni ventili za vodu za uštrcavanje).

Na osnovi takvih informacija uređaj za vođenje bloka dovodi blok optimalnom brzinom na zahtijevano opterećenje ili na tehnički moguće opterećenje. U slučaju ispada pojedinog agregata (npr. ventilator zraka) uređaj za vođenje bloka smanjuje opterećenje na mogući nivo koji ovisi o radu ostalih agregata. Ako je pomoćni agregat raspoloživ, on se automatski stavlja u pogon. Također, uređaj za vođenje bloka omogućuje optimalno startanje i zaustavljanje rada bloka.

Na slici 12. prikazana je shema uređaja za vođenje bloka.



- 1 - uređaj za vođenje bloka
- 2 - uređaj za proračun slobodnog opterećenja parogeneratora
- 3 - uređaj za proračun slobodnog opterećenja turbine
- 4 - regulator dobave goriva
- 5 - regulator turbine

Slika 12. Uređaj za vođenje bloka

Uređaji za proračun slobodnog opterećenja generatora pare i turbine su analogni ili u novije vrijeme digitalni računari. Uređaj za proračun slobodnog opterećenja turbine računa naprezanje materijala turbine na osnovi mjerenja temperature u stijenci visokotlačnog dijela turbine. Na osnovi usporedbe s dozvoljenim naprezanjima računa se dozvoljena promjena temperature svježe pare, tj. promjena opterećenja turbine.

Uređaj za proračun slobodnog opterećenja generatora pare računa na sličan način kao i uređaj za turbinu iznos najvećeg povećanja opterećenja na osnovi mjerenja razlike temperature na masivnim komponentama (npr. sabirnik pare, odjeljivač vode ili spojni dijelovi) i temperature medija na kritičnim dijelovima pregrijača pare.

Uređaj za vođenje bloka ima prednosti prema klasičnom vođenju pogona zbog sljedećih razloga:

- ekonomičnost proizvodnje je povećana jer se blok dovodi optimalnom brzinom na zahtijevano opterećenje uz minimalne gubitke energije
- pogonska sigurnost je povećana jer se pogonski poremećaji reguliraju unutar dozvoljenih graničnih stanja pojedinih agregata.
- raspoloživost bloka je povećana zbog optimalno udešenog plana angažiranja agregata i također zbog pravovremenih i odgovarajućih akcija u slučaju pogonskih poremećaja.

4. PRIMARNA REGULACIJA FREKVENCije

Električna energija je proizvod koji se ne da uskladištiti, već se u svakom trenutku treba proizvesti koliko to zahtijevaju potrošači. Na osnovi dnevnog predviđanja potrošnje dispečerske službe rade prognozu angažiranja pojedinih elektrana. Razlika između stvarnih potreba potrošača i proizvodnje rezultira u promjeni frekvencije i tu razliku pokrivaju aktivne elektrane.

Iz dnevnog dijagrama potrošnje mogu se uočiti četiri karakteristične promjene opterećenja:

- stalna promjena opterećenja sa srednjim i velikim amplitudama i učestalošću 2/sat, koja se javlja zbog uključivanja određene grupe potrošača radi utjecaja vremena u toku dana, doba godine, meteorološke situacije TV-programima i slično
- fluktuacije opterećenja sa srednjom amplitudom i učestalošću od 10/sat, koje se javljaju zbog povremenih uključivanja sličnih grupa, kao i zbog simultanih uključivanja sličnih grupa, kao i zbog simultanih uključivanja i isključivanja pojedinih potrošača
- nadvalovi opterećenja s malim amplitudama i učestalosti do 1500/sat, koji se javljaju zbog stalnog uključivanja velikih i malih potrošača; ti efekti se međusobno poništavaju, ali nadvalovi ostaju
- skokovite promjene opterećenja sa srednjim i velikim amplitudama koje se relativno rijetko javljaju, i to uglavnom u toku smetnji u elektroenergetskom sistemu.

U slučaju naglog povećanja potrošnje ili ispada jedne elektrane dolazi do pada frekvencije u mreži. Momentani manjak energije u mreži kompenzira se svojstvom samoregulacije mreže. Naime, zbog pada frekvencije svi rotirajući strojevi u mreži, smanjuju brzinu vrtnje, a time i potrebnu snagu. Opterećenje rotirajućih strojeva (ventilatori, rotacione pumpe itd.) u eksponencijalnoj je ovisnosti o frekvenciji u mreži prema sljedećem izrazu [7]:

$$N = N_0 (f/f_0)^n. \quad (2)$$

Također i kod indukcionih peći smanjuje se potrebna energija s padom frekvencije, dok kod omskih potrošača dolazi do smanjenja potrebne energije ako istovremeno s padom frekvencije dolazi i do pada napona.

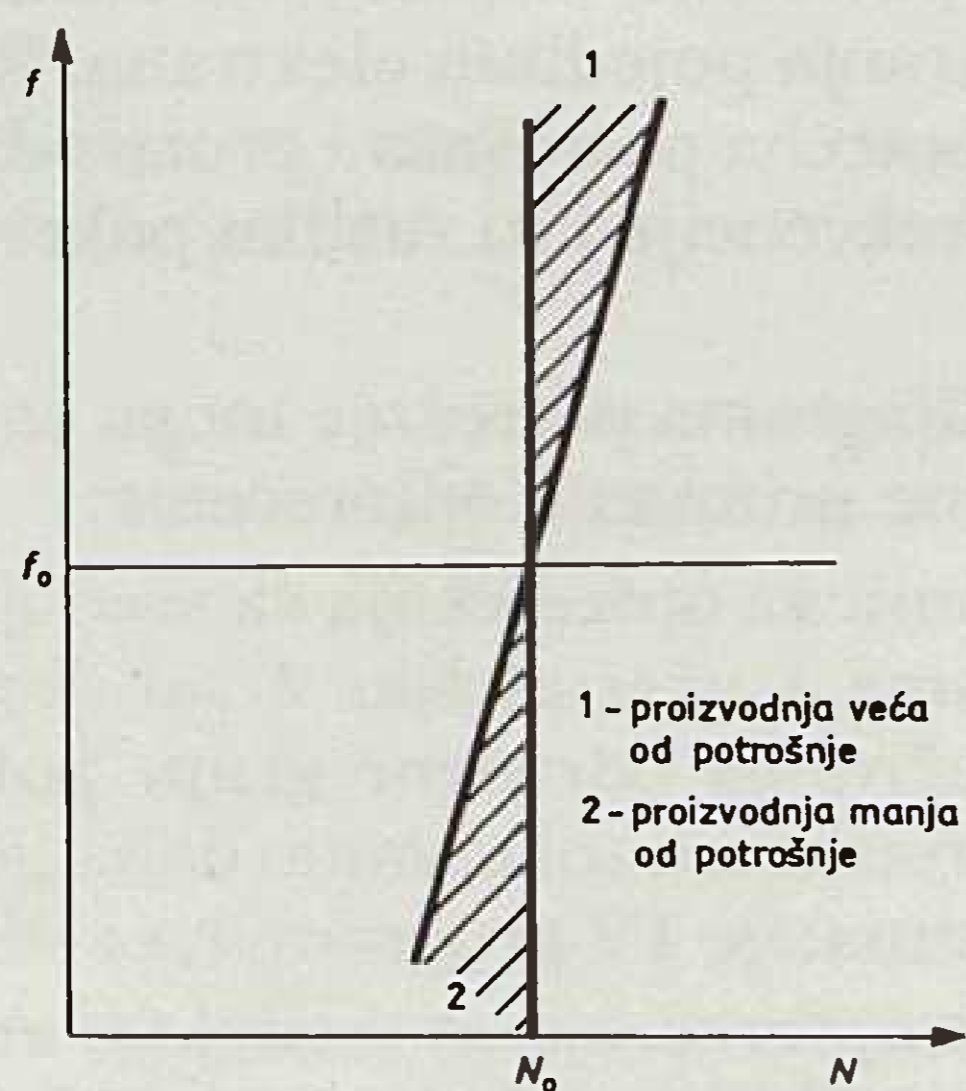
Svojstvo samoregulacije mreže opisuje se regulacionom konstantom potrošača u sistemu K_s [11] koja prikazuje kod koje promjene opterećenja potrošača dolazi do promjene frekvencije u sistemu za 1 Hz. Za evropsku povezanu mrežu uzima se za vrijednost konstante K_s izraženu u postocima ukupnog oprerećenja [3]:

$$K_s = 1 - 3\%/Hz. \quad (3)$$

Veličina konstante K je veoma ovisna o vremenu mjerenja u toku dana zbog različitog broja priključenih potrošača, kao i njihova sastava.

Također, konstanta K_s ima tendenciju smanjivanja zbog sve većeg broja potrošača s regulacijom brzine vrtnje.

Na slici 13. prikazana je karakteristika potrošača, tj. ovisnot promjene frekvencije o promjeni opterećenja u mreži. Zbog skokovitog porasta opterećenja potrošača ili ispada pojedinog agregata dolazi do sljedeće pojave.

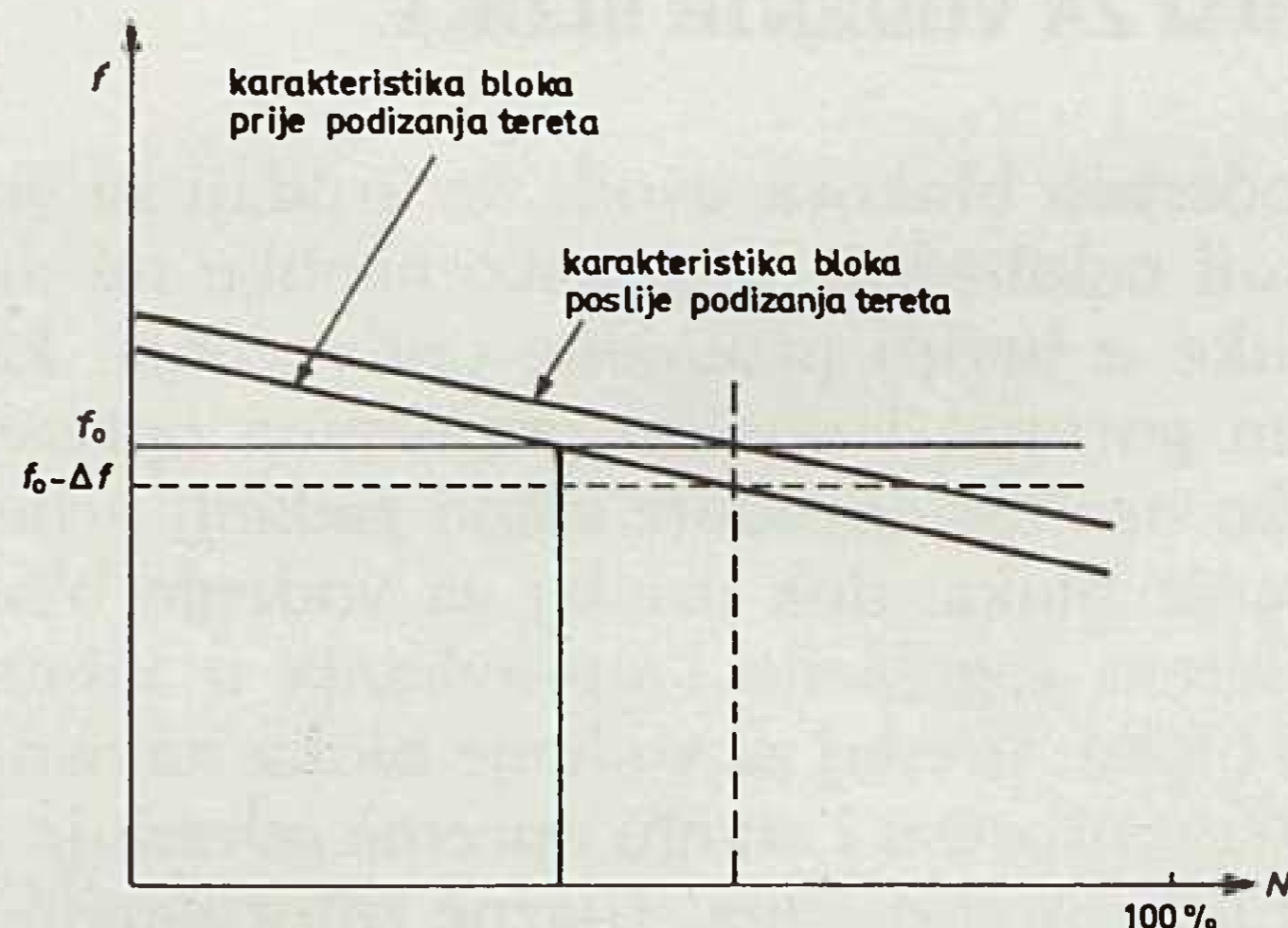


Slika 13. Karakteristika potrošača

Nakon početnog pada frekvencije koji je uvjetovan svojstvom samoregulacije mreže povećava se opterećenje u svim elektranama koje su uključene u primarnu regulaciju frekvencije. Naime, uslijed pada frekvencije, a time i brzine vrtnje turbine, regulator brzine vrtnje s proporcionalnim djelovanjem otvara regulacioni ventil i povećava dovod pare u turbinu.

U prvom trenutku povećana potrošnja pare ide na račun pada tlaka (akumulirana energija) generatora pare, sve dok sporije regulacijske petlje ne djeluju na

povećanje generatora pare. Budući da u regulaciji frekvencije ne sudjeluje samo jedna elektrana, regulatori brzine vrtnje turbine prema osnovnim zakonima regulacije [8] ne smiju imati integralno, nego samo proporcionalno djelovanje. Proporcionalno djelovanje regulatora prikazuje se statičkom karakteristikom turbine, koja se za razmatranje uzima kao linearna ovisnost promjene opterećenja o frekvenciji (slika 14).



Slika 14. Statistička karakteristika turbine

Karakteristična statička pogreška regulatora s proporcionalnim djelovanjem očituje se u tome da je brzina vrtnje pri punom opterećenju za iznos Δf niža nego kod praznog hoda.

Prema statičkoj karakteristici, uz nepromjenjenu namještenu vrijednost opterećenja, povećava se opterećenje pri smanjenju frekvencije. Ta se promjena zove primarna regulacija frekvencije. Ako se kod punog opterećenja želi frekvencija vratiti na početnu vrijednost, potrebno je promijeniti namještenu vrijednost, tj. paralelno pomaknuti statičku karakteristiku za iznos Δf_0 . Za tu promjenu potreban je vanjski zahvat, bilo pogonskog osoblja ili automatski daljinski iz dispečerskog centra, tj. putem sekundarne regulacije frekvencije.

Nagib statičke karakteristike turbine (slika 14), ovisi o promjeni frekvencije Δf kod promjene opterećenja ΔN [7] i zove se mjestimični koeficijent statizma (statika):

$$S_L = \frac{\Delta f/f_0}{\Delta N/N_0} \cdot 100 (\%) \quad (4)$$

Zbog nelinearnosti turbinskog regulacionog ventila statička karakteristika nije pravac i sam koeficijent S (4) se mora razlikovati od točke do točke.

Srednja vrijednost za cijelo područje izvršne veličine, od praznog hoda do punog opterećenja, zove se koeficijent statizma (uobičajeni su i izrazi statika ili stupanj proporcionalnosti):

$$S = \frac{\Delta f_0}{f_0} \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

Koeficijent statizma turbine ima uobičajeno vrijednost od 2 do 10% [2].

Koeficijent statizma proizvodnje cijele mreže rezultanta je koeficijenta S (5) turbina koje sudjeluju u primarnoj regulaciji frekvencije i može se izračunati pomoću regulacione konstante sistema.

Naime, konstantom K se izražava ovisnost promjene frekvencije u sistemu s aktivnim elektranama o momentanoj promjeni opterećenja, i to prema izrazu [3]:

$$K = \frac{\Delta N}{\Delta f} \quad (6)$$

Koeficijent statizma mreže S_M definira se prema izrazu:

$$S_M = \frac{\Delta f / f_0}{\Delta N / N_{0M}}, \quad (7)$$

gdje je N_{0M} suma svih opterećenja u mreži.

Iz navedenih izraza dobije se sljedeća ovisnost koeficijent statizma mreže o konstanti K :

$$S_M = \frac{N_{0M}}{K \cdot f_0} \quad (8)$$

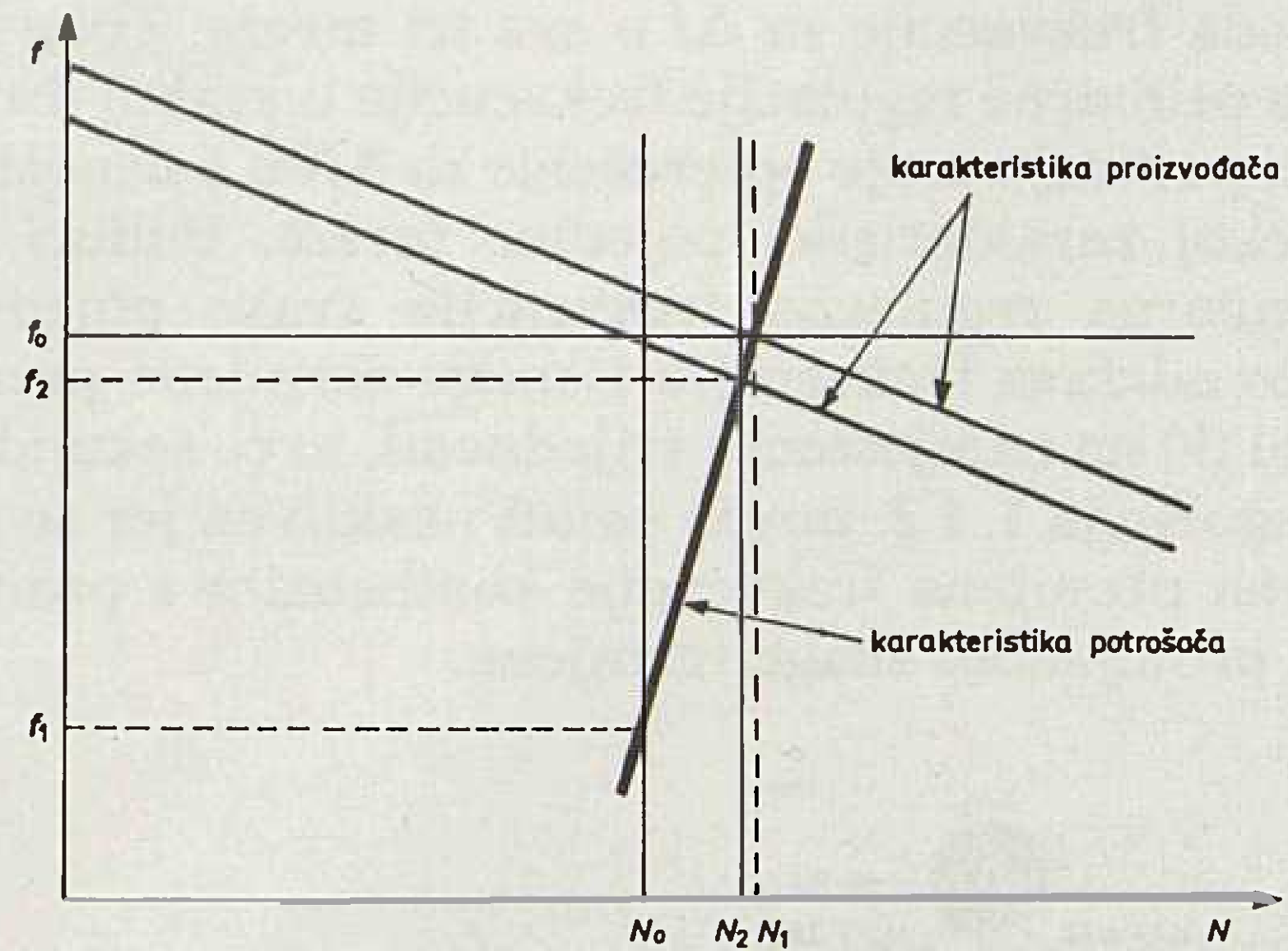
Koeficijenti statizma pojedinih turbina uglavnom su podešeni na vrijednost od 4 do 6% i očekuje se da je i ukupni koeficijent statizma mreže S_M u tom području.

No mjerenja konstante K (6), koja se provode na taj način da se isključi pojedina elektrana ili vod koji napaja izolirano područje potrošača, i mjeri promjena frekvencije u mreži pokazala su da je koeficijent statizma mreže znatno veći, tj. da ima vrijednost 11-17% [3]. Veća vrijednost koeficijenta S_M (8), tj. manja konstanta K (6) nepovoljnija je za održavanje frekvencije mreže na određenoj vrijednosti. Razlika između stvarnog koeficijenta statizma mreže i pojedinih podešenih koeficijenata statizma turbina nastaje zbog ovih razloga [3]:

1. Velika osjetljivost mehaničkih regulatora parnih turbina od ± 25 do ± 50 m H veoma se pogoršava sa starenjem opreme. Kod takvih blokova dolazi do velike promjene opterećenja prije nego regulatori reagiraju. Električni regulatori s hidrauličkim prijenosom izvršne veličine imaju neosjetljivost od ± 5 mHz.
2. Protočne hidroelektrane rade s ograničenim protokom zbog zahtjeva na održavanje razine vode. Stoga one ne sudjeluju u regulaciji frekvencije, tj. njihov koeficijent statizma neizmjereno je veliki.
3. Industrijske toplane koje su priključene na električnu mrežu rade na određenom opterećenju bez obzira na promjene frekvencije u mreži.
4. Kod blokova koji rade u režimu s čistim kliznim tlakom nastaje mrtvo vrijeme od 1 do 2 minute prije nego dođe do promjene opterećenja zbog promjene frekvencije u mreži.
5. Blokovi rade na maksimalnoj snazi.

Na slici 15. prikazana je primarna regulacija frekvencije na osnovi statičke karakteristike proizvodnje i potrošnje. Kod početnog ravnotežnog stanja mreže koja odgovara opterećenju N_0 frekvencija f_0 povećava se opterećenje potrošača na iznos N_1 kod frekvencije f_0 . Ako elektrane ne bi povećale proizvodnju, došlo bi zbog svojstva samoregulacije mreže do pada frekvencije na iznos f_1 .

Međutim, zbog djelovanja primarne regulacije frekvencije aktivni blokovi povećavaju opterećenje na iznos N_2 uz smanjenje frekvencije na iznos f_2 . Daljnjim



Slika 15. Primarna regulacija frekvencije

direktnim zahvatom na pojedini blok ili putem sekundarne regulacije frekvencije povećava se opterećenje pojedinih elektrana dok frekvencija ne dođe na početnu vrijednost f_0 , a opterećenje svih blokova koje se je promijenilo zbog djelovanja primarne regulacije frekvencije ne vrati se na početnu vrijednost.

5. SEKUNDARNA REGULACIJA FREKVENCIJJE

Automatska sekundarna regulacija frekvencije jest regulacija koja djeluje na paralelno pomicanje statičkih karakteristika aktivnih elektrana. Ta je regulacija sa PI -djelovanjem, za razliku od primarne regulacije, i sa znatno sporijim vremenskim djelovanjem, čime je izbjegnuta mogućnost oscilacija zbog djelovanja dvaju nezavisnih regulatora na isti objekt regulacije.

Sekundarna regulacija frekvencije održava frekvenciju u mreži u uskim granicama kao bi potrošači mogli raditi s konstantnim opterećenjem. Preporuča se da u normalnim pogonskim uvjetima greška frekvencije nije veća od ± 100 mHz [11, 12].

Prvotno su u sekundarnu regulaciju frekvencije bile uključene akumulacione i pumpne hidroelektrane, no zbog sve većeg udjela termoelektrana u proizvodnji električne energije danas se zahtijeva da i svi termoblokovi budu uključeni [2, 3].

Za sekundarnu regulaciju frekvencije u otočnoj mreži je frekvencija jedina regulirana veličina, dok se u složenoj mreži regulira i snaga razmjene između pojedinih dijelova mreže.

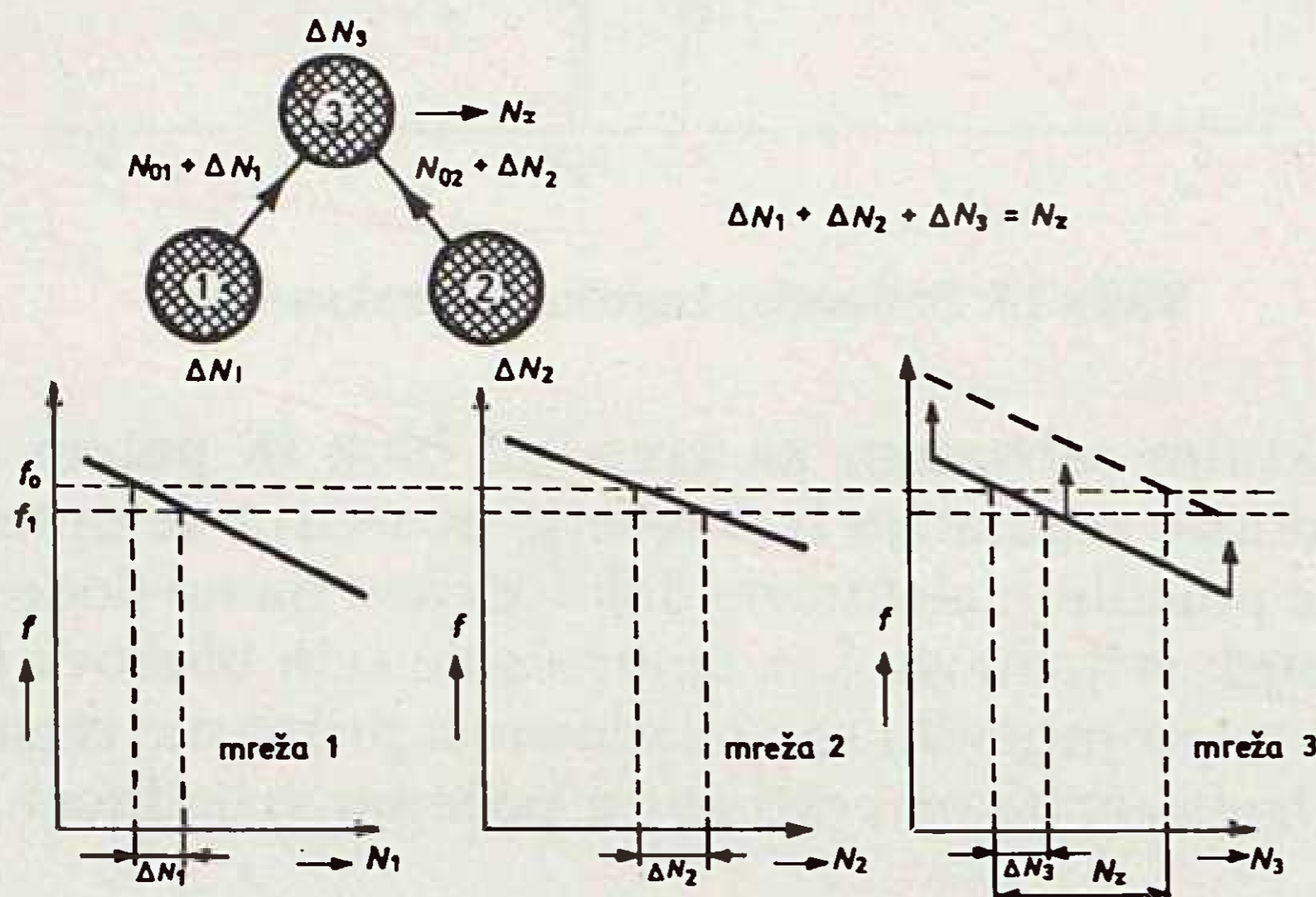
Regulacija frekvencije i snage razmjene moguća je na osnovi izraza [3]:

$$\Delta N + K \cdot \Delta f = 0, \quad (9)$$

gdje je ΔN snaga razmjene među pojedinih dijelovima mreže, K je regulaciona konstanta sistema (6), a Δf je odstupanje frekvencije. Sekundarna regulacija se aktivira kada navedeni izraz (9) nije jednak nuli za pojedini dio mreže.

Na slici 16. prikazano je djelovanje sekundarne regulacije na primjeru triju mreža između kojih je u stacionarnom stanju snaga razmjene N_{01} i N_{02} . U slučaju porasta opterećenja za iznos N_z u mreži br. 3 dolazi

do pada frekvencije za Δf u sve tri mreže. Zbog zahvata primarne regulacije frekvencije u svakoj mreži izvori povećaju svoje opterećenje za ΔN u ovisnosti o statičkoj karakteristici pojedine mreže. Budući da sekundarna regulacija frekvencije svake pojedine mreže održava frekvenciju i snagu razmjene prema izrazu (9) na namještenoj vrijednosti, to će sekundarna regulacija 1. i 2. mreže ostati neaktivna jer se negativna promjena frekvencije kompenzira s pozitivnom promjenom snage razmjene.



Slika 16. Sekundarna regulacija frekvencije na primjeru mreže [3]

Sekundarna regulacija 3. mreže se aktivira, pošto se u njevoj mreži promjene frekvencije i snage razmjene zbrajaju, tj. izraz (9) nije jednak nuli.

Sekundarna regulacija povećava opterećenje svih elektrana u mreži, tj. paralelno pomiče njihove statičke karakteristike sve dok ne preuzmu cjelokupnu promjenu opterećenja. Pritom frekvencija u mreži dođe na početnu vrijednost, a elektrane u mrežama br. 1, 2 dođu na opterećenje koje su imale prije smetnje u mreži. Takvom regulacijom se smetnje u pojedinoj mreži reguliraju s elektranama koje su uključene u sekundarnu regulaciju u toj mreži. Proces regulacije je završen kada se snage razmjene vrate na namještenu vrijednost, a time i frekvencija na vrijednost f_0 . To odgovara paralelnom pomicanju statičke karakteristike mreže br. 3, kao što je prikazano na slici 15.

LITERATURA

- [1] GÜNTER KLEFENZ: »Die Regelung von Dampfkraftwerken«, Bibliographisches Institut, 1971.
- [2] JUGEL: Režim rada blokova u sistemu i tehnički uslovi za rad u primarnoj i automatskoj sekundarnoj regulaciji aktivne snage sistema
- [3] Gleitdruckbetrieb und Festdruckbetrieb grosser Kraftwerksblöcke, BBC, 1969.
- [4] KLAUS NIEDERNBERG: »Zusammenhänge zwischen Stromverbrauch und Stromerzeugung und die sich daraus ergebenden Regelaufgaben für die Kraftwerke«, Siemens AG, 1978.

- [5] F. PROFOS: »Betrachtungen über künftige Regelaufgaben und Regelprobleme in Dampfkraftwerken«, Mitteilung der VGB, H. 109, 1967.
- [6] H. HANDSCHUH i dr.: »Führung grosser Blockkraftwerke«, Regelungstechnische Praxis und Prozess-Regeltechnik, 1973, Heft 3
- [7] Technische Richtlinien für Dampfturbinen regelungen, VDEW, 1963.
- [8] OPELT, W.: »Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge«, Verlag Chemie, 1960.
- [9] DIN 19226: Regelungstechnik und Steuerungstechnik, 1968.
- [10] JUS N.AO.351: Automatsko upravljanje, Termini i definicije, 1983.
- [11] O. PRODANOVIĆ: »Učešće termoelektrana Jugoslavije u regulaciji učestalosti«, ZJE, Beograd, IV Savjetovanje o termoelektranama Jugoslavije, 1971.
- [12] R. GÄRTNER: »Regulung in der elektrischen Energieversorgung«, Regelungstechnik, 1965. H.2.
- [13] Program osiguranja kontrole kvalitete uređaja i sistema regulacije termoenergetskih jedinica na tekuća, plinovita i kruta goriva — I Faza 2. Dio: Obrada zahtjeva na kvalitet regulacije generatora pare, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [14] Definiranje karakteristika opreme VTP s osiguranjem kontrolom opreme i sustava MRA za TE i TO — »3. faza: Obrada zahtjeva na kvalitetu regulacije bloka i turbogeneratorskog postrojenja, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.

CONTROL CHARACTERISTICS OF TPP IN RELATION TO FREQUENCY CONTROL IN ELECTRIC POWER SYSTEM

In the article are presented some basic control characteristics of thermal power plant in relation to frequency control in power system. Described are operational characteristics of TPP with dynamic characteristics as well as basic rules for primary and secondary frequency control.

MERKMALE DER REGULIERUNG DER THERMOENERGETISCHEN BLOCKS BEZÜGLICH DER REGULIERUNG DER FREQUENZEN IM ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEM

Im Artikel werden die Grundmerkmale der Regulierung des thermoenergetischen Blocks bezüglich der Wünsche für die Erhaltung der Frequenz im elektromagnetischem System geschildert. Beschrieben wurden die Grundregime der Blockarbeit mit dynamischen Charakteristika, sowie Gesetzmäßigkeiten in der primären und sekundären Regulierung der Frequenz.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕРМОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЛОКА, УЧИТЫВАЯ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ЭЭС

В статье представлены основные характеристики регулирования теплоэнергетического блока с учетом требований, касающихся сохранения частоты в ЭЭС. Описаны основные режимы работы блока с динамическими характеристиками, а также и основные закономерности первичного и вторичного регулирования частоты.

Naslov pisca:

mr Boris Kalan, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1987-01-23

VELIKI TRANZITNI VRELOVODI

Odabir komponenti i načina polaganja

Dr. Dubravko Matanić — Zoran Kisić, Zagreb

UDK 697.34:536.2

STRUČNI RAD

U članku se daje pregled komponenata koje sačinjavaju velike tranzitne vrelovode s osvrtom na utjecaj izbora raspoloživih rješenja na troškove gradnje, kao i mogućih načina polaganja tranzitnih vrelovoda kroz različite kategorije trasa.

Ključne riječi: tranzitni vrelovodi, način polaganja, raspoloživa rješenja, troškovi gradnje.

UVOD

Nagli razvoj velikih urbanih sredina u prošlim desetljećima potencirao je i problem njihove opskrbe velikim količinama energije, posebice toplinske. To je neminovno dovelo i do intenzivnog razvoja tehnike opskrbe toplinom iz centraliziranih toplinskih sistema. Relativno kratak razvoj na ovom području, kao i intenzivan tehnološki razvoj kroz koji prolazi svijet, neminovno se odražava i na neprekidna istraživanja s poboljšanjima na području tehnike opskrbe urbanih sredina toplinom. Jedna od osnovnih karakteristika modernih centraliziranih toplinskih sistema jest izmicanje izvora topline iz stambenih područja zbog ekoloških, urbanih, sigurnosnih i drugih razloga. To uvjetuje potrebu transporta sve većih količina topline na sve veće udaljenosti, što zahtijeva i specifična tehnička rješenja. U okviru sveukupnih sagledavanja korištenja topline iz NE Prevlaka za potrebe grijanja grada Zagreba provedene su studijske analize problematike transporta topline iz NE Prevlaka do centraliziranog toplinskog sistema Zagreba na udaljenosti otprilike 30 km. Osim samog transportnog cjevovoda sa svojim komponentama analizirana su postrojenja za preuzimanje topline iz toplinskog izvora, odnosno predaju topline u toplinski sistem konzumnog područja, sistem za cirkulaciju vode s ostalim pomoćnim sistemima i uređajima (sistem za održavanje tlaka, dodatnu vodu, otplinjavanje, ekspanzionni rezervoar, rezervoar za punjenje i dr.) te nadzorno-upravljački sistem s odgovarajućom upravljačko-regulacijskom računarskom podrškom. Osim njihovog odgovarajućeg izbora, za rješenje sigurnog, pouzdanog i ekonomičnog vrelovoda provedene su složene analize hidrauličkih nestacionarnih pojava i kompleksna energetska optimiranja, dakle analize koje se znatno razlikuju od uobičajenih kod vrelovoda manjih toplinskih snaga i promjera. Kako je, međutim, tranzitni vrelovod ne samo značajan tehnološki nego i građevinski objekt, njegovo uklapanje u prostor odnosno odabiranje optimalne trase s obzirom

na ostale subjekte u uređenju prostora i konkretne uvjete na mogućim trasama zahtijevalo je interdisciplinarn pristup i koordiniran rad svih relevantnih struka.

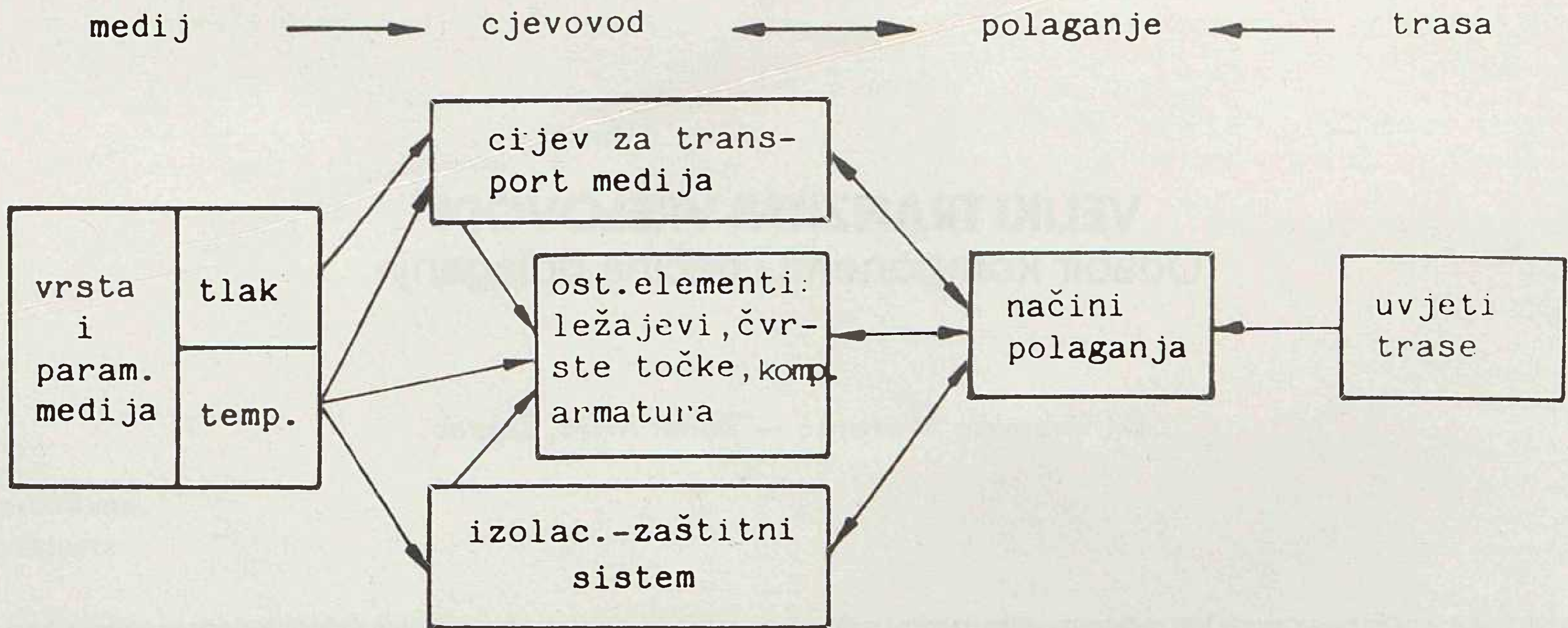
U tako složenom poslu važno mjesto zauzimalo je odabiranje komponenti sistema i načina polaganja samog cjevovoda, a to je i tema ovog članka.

Primjenjivost nekog od sistema cjevovoda i načina polaganja ovisna je o nizu međusobno utjecajnih faktora prikazanih na sl. 1.

Osnovnim utjecajnim faktorima mogu se smatrati parametri radnog medija i trasa cjevovoda odnosno specifični uvjeti za svaku trasu posebno. Termodinamički parametri radnog medija (tlak i temperatura) utječu ponajviše na izbor materijala i debljine stijenke cijevi, kao i na vrstu i debljinu toplinske izolacije. Trasa cjevovoda i uvjeti na njoj određuju način polaganja cjevovoda (nadzemno, podzemno kanalno ili beskanalno). Međusobni utjecaj samog cjevovoda i načina njegova polaganja očituje se prije svega u nizu različitih izolacijsko-zaštitnih sistema, a zatim u materijalu cijevi za transport medija i ostalim komponentama cjevovoda (kompenzatori toplinskih dilatacija, oslonci, armatura i dr.). Odabrana izvedba cjevovoda treba stoga biti rezultat optimalnog izbora komponenti i tehnologije polaganja koji zadovoljava nizu konkretnih tehničkih, tehnoloških i prostornih zahtjeva ponekad suprotnog karaktera, a sve promatrano kroz visinu investicija i eksploatacijskih troškova, odnosno ekonomičnost čitavog projekta.

OSNOVNE KOMPONENTE CJEVOVODA I NJIHOV ODABIR

Da bi cjevovod mogao pouzdano i sigurno izvršavati namijenjenu mu funkciju transporta radnog medija bez propuštanja istog uz minimalne toplinske gubit-



Slika 1. Shematski prikaz utjecaja pojedinih faktora na izvedbu cjevovoda

ke, potrebno je da sadrži sljedeće osnovne komponente:

- cijev za transport medija
- izolacijsko-zaštitni sistem
- kompenzatore toplinskih dilatacija
- armaturu i
- oslonce.

Osnovna funkcija cjevovoda ostvaruje se pomoću cijevi za transport radnog medija kao glavne komponente cjevovoda. Izolacijsko-zaštitni sistem sprečava prekomjerni gubitak te štiti cijev za transport medija od vanjskih utjecaja i oštećenja. Osim toplinske izolacije za cjevovode za transport medija temperature znatno više od okolišnje nužni su i kompenzatori toplinskih dilatacija. Zajedno s osloncima i armaturom oni omogućavaju normalno funkcioniranje cjevovoda kako pri prijelaznim stanjima (puštanje u pogon, zaustavljanje rada), tako i u stacionarnom pogonu.

Osnovne karakteristike i tipovi pojedinih osnovnih komponenti cjevovoda poznati su iz distribucijskih toplinskih mreža i magistralnih vrelovoda manjih i srednjih promjera. Međutim, njihova primjena kod cjevovoda velikih promjera (NO 1000 i više), te s temperaturama radnog medija oko 150-180°C i tlakovima 20-30 bara povezana je s problemima zbog povećanih dimenzija, težina, opterećenja i naprezanja. Stoga su osnovne komponente tranzitnih vrelovoda velikih promjera tema brojnih istraživanja u svijetu, kako bi se upotpunjeno eksploatacijskim iskustvima nekoliko izgrađenih tranzitnih vrelovoda navedenih promjera postigla daljnja poboljšanja njihovih karakteristika, smanjile investicije i pogonski troškovi te produljio vijek eksploatacije.

Cijev za transport medija

Cijevi za transport velikih količina topline vreloom vodom već navedenih termodinamičkih parametara izvode se zbog svog velikog promjera kao uzdužno ili spiralno zavarene čelične cijevi.

Materijal cijevi je u načelu opći konstrukcijski čelik Č.0361 prema JUS C.B0.500 (St 37.2 prema DIN 17100). Kod sistema podzemnih beskanalnih cjevovoda koji se polažu beskompensatorski odnosno tzv. »pipeline« tehnikom s prednaprežanjem primjenjuju se cijevi izrađene od čelika Č.0561 odnosno St 52.3 (prema već navedenim standardima). Uz navedeni način polaganja mogu se prema [1] primijeniti i materijali za cijevi ili pak same cijevi prema API (American Petroleum Institute) specifikaciji 5 L i to materijal X60 za polaganje s termičkim odnosno X70 s mehaničkim prednaprežanjem. Očito je da se kvalitetniji materijali javljaju kao nužnost kod određenih tehničkih rješenja polaganja cjevovoda. Tako se npr. za beskompensatorsko polaganje može sa sigurnošću pretpostaviti potreba za uvoznim materijalima cijevi, čiji komercijalni uvjeti nabave mogu utjecati i na konačan izbor cijevi za transport medija.

Pri izboru jedne od dvije tehničko-tehnološke mogućnosti' uzdužno odnosno spiralno zavarene cijevi u načelu ekonomski prevladavaju nad tehničkim kriterijima. S jedne strane, norme za proračunavanje debljine stijenke cijevi na tlak radnog medija (npr. DIN 2413) ne prave razlike između ova dva načina proizvodnje cijevi, tako da se u oba slučaja primjenjuju cijevi jednake debljine stijenke. S druge strane, s obzirom na dimenzije cijevi, na domaćem se tržištu ne može očekivati velik broj proizvođača, a time ni velike mogućnosti izbora. Stoga osnovni kriterij za odabir treba biti komercijalna povoljnost, odnosno mogućnost proizvođača da potrebnu količinu bez obzira na tip zavara isporuči u dogovoreno vrijeme.

Izolacijsko-zaštitni sistem

Iako je cijev za transport medija glavna komponenta cjevovoda, izolacijsko-zaštitni sistem je ona komponenta po kojoj se pojedini sistemi cjevovoda najviše razlikuju. Razlozi tome su velike mogućnosti razvoja i iznalaženja novih materijala i tehnologija postavljanja toplinske izolacije i zaštitnih omotača, a sve tre-

nutno u svjetlu tendencije porasta temperatura transportnog medija i svodenja toplinskih gubitaka u optimalne granice.

Sistem se u načelu sastoji od toplinske izolacije, vanjskog zaštitnog omotača i, u slučaju podzemnog kanalnog polaganja cjevovoda, betonskih zaštitnih elemenata.

Zahtjevi koji se postavljaju na izolacijsko-zaštitni sistem svode se na:

- toplinsku izolaciju cijevi za transport medija
- zaštitu toplinske izolacije od prodora vlage izvana
- vlastitu čvrstoću sistema i
- kemijsku i galvansku zaštitu cjevovoda.

Najvažniji ali i najteži od zahtjeva zaštite jest **sprečavanje prodora vlage** izvana u toplinsku izolaciju. Vлага može izazvati narušavanje oblika i konzistentnosti izolacije, povećanje gubitaka topline, te, konačno, i koroziju cijevi za transport medija. Zaštita od prodora vlage ostvaruje se različitim tipovima vanjskog zaštitnog omotača (čelični i aluminijski limovi, čelične, plastične, azbestnocementne cijevi i dr.) i betonskim zaštitnim elementima (kod podzemnog kanalnog polaganja). Pri projektiranju izvedbi posebnu pozornost treba obratiti mjestima najvjerojatnijeg prodora vlage, a to su ona gdje se narušava homogenost zaštitnog sistema (tj. kod oslonaca i odvojaka cjevovoda) odnosno spojevi u aksijalnom smjeru cjevovoda (spojevi omotača i fuge kod kanala). Problem zaštite od vlage znatno ovisi o načinu polaganja cjevovoda. Kod nadzemnog polaganja moguće je primjenom odgovarajućih materijala i konstrukcijskih rješenja relativno lako spriječiti prodor vlage u izolaciju, pretpostavivši pri tome neoštećenost vanjskog omotača koju često nije moguće osigurati kroz čitav životni vijek izolacijsko-zaštitnog sistema. Kod podzemnog polaganja cjevovoda u betonske kanale poseban problem su podzemne vode, to prije što kod velikih cjevovoda i kanali postaju velikih dimenzija, pa se zahtijeva polaganja dna kanala na 3-4 m dubine. Ta rješenja, upravo zbog podzemnih voda, mogu biti vrlo skupa.

Osim sprečavanja prodora vlage, vanjski omotač i betonski elementi služe i zaštititi cjevovoda od mehaničkih oštećenja te preuzimanju dijela vanjskih mehaničkih opterećenja, tako da se nužno postavljaju zahtjevi za njihovom **vlastitom čvrstoćom**. Ti su zahtjevi naročito izraženi kod podzemno položenih cjevovoda i proizlaze iz opterećenja vlastitom težinom zaštitnog sistema, težinom tla iznad cjevovoda odnosno kanala i površinskim prometom. Ispravnim izborom i proračunom zaštitnog sistema, vodeći brigu o njegovoj elastičnosti i načinu uležištenja, može se utjecaj navedenih opterećenja svesti u granice sigurnog rada cjevovoda.

Kemijska i galvanska zaštita također je naročito značajna kod podzemno položenih cjevovoda zbog mogućeg agresivnog korozivnog djelovanja tla. Ona ovisi o vrsti i strukturi tla, propusnosti za vodu i zrak, kemijskom sastavu tla i u njemu sadržane vode, te specifičnom električnom otporu i pH-vrijednosti tla. Agresivnom djelovanju tla posebno su izloženi omo-

tači od čelične cijevi, tako da ih se zaštićuje omatanjem bitumeniziranim trakama, nanošenjem sloja plastične mase (npr. polietilena) ili primjenom katodne zaštite od korozije. Dobru zaštitu cjevovoda pružaju vanjski omotači od plastične cijevi i betonski kanali (kod kojih se beton specijalnim dodacima prilagođava agresivnim svojstvima tla). Poseban oblik korozije jest korozija izazvana lutajućim električnim strujama kojih su izvor uglavnom prometna sredstva na tračnicama s pogonom istosmjernom strujom (tramvaj, metro). Zaštita se zasniva na odvođenju struje prikladnim električnim vezama u željenom smjeru.

Primarna svrha **toplinske izolacije** jest održavanje gubitaka topline u ekonomski prihvatljivim granicama. Ujedno se snižavanjem površinske temperature cjevovoda ostvaruje zaštita ljudi od opekline kod nadzemnih cjevovoda, odnosno ograničava zagrijavanje tla kod podzemnih. Osnovna potrebna svojstva toplinske izolacije o kojima treba voditi brigu pri odabiru najpovoljnijeg rješenja mogu se svesti na niski koeficijent toplinske vodljivosti, trajnu postojanost (kvalitetom i oblikom) pri temperaturi medija uz direktnu montažu na cijev, neosjetljivost na utjecaj vlage odnosno mogućnost povrata izolacijskih svojstava sušenjem, kemijsku neutralnost, prilagodljivost istezanju cijevi, mehaničku otpornost i mogućnost laganog i brzog transporta, obrade i montaže. Rukovodeći se ovim, većinom tehnološkim kriterijima, te uzimajući u obzir čak i važnija eksploatacijska iskustva i cijene pojedinih tipova toplinske izolacije, u praksi se najčešće primjenjuje mineralna i staklena vuna te poliuretanska (PUR) pjena. Budući da ni jedan od izolacijskih materijala u potpunosti ne zadovoljava sve postavljene zahtjeve, treba naglasiti da univerzalno najpovoljnijeg rješenja nema, već ga treba odabrati u skladu s tehničkim rješenjima drugih komponenti i načina polaganja cjevovoda.

Za nadzemno se položene cjevovode, unatoč slabim mehaničkim svojstvima i lakom upijanju vlage, najčešće koristi mineralna vuna u kombinaciji sa zaštitnim omotačem od aluminijskog ili pocinčanog čeličnog lima, što je ujedno najjeftinije rješenje. Praksa je, međutim, pokazala da se ovakvo rješenje vrlo često prekomjerno namjerno ili nenamjerno oštećuje, tako da izolacijski sloj gubi svoju funkciju uz istovremeno velike toplinske gubitke i utrošak financijskih sredstava za sanaciju šteta. Također je iz iskustva poznato da kod ovog načina izoliranja lako dolazi do prodora vlage u mineralnu vunu čime, uz povećanje toplinskih gubitaka, dolazi i do njena bržeg starenja. Osim toga mineralna vuna, zbog svoje vlastite težine propada u donje dijelove izolacijskog omotača, što je naročito prisutno kod debljih izolacijskih slojeva. U svakom se slučaju ovo rješenje ne može smatrati konačnim za eksploatacijski vijek tranzitnog vrelovoda. I u slučajevima kada nema znatnih oštećenja izolacijsko-zaštitnog sistema ljudskom djelatnošću, iskustvo je pokazalo da se u toku 25-godišnje eksploatacije obnovi praktički kompletna izolacija izvođena na navedeni klasičan način. Uzimajući u obzir razdoblje eksploatacije od 50 godina, to bi značilo da se u tom

periodu cjevovod praktički tri puta mora kompletno izolirati.

Investicijski skuplje, no mnogo trajnije rješenje jest primjena zaštitnog omotača od stakloplastike. Primjena ovog zaštitnog omotača iz tehnoloških razloga zahtijeva i primjenu žljebnjaka iz tvrde PUR pjene. Kako je, međutim, radna temperatura polaznog voda tranzitnog vrelovoda (150-180°C) znatno viša od maksimalne trajne temperature primjene PUR izolacije (130°C) nužno je, a s obzirom na cijene izolacijskih materijala i ekonomski opravdano, prihvatiti rješenje s dvoslojnom izolacijom (prvi sloj — mineralna ili staklena vuna, drugi sloj — PUR). Ovakav način izolacije primjenjuje se iz razloga ekonomičnosti i kod povratnog voda iako njegova niska temperatura omogućava primjenu samo PUR-a. Proračunom optimalne debljine dvoslojne izolacije s obzirom na minimum ukupnih troškova gubitaka topline i investicije u toplinsku izolaciju kroz eksploatacijski vijek cjevovoda, na jednom konkretnom primjeru tranzitnog vrelovoda velikog promjera dobiveno je rješenje s minimalnom debljinom žljebnjaka od PUR-a (reda veličine 25-50 mm) potrebnog kao podloga za nanošenje stakloplastike, te s unutrašnjim staklene vune znatno veće debljine.

Rješenje s omotačem od stakloplastike ima nekoliko važnih prednosti pred klasičnim rješenjem s limesnim plaštem. Najznačajnijim se mogu smatrati njegova dovoljna čvrstoća da se može hodati po cjevovodu, te da njegovi nasilno skinuti dijelovi, za razliku od limova, ne mogu poslužiti nekoj drugoj svrsi, što sam omotač čini neatraktivnim za otuđivanje. Osim toga, otporniji je na razne agresivne plinove i prašinu iz atmosfere, a u slučaju oštećenja dobru prepreku prodoru vlage do unutrašnjeg sloja izolacije čini sloj PUR-a.

Prema današnjim odnosima cijena dvoslojna izolacija sa zaštitnim omotačem od stakloplastike skuplja je oko 12% od klasičnog rješenja, no odabrana je upravo zbog navedenog niza prednosti, uključivši i nižu cijenu za izolaciju tranzitnog vrelovoda gledano kroz ukupni vijek eksploatacije.

Kod podzemnog polaganja cjevovoda pojedini načini polaganja mogu predodrediti način toplinske izolacije. Tako će npr. prema inozemnim istraživanjima [1] za beskompensatorski način polaganja cjevovoda s visokom temperaturom medija sistemom čelična cijev u čeličnoj cijevi biti najprijekladnija izolacija od perlitnih zrnaca, ili pak u sistemu s dvostrukom azbestnocementnom cijevi PUR. U našim uvjetima, detaljnije navedenim u drugom dijelu članka, to praktički znači da izbor izolacije kod podzemnog polaganja treba izvršiti za polaganje u betonskim kanalima.

Imajući na umu drugačije uvjete u kanalima što se tiče mogućnosti ovlaženja i oštećenja izolacije (nema oborina ni utjecaja čovjeka i agresivne atmosfere), tada je najjeftinije i kvalitetom zadovoljavajuće rješenje, a što potvrđuje i praksa, izolacija od mineralne ili staklene vune sa zaštitnim slojem od bitumenizirane ljepenke. Danas se za tu svrhu koriste izolacijski filcevi i, u slučaju staklene vune, za montažu pri-

kladniji žljebnjaci dobiveni stabilizacijom filceva umjetnim smolama.

Kompenzatori toplinskih dilatacija

Kompenzacija toplinskih dilatacija nastalih zbog rada cjevovoda pri različitim temperaturama izuzetno je složen problem posebice kod cjevovoda velikih promjera. Kompenzacija se može izvršiti koristeći se elastičnošću samog cjevovoda odnosno njegovih koljena ili posebnim konstruktivnim elementima. U prvom slučaju konfiguracija cjevovoda ili dionica cjevovoda mora biti takva da je dovoljno elastična da omogućava kompenzaciju, a što se najčešće realizira odgovarajućim projektantskim rješenjima uz primjenu tzv. U-kompenzatora (lira) odnosno L i Z kompenzacijskih elemenata. Kod dugih pravocrtnih dionica cjevovoda velikih promjera klasične lire zahtijevaju mnogo prostora koji često nije na raspolaganju. U takvim se slučajevima koristi umjetna kompenzacija najčešće pomoću zglobnih i aksijalnih kompenzatora čiji čelični mjehovi svojim elastičnim deformacijama mogu preuzimati relativno velike dilatacije. Za pouzdanu primjenu nekih drugih tipova kompenzatora još uvijek nedostaju značajnija pogonska iskustva (npr. kod teleskopskih kompenzatora) ili se pak još nalaze u fazi razvojnih ispitivanja (npr. lećasti kompenzatori prema [2]).

Polazeći od dosadašnjih iskustava i mogućnosti izrade u domaćim tvornicama, ocijenjeno je da kod cjevovoda velikih promjera prednost treba dati lirama sa zglobnim kompenzatorima i prirodnoj L i Z kompenzaciji gdje to uvjeti na trasi omogućavaju. Razlozi za to mogu se svesti na sljedeće:

- Zadovoljavajuća iskustva u primjeni postoje kod zglobnih kompenzatora i lira.
- Jedna od osnovnih mana klasičnih lira kod cjevovoda velikih promjera su njihove potrebne dimenzije, zbog kojih zauzimaju velike površine zemljišta i znatno »izlaze« iz pravca trase (npr. kod cjevovoda NO 1000 izlazak izvan trase je reda veličine 30 m, i to na svakih 400 m dužine cjevovoda). Primjenom lira sa zglobnim kompenzatorima potrebno je na svakih 500 m izgraditi liru koja izlazi iz pravca trase za oko 8 m. Kod rješavanja kompenzacija klasičnim lirama ne postavlja se samo problem zauzimanja zemljišta već se često javljaju i problemi smještaja takvih lira okomito na pravac trase, koji se ponekad i može povući određenim prostornim koridorom, no nije moguće postaviti lire. Bez obzira na to što su klasične lire oko 3 puta jeftinije, treba imati na umu da one zauzimaju do 5 puta veću površinu zemljišta, što se danas ne može zanemariti.
- Aksijalni nerasterećeni kompenzatori — osim zahtjeva za veoma točnom montažom, što je teško provedivo kod ovako velikih promjera, izazivaju i vrlo velike aksijalne sile, što se neminovno odražava na troškove izrade betonskih temelja čvrstih oslonaca.

- Aksijalni rasterećeni kompenzatori također zahtijevaju veoma točnu montažu, složene su izvedbe, vrlo su skupi, te se primjenjuju samo u slučajevima kada se iz različitih razloga ne mogu primijeniti neki od prethodno navedenih tipova; stoga su iskustva u primjeni ovakvih kompenzatora i u svijetu vrlo oskudna, a kod nas se za sada ne proizvode.

Armatura

Armatura se u tranzitnim vrelovodima primjenjuje ponajviše za podjelu cjevovoda na dionice odnosno dijelove dionica kako bi se ograničio dio cjevovoda iz kojeg se ispušta voda za potrebe popravka u slučaju kvara na cjevovodu. Ova tzv. sekcijska armatura svojim zatvaranjem u slučaju puknuća cijevi odnosno znatnijeg propuštanja vode sprečava istjecanje velikih količina vode u okolinu. Određeni broj zapornih organa ima i sigurnosnu funkciju kada svojim programiranim zatvaranjem sudjeluju u zaustavljanju cirkulacije u tranzitnom vrelovodu bez nastanka nedozvoljenih nestacionarnih hidrauličkih pojava odnosno udara.

Pred zapornu armaturu postavljaju se brojni zahtjevi a među najvažnijima su nepropusnost nakon zatvaranja u oba smjera, nepropusnost pokretnih dijelova prema vani, lagano otvaranje i zatvaranje, čvrstoća konstrukcije i otpornost materijala na protočni medij, što manja potreba za održavanjem i zadržavanje zahtijevanih svojstava kroz što duži životni vijek. Uz pretpostavku ispunjenja osnovnih zahtjeva, pri odabiru armature postavljaju se pored ekonomskih i dodatni tehnički kriteriji: otpori strujanja, vrijeme otvaranja i zatvaranja, pogodnost za obrnuti smjer strujanja, ugradbeni gabariti, težina, pogodnost za prigušivanje i dr.

Za tranzitne vrelovode velikih promjera s tehničkog gledišta zadovoljavaju zaklopke, slavine i zasuni. Treba, međutim, pri odabiru armature u našim uvjetima poći od sljedećeg:

- Od armature za tranzitne vrelovode velikih promjera na domaćem je tržištu moguće od domaćih proizvođača nabaviti slavine (Gecos), zaklopke (Adams) i zasune.
- Domaći odnosi cijena uopće nisu komparativni s inozemnim, koji se svi nalaze unutar granice od 20%.
- Praksa u nekoliko velikih sistema tranzitnih vrelovoda u svijetu (npr. [3 i 4] pokazuje da se kod najveće, sekcijske armature prednost daje zaklopkama i slavinama.
- Usporedba slavina i zaklopki upućuje na manji koeficijent otpora kod slavina (0,5 prema 0,75 za zaklopke) no slavine su oko 3 puta teže (slavina 8,7 t prema 2,4 t) sa znatno većim ugradbenim gabaritima, te su slavine kod nas oko 3 puta skuplje. Treba imati na umu da kod ugradnje također veći trošak predstavlja ugradnja slavina zbog velike težine i teške manipulacije.

Iz navedenog proizlazi da u našim uvjetima treba dati prednost zaklopkama.

Oslonci

Na konstrukciju i proračun pomičnih oslonaca koji mogu biti klizni ili kotrljajući postavljaju se općenito sljedeći zahtjevi: primjena materijala s kojima se mogu ostvariti niski koeficijenti trenja, optimiranje razmaka oslonaca s obzirom na broj oslonaca i debljinu stijenke cijevi, slabo odvođenje topline, točno vođenje cijevi, mala visina i jednostavna konstrukcija oslonaca, te mogućnost proračuna svih sila i momenata koje u složenom prostornom sistemu cjevovoda mogu djelovati na cijev na mjestu uležištenja. Za eksploataciju su, pak, pored što nižeg koeficijenta trenja značajni životni vijek oslonca, te potreba za zadržavanjem odgovarajućih svojstava kroz duže vrijeme bez održavanja.

Čvrste točke cjevovoda služe prihvaćanju sila zbog toplinskih dilatacija i unutarnjeg tlaka, tako da se kod tranzitnih vrelovoda s velikim promjerima i razmacima kompenzatora pojavljuje potreba za čvrstim točkama velikih dimenzija. U određenim se uvjetima može primijeniti tzv. elastična čvrsta točka na oprugama koja svojom pokretljivošću pod djelovanjem sila u jednom smjeru izaziva s druge strane suprotne sile trenja, čime se smanjuju ukupna maksimalna sila i potrebne dimenzije čvrste točke. Drugi problemi kod čvrstih točaka jesu opterećenja stijenke cijevi zbog prijenosa sila i momenata na čvrstu točku. Odgovarajućom konstrukcijom osigurava se prijenos sila preko što veće površine i izbjegavaju koncentracije naprezanja u zavarima.

NAČINI POLAGANJA CJEVOVODA I NJIHOV ODABIR

U današnje se vrijeme za cjevovode velikih promjera za transport ogrjevnog medija mogu primijeniti sljedeći načini polaganja:

1. Nadzemno polaganje na:
 - niskim betonskim stupićima
 - visokim betonskim ili čeličnim potpornim stupovima
2. Podzemno beskanalno polaganje sa sljedećim rješenjima
 - cjevovod s čeličnocijevnim omotačem s tzv. konvencionalnim polaganjem odnosno beskompenzatorskim polaganjem
 - cjevovod s omotačem od plastične cijevi
 - cjevovod s jednostrukim odnosno dvostrukim azbestnocementnim omotačem
 - cjevovod s lijevanom toplinskom izolacijom
 - cjevovod sa zasipnom toplinskom izolacijom
3. Podzemno kanalno polaganje koje obuhvaća cjevovode u betonskim kanalima, i to u:
 - kanalima s pravokutnim ili polukružnim poklopcima

- U-kanalima
- dvostrukim U-kanalima.

Budući da su osnovne karakteristike većine navedenih načina polaganja dobro poznate ili su već prethodno opisane, ovdje ćemo navesti samo one specifične i značajne za odabir najpovoljnijeg načina polaganja ovisno o konkretnim tehničkim, tehnološkim i prostornim uvjetima.

Nadzemno vođenje cjevovoda na niskim betonskim stupićima ili betonskim odnosno čeličnim potpornim stupovima smatra se, prema sadašnjem stanju tehnike, najjeftinijim načinom polaganja zbog, u usporedbi s ostalim sistemima, znatno manjih troškova građevinskih radova i vrlo jednostavne montaže. Drugi razlog za izbor nadzemnog cjevovoda je često (obično u industrijskoj zoni) velik broj postojećih podzemnih cjevovoda i kabela na trasi, zaobilaznjekojih je gotovo nemoguće, pa se preporuča polaganje na visoke potporne stupove.

Cjevovodi s čeličnocijevnim omotačem zbog svoje homogenosti u smislu čvrstoće i zaštite od vlage, kao i zbog elastičnosti primijenjenih materijala pružaju maksimalnu sigurnost u pogonu pri polaganju u tla slabih mehaničkih svojstava i u područjima s visokom razinom podzemnih voda. Osobitost izolacijsko-zaštitnog sistema jest postojanje prstenastog zračnog raspora između toplinske izolacije i vanjske čelične cijevi, te mogućnost smanjenja toplinskih gubitaka održavanjem određenog vakuma u prostoru toplinske izolacije i zračnog raspra. Troškovi tog postupka kompenziraju se smanjenjem debljine izolacije a time i promjera vanjske čelične cijevi, te mogućnošću korištenja vakuuma za otkrivanje propuštanja cjevovoda izvana ili iznutra. Za razliku od tipa s tzv. konvencionalnim polaganjem, kod kojeg se toplinske dilatacije kompenziraju na već opisane konvencionalne načine, kod beskompensatorskog se polaganja toplinske dilatacije cijevi za transport medija na ravnim dionicama cjevovoda sprečavaju pomoću njene čvrste mehaničke veze s vanjskom čeličnom cijevi. Njezino je pak dilatiranje spriječeno trenjem o zemlju. Sprečavanje dilatiranja izaziva u obje cijevi dodatno naprezanje tako da je uz temperaturu medija iznad 80 °C potrebno prednaprezanje cjevovoda (mehaničko ili termičko). Ostalne dilatacije pojavljuju se na krajevima i skretanjima cjevovoda te se kompenziraju na konvencionalne načine. Konstrukcija ovog tipa cjevovoda omogućuje praktički bez temperaturnih ograničenja primjenu toplinske izolacije od perlitnih zrnaca koji se komprimiranim zrakom upuhuju u prostor između cijevi i u potpunosti ga ispunjavaju. Zadržavanjem sposobnosti tečenja kroz čitav eksploatacijski vijek cjevovoda i mogućnošću ponovne upotrebe nakon usisavanja i sušenja u slučaju oštećenja cjevovoda i ovlaživanja, ovakvo rješenje toplinske izolacije, prema inozemnim istraživanjima, postaje tehnno-ekonomskim optimumom za beskompensatorski položene cjevovode velikih promjera s čeličnocijevnim omotačem.

Posljednjih je godina u svijetu znatno porasla primjena cjevovoda s omotačem od plastične cijevi

(tvrđi visokotlačni polietilen) i toplinskom izolacijom od tvrde PUR-pjene kao čvrste veze s cijevi za transport medija za izgradnju magistralnih vodova i dijelova distribucijskih mreža srednjih promjera. Razlog bijaše mogućnost ekonomičnog beskompensatorskog polaganja odnosno primjene tzv. pipeline-tehnike polaganja na duljim dionicama trase na pretežno slobodnom neizgrađenom zemljištu. Jedino ograničenje za širu primjenu u toplinskim dalekovodima velikih promjera jest postojanost PUR izolacije uz trajnu temperaturu znatno nižu od onih polaznih temperatura medija koje zahtijevaju provedene tehnno-ekonomske analize u nizu projekata.

Azbestnocementne cijevi velikih promjera već se desetljećima upotrebljavaju u kanalizaciji i navodnjavanju, a zbog svoje relativno visoke otpornosti na kemijsko agresivno djelovanje tla primjenjive su i kao zaštitni omotači čeličnih cijevi toplinskih dalekovoda. Osnovni nedostatak varijante s jednostrukim azbestnocementnim omotačem jest nužnost obavljanja na samoj trasi svih montažerskih radova koji prethode uvlačenju dionica cijevi za transport medija u već položene ravne dionice azbestnocementnih cijevi. Uz masivnost čvrstih točaka i brojnost građevinskih okana čini ovaj način polaganja jednim od najskupljih i stoga neatraktivnim za širu primjenu za tranzitne vrelovode. Zadnji stupanj razvoja azbestnocementnih sistema cjevovoda predstavlja danas cjevovod s dvostrukim azbestnocementnim omotačem s međuprostorom ispunjenim izolacijom od PUR pje-ne. Njegova glavna prednost u odnosu na tip s jednostrukim omotačem jest u tome da se izolacijsko-zaštitni sistem isporučuje na gradilište kao cjelina. Iako do danas u svijetu nisu izgrađeni cjevovodi tog tipa, smatra se da njihova izgradnja danas nije tehnološki problem već isključivo pitanje ekonomičnosti.

Cjevovode s lijevanom toplinskom izolacijom na bazi bitumena odnosno cementnog veziva i cjevovode s rastresitom zasipnom izolacijom od zrnaca hidrofobnih materijala može se na temelju eksploatacijskih iskustava na cjevovodima srednjih promjera i provedenih istraživanja, te u usporedbi s drugim načinima polaganja, smatrati neprikladnim za vrelovode velikih promjera.

Pod podzemnim kanalnim polaganjem podrazumijeva se polaganje cijevi za transport medija i toplinske izolacije (obično zaštićene bitumeniziranim ljepenkom) u različite, već navedene tipove betonskih kanala koji se već godinama s uspjehom primjenjuju u izgradnji toplinskih dalekovoda i mreža manjih i srednjih promjera. Zajednička im je karakteristika da predstavljaju najpouzdaniji, ali i najskuplji način polaganja toplinskih cjevovoda. Razlozi njihove visoke pouzdanosti i dugog životnog vijeka su jasno odvajanje funkcije toplinske izolacije od funkcije zaštite od vlage i otpornosti na mehanička opterećenja koju preuzima betonski kanal, te mogućnost neposredne kontrole pojedinih faza izgradnje. U eksploataciji, a i u izgradnji, ovi cjevovodi zauzimaju znatno veći prostor nego beskanalno položeni, tako da i

zbog opsežnijih građevinskih radova znatno rastu troškovi njihova polaganja.

Ograničavajući faktor za primjenu cjevovoda u betonskim kanalima je razina podzemnih voda. Kod izvedbe kanala s polukružnim ili pravokutnim poklopcima postoje brojna radijalna i aksijalna spojna mjesta tako da bez posebnih hidroizolacijskih zahvata nisu prikladni za tla sa stalno ili povremeno visokom razinom podzemnih voda. U tom pogledu znatno su bolji tzv. U-kanali (vodonepropusni do spoja s pokrivnom pločom ili potpuno vodonepropusni). Od mogućih načina izrade kanala, lijevanjem kanala na trasi (na konvencionalan način ili primjenom predmontirane građevinske armature i oplata), polaganjem gotovih U-profilnih ravnih i svih ostalih elemenata kanala, te spajanjem gotovih U-profilnih elemenata lijevanjem betonskih međukomada, najčešće se primjenjuje konvencionalni kao najpouzdaniji iako i jedan od najskupljih načina polaganja vrelovoda velikih promjera. Za dvostruki U-kanal (gotovi jednaki gornji i donji U-profilni betonski elementi) karakteristična je tehnologija izgradnje uvlačenjem cijev po cijev u već položeni kanal s vodilicama koje omogućuju brzo zatvaranje jarka i povratak površine zemljišta u prvobitno stanje (što je značajno za polaganje u središtu grada). Međutim, vrlo visoka investicijska ulaganja stavljaju ovaj način polaganja u drugi plan.



Prikazani načini nadzemnog i podzemnog polaganja promatrani u kontekstu raznih, u uvodu navedenih, kategorija trase upućuju na velik broj mogućnosti koje se u praksi mogu pojaviti. Detaljne analize provedene u zemljama zapadne Evrope, a prvenstveno u SR Njemačkoj [1], i to zbog vrlo razvijene tehnike daljinskog grijanja, kao i tehnologije izrade komponenata opreme i vrelovoda u cjelini, dale su na bazi tehnološko-tehničkih karakteristika i detaljne podatke o međusobnim odnosima troškova za razne vrste polaganja cjevovoda u raznim uvjetima trase.

Tako su, kao tipične, odabrane dionice trase tranzitnog vrelovoda na slobodnom zemljištu, uz autocestu, uz željezničku prugu, kroz industrijsku zonu, kroz satelitsko naselje i središtem grada. Na svakoj dionici postavljene su za pojedinu kategoriju trase karakteristične prepreke koje projektirani cjevovod treba savladati na optimalan način (npr. prijelazi preko ili ispod željezničke pruge, ceste, manje rijeke, nekog drugog cjevovoda i dr.), odnosno određeni uvjeti na trasi koji mogu znatno otežavati polaganje cjevovoda (npr. razina podzemnih voda). Za svaku kategoriju trase projektirana je tada dionica dvostukog vrelovoda NO 1000, i to za sve primjenjive sisteme nadzemnog i podzemnog polaganja koji svojom kvalitetom mogu ispuniti zahtjeve sigurnog i pouzdanog rada vrelovoda uz minimum ukupnih troškova polaganja pojedinog sistema. Budući da su ukupni troškovi polaganja pojedinog sistema određeni na temelju projekta za dionicu zadane dužine i karakteristika, nisu interesantni njihovi apsolutni iznosi, nego samo njihovi međusobni odnosi prikazani sažeto u tablici 1. Pritom treba napomenuti da se mogu uspoređivati odnosi različitih sistema polaganja u pojedinoj kategoriji trase, ali ne i odnosi troškova jednog sistema u različitim kategorijama trase.

Očito je iz navedene tablice da je:

- najjeftiniji sistem polaganja nadzemni na svim kategorijama trase osim satelitskog naselja i središta grada gdje nije primjenjiv; relativno malena razlika u odnosu na sljedeći najjeftiniji sistem (beskompensacijski sistem s čeličnim omotačem) posljedica je opterećenja troškova nadzemnog polaganja u navedenim analizama prilično visokim troškovima ekonomsko-pravne prirode (dozvole, zemljište, naknade, odštete i dr.)
- od podzemnih sistema polaganja najjeftiniji je beskompensacijski sistem s čeličnim omotačem, i to za sve kategorije trasa u kojima je primjenjiv, što je dijelom posljedica povoljnijeg položaja bes-

Tablica 1. Ovisnost ukupnih troškova polaganja cjevovoda o načinu polaganja

	slobodna zemljišta	uz autocestu	uz željez. prugu	industr. zona	satelitsko naselje	središte grada
Nadzemni	1,00	1,00	1,00	1,00	—	—
Čeličnocijevni omotač beskompensacijski	1,16	1,50	1,20	—	1,00	1,00
Čeličnocijevni omotač konvencionalni	1,55	1,83	1,66	—	1,28	1,04
Beskompensacijski kompakt sistem s plastičnim omotačem	1,32	1,65	1,45	1,62	1,14	1,29
Azbestnocementni dvostruki omotač	1,76	2,03	1,77	—	1,48	1,52
Betonski kanal s poklopcima	—	—	1,47	—	1,25	1,40
U-kanal	1,70	1,86	1,77	—	1,44	1,54

Podaci su dani u odnosu na najjeftiniji način polaganja za danu kategoriju trase, te se ne mogu uspoređivati s ostalim kategorijama.

kompensacijskih sistema u odnosu na pretpostavljenu razinu podzemnih voda, i to zbog manjih gabarita negoli kod ostalih sistema

- od preostalih podzemnih načina polaganja s kompenzacijama kao jeftiniji javljaju se betonski kanal s poklopcima uz željezničku prugu i u satelitskom naselju te konvencionalno rješenje u čeličnocijevnom omotaču u središtu grada.

Iz izloženog je očito da kod odabiranja načina polaganja treba svugdje gdje je to moguće i dozvoljeno u odnosu na sve subjekte u prostoru odabrati nadzemni način polaganja. Kod podzemnog načina polaganja uz povoljne uvjete trase prednost treba dati beskompensacijskom načinu s čeličnocijevnim omotačem. Ovaj način u našim uvjetima treba prihvatiti u uvjetima dovoljno duge trase, kad on i daje ekonomske efekte kakvi su izloženi. U slučajevima polaganja na kraćim dionicama kroz gradska područja, kad su česta skretanja te se učestalo moraju javljati elementi za kompenzaciju, tada ovaj način postaje skuplji, to prije što kod nas takva tehnologija još nije primjenjivana, a to također unosi svoju »cijenu« stjecanja znanja i nove opreme. U uvjetima satelitskog naselja treba se odlučiti za polaganje u betonske kanale s poklopcem.

Ovdje treba napomenuti da domaća iskustva u polaganju vrelovoda velikih promjera nisu tako opsežna da bi na bazi njih bilo moguće provesti tako široku analizu i usporedbu različitih načina polaganja.

Uobičajene izvedbe u domaćoj praksi su nadzemno polaganje na niske betonske stupiće i podzemno polaganje u betonske kanale. Ostale tehnike polaganja su rijetke, a neke su i sasvim nove tehnologije, npr. obje vrste beskompensacijskog polaganja. To je i razumljivo jer neki sistemi polaganja zahtijevaju i znanja za izradu pojedinih komponenata cjevovoda, a naša industrija prati nove tendencije ipak sa stanovitim zakašnjenjem.

ZAKLJUČAK

Izmicanjem izvora topline suvremenih centraliziranih toplinskih sistema izvan stambenih područja, uz potrebu transporta sve većih toplinskih tokova, tranzitni vrelovodi velikih promjera sve više nalaze svoje mjesto u planovima (a i u realizaciji) energetske opskrbe velikih urbanih sredina. U složenom poslu koncipiranja idejnog rješenja određenog tranzitnog vrelovoda i izbora optimalne trase značajnu ulogu ima i izbor osnovnih komponenti i tehnologije građenja samog cjevovoda, koji znatno utječe na visinu investicija i eksploatacijske troškove. U članku se daje tehnička i ekonomska usporedba komponenti (cijevi, toplinska izolacija, armatura, kompenzatori i dr.) i načina polaganja (nadzemno, podzemno kanalno i beskanalno) tranzitnog vrelovoda velikog promjera vodeći brigu o praksi, eksploatacijskim iskustvima i razvojnim mogućnostima kod nas i u svijetu.

LITERATURA

- [1] Wärmeverteilung — Große Transportleitungen unter Berücksichtigung kompensationsloser Verlegung und unter Einbeziehung von Freileitungen, Bundesministerium für Forschung und Technologie: Forschungsprojekt Nr. 03E-5070A, 1981
- [2] Isledovanie konstrukcii i otpimalnoj konfiguracij teplofikacionih setei (svodni doklad po teme NT-12. 1.-čast A), Prilog 5. protokolu 51. zasjedanja Sekcije 4. za znanstvenu i stručnu suradnju u oblasti elektroenergije Stalne komisije SEV za elektroenergiju
- [3] Fernwärmeversorgung in Mannheim, Stadtwerke Mannheim Aktiengesellschaft, Mannheim, 1984
- [4] N. BERG-HANSEN: »Aarhuser Wärmeplan — Nordeuropas größtes Transmissionsnetz«, Fernwärme international FWI, Heft 4, 1985

BULK TRANSIT HEAT LINES

Component choice and underlaying

In the article is presented a review of components for bulk heating lines with consideration of solution on construction costs as well as possible underlaying in different ways.

GROBE TRANSITHEIßWASSERLEITUNGEN

Auswahl der Komponenten und Verlegungsart

Im Artikel wird eine Übersicht der Komponenten geschildert aus denen große Transit — Heißwasserleitungen bestehen. Erwähnt werden verfügbare Lösungen bezüglich der Baukosten sowie verschiedene Verlegungsarten der Transitheißwasserleitungen in verschiedenen Kategorien der Trassen.

КРУПНЫЙ ТРАНЗИТНЫЙ ТЕПЛОПРОВОД

Подбор составляющих и способов прокладки

В статье дается обзор составляющих, образующих крупные транзитные теплопроводы с учетом влияния выбора находящихся в распоряжении решений на расходы по сооружению, также и возможных способов прокладки транзитных теплопроводов по различным категориям трасс.

Naslov pisaca:

dr. Dubravko Matanić, dipl. inž.
Zoran Kisić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu, 41000
Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1987-03-26

POLOŽAJ KABLOVA U KABLOVSKOM ROVU

Mr. Branislav Nikolić, Kraljevo

UDK 621.315.2.005

STRUČNI RAD

U članku se obrađuje način polaganja kabela u rov s aspekta potrebe stvaranja rezerve kabela, rasporedene kontinuirano duž trase, u formi vijugavog polaganja.

Ključne riječi: kabelski rov, vijugavo polaganje.

UVOD

Najčešći način polaganja energetskih kablova je slobodno polaganje u zemlju. U literaturi se često naglašava da kablove u kablovskom rovu ne treba zatezati, već vijugavo polagati, i to tako da im dužina bude do 2% veća od dužine trase kabela. Vijuganje kabela vrši se zbog eventualnog pomerenja zemljišta u horizontalnom pravcu ili pak zbog sleganje u vertikalnom pravcu.

Pomerenje zemljišta moguće je na bilo kom mestu duž trase, pa vijuganje kabela treba sprovesti na celoj dužini. Svako vijuganje koje bi se izvelo samo mestimično, gubi delimično od svog značaja. U praksi se ne poklanja dovoljna pažnja vijuganju kabela. Ako se i naiđe na nekakvo vijuganje, onda je to pre rezultat slučajno nezategnutog kabela, a ne rezultat osećanja neophodnosti za vijuganjem. Ako se želi sprovesti vijuganje duž cele trase, onda to vijuganje treba da ima približan oblik sinusoide.

Savijanje kabela po sinusoidi mora se izvršiti sa dozvoljenim poluprečnikom savijanja. Dozvoljeni poluprečnici savijanja su različiti za različite konstrukcije kablova. U tabeli 1. dati su minimalni dozvoljeni poluprečnici savijanja kako za kablove izolovane impregniranim papirom tako i za kablove izolovane PVC-masama.

1.1. Položaj jednog kabela u kablovskom rovu

Vijuganje kabela duž trase kablovskog rova može se izvršiti sa različitim veličinama amplitude sinusoide. Na sl. 1. prikazano je vijuganje kabela u tri varijante, i to:

- po sinusoidi »a« kabl vijuga sa amplitudom od 20 cm, tj. celom širinom kablovskog rova
- po sinusoidi »b« kabl vijuga sa amplitudom od 10 cm, tj. polovinom širine kablovskog rova i
- po sinusoidi »c« kabl vijuga sa amplitudom od 5 cm, tj. širinom kablovskog rova od 10 cm.

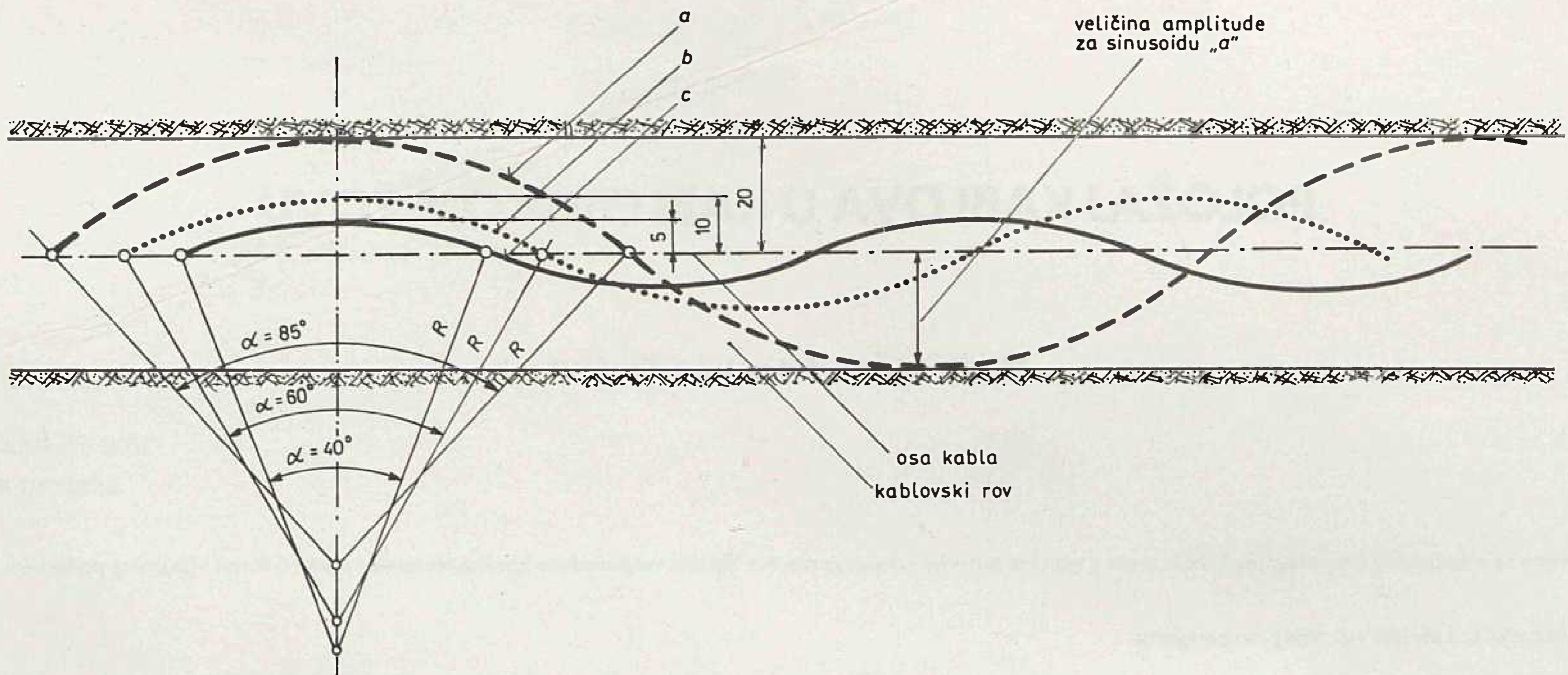
Kod svih ovih sinusoida isti je poluprečnik savijanja kabela R , ali zbog različitog zahvatnog ugla α različite su veličine amplitude, kao i veličine rezerve kabela.

Kod vijuganja po sinusoidi »a« dužina kabela je veća od oko 10% od dužine trase kabela. Kod vijuganja po sinusoidi »b« dužina kabela je veća od oko 7%, a kod vijuganja po sinusoidi »c« dužina je veća za 2%. Budući da se preporučuje rezerva od 2%, to se na prvi pogled može steći utisak da je vijuganje sa amplitudom od 5 cm pravilno. Ovde se međutim radi o parametru α . Ugao α je parametar od koga zavisi veličina rezerve kabela koja se vijuganjem ostvaruje. Sada se može pisati s obzirom na sl. 1.

$$\text{za } \alpha \begin{cases} > 40^\circ \text{ rezerva kabela je } > 2\% \\ < 40^\circ \text{ rezerva kabela je } < 2\% \\ = 40^\circ \text{ rezerva kabela je } = 2\% \end{cases} \quad (1.1)$$

Tabela 1. Minimalno dozvoljeni poluprečnici savijanja energetskih kablova

Vrste kablova	Poluprečnik savijanja kabela R	
	sa olovnim plaštom	sa aluminijumskim plaštom
kablovi izolovani impregniranim papirom	višežilni	
	15 D	25 D
	jednožilni	
	25 D	30 D
kablovi izolovani PVC masama	višežilni	
	do 1 kV	preko 1 kV
	12 D	15 D
	jednožilni	
	do 10 kV	preko 10 kV
	20 D	



Slika 1. Vijuganje kabla duž kablovskog rova sa različitim veličinama zahvatnog ugla α

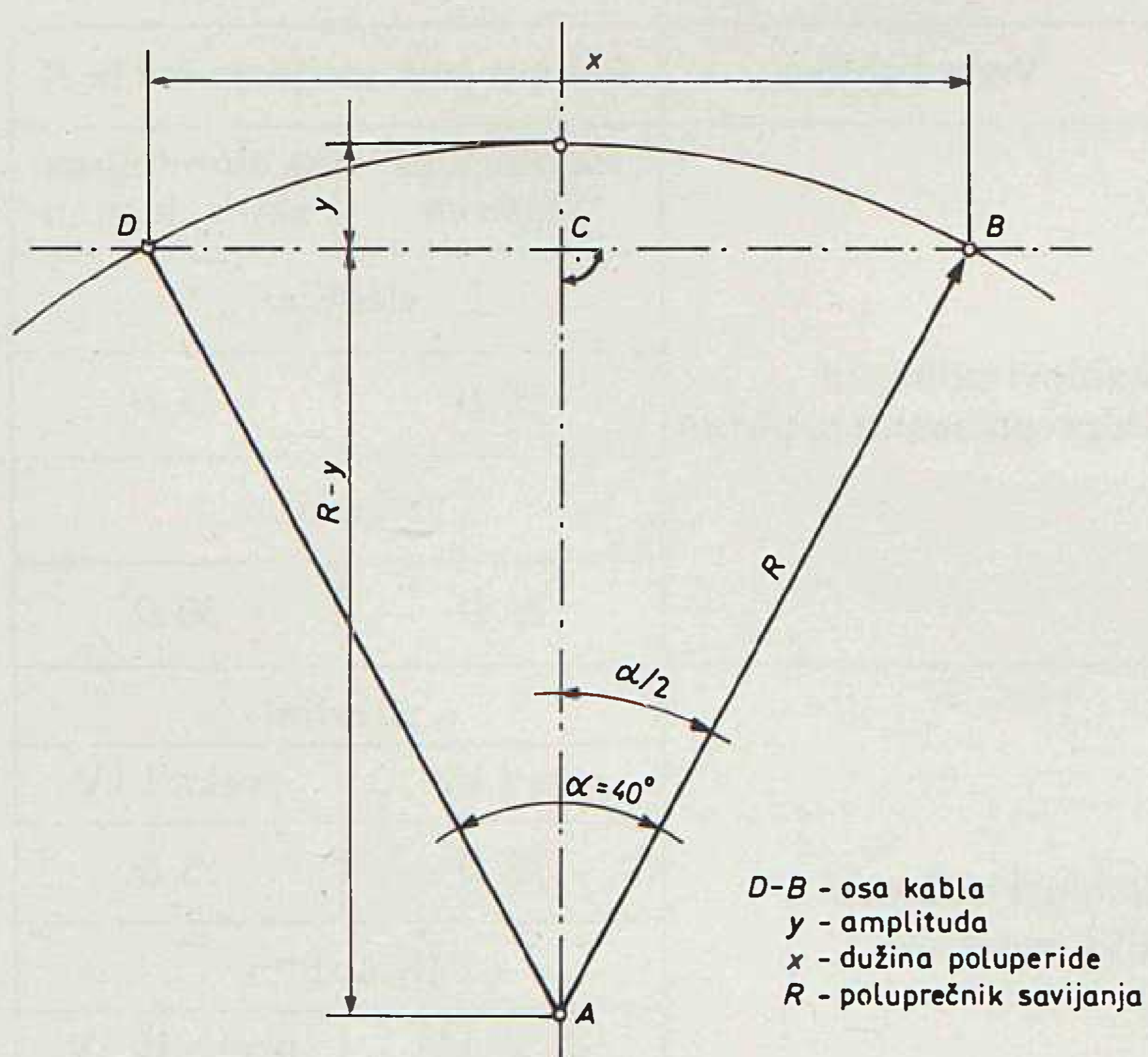
Iz (1.1) se može zaključiti da će samo vijuganje kabla sa uglom $\alpha = 40^\circ$ dati rezervu od 2%. S ovim zahvatnim uglom mogu se, međutim, ostvariti različite veličine amplitude i dužine poluperiode sinusoida. To se postiže povećanjem poluprečnika savijanja kabla iznad minimalno dozvoljenog. Posmatrajmo sada sl. 2. S obzirom na oznake na toj slici mogu se pisati sledeće jednačine:

$$\frac{x/2}{R} = \sin \alpha/2 \quad (1.2)$$

$$R = \frac{x/2}{\sin \alpha/2} \quad (1.3)$$

$$x = 2 R \sin \alpha/2 \quad (1.4)$$

Obrazac (1.3) koristi se za izračunavanje poluprečnika savijanja R pri unapred usvojenoj dužini poluperiode. Obrazac (1.4) koristi se za izračunavanje dužine poluperiode x , pri unapred usvojenom poluprečniku



Slika 2. Trougao ABC za izračunavanje x , y , i R

savijanja R . Kod korišćenja obrazaca (1.3) i (1.4) poluprečnik savijanja kabla mora da zadovolji uslov:

$$R \leq R_{\min.} \quad (1.5)$$

gdje je:

$R_{\min.}$ – najmanji dozvoljeni poluprečnik savijanja kabla po tabeli 1.1.

Prema oznakama na sl.2. mogu se također dalje pisati i sledeće jednačine:

$$\frac{x/2}{R} - y = \operatorname{tg} \alpha/2 \quad (1.6)$$

$$y = R - \frac{x/2}{\operatorname{tg} \alpha/2} \quad (1.7)$$

Obrazac (1.7) koristi se za izračunavanje veličine amplitude sinusoida y , pri unapred usvojenoj vrednosti za R i x .

Kod ugla $\alpha = 40^\circ$ dužina kabla po sinusoidi između tačaka DB na sl. 2. biće za 2% veća od dužine po pravoj liniji između tačaka DB. Dužina po pravoj liniji između tačaka DB izračunava se po obrascu (1.4), a dužina po sinusoidi izračunava se po obrascu:

$$l = \frac{R \bar{U} \alpha}{180^\circ} \quad (1.9)$$

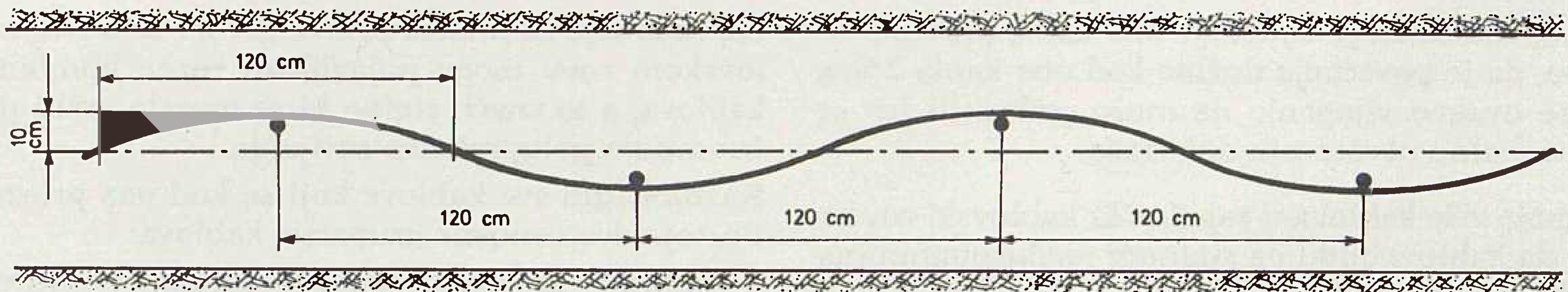
Procentualna razlika u dužinama po sinusoidi i po pravoj liniji izračunava se po obrascu:

$$g = \frac{l - \bar{x}}{l} 100 \quad (1.9)$$

Primenu navedenih obrazaca najlakše je pokazati na jednom konkretnom primeru. Neka zadatak glasi ovako: Položiti kabl vijugavo na dno kablovskog rova tako da mu je dužina veća od 2% do dužine trase kabla, i to:

- $R = 1,75$ m,
- $R = 2$ m,
- $R = 2,2$ m i
- $R = 2,9$ m.

Za ovako date podatke izračunati dužine poluperiode i veličine amplitude.



Slika 3. Vijuganje kabla sa amplitudom od 10 cm i poluperiodom od 200 cm

Primenom obrazaca (1.4) i (1.7) dobija se:

$$a) x = 2 \cdot 1,75 \cdot \sin 20^\circ = 1,2 \text{ m.}$$

$$y = 1,75 - \frac{1,2/2}{\operatorname{tg} 20^\circ} = 10 \text{ cm.}$$

$$b) x = 2 \cdot 2 \cdot \sin 20^\circ = 1,37 \text{ m.}$$

$$y = 2 - \frac{1,37/2}{\operatorname{tg} 20^\circ} = 12 \text{ cm.}$$

$$c) x = 2 \cdot 2,2 \cdot \sin 20^\circ = 1,5 \text{ m.}$$

$$y = 2,2 - \frac{1,5/2}{\operatorname{tg} 20^\circ} = 14 \text{ cm.}$$

$$d) x = 2 \cdot 2,9 \cdot \sin 20^\circ = 2 \text{ m.}$$

$$y = 2,9 - \frac{2/2}{\operatorname{tg} 20^\circ} = 15 \text{ cm.}$$

Za praksu mogu biti prihvatljivi svi ovi rezultati jer je rezerva kablova u svim slučajevima jednaka 2%. Međutim zbog različitih veličina »štednja« kablova po dnu kablovskog rova čini se da je ipak najprihvatljiviji rezultat pod a), pa bi se s obzirom na to moglo zaključiti da vijuganje kabla po dnu kablovskog rova treba vršiti sa:

- veličinom amplitude sinusoide
 $y = 10 \text{ cm}$
 - dužinom poluperiode sinusoide
 $x = 120 \text{ cm.}$
- (1.10)

Kod vijuganja kabla u skladu (1.10) obezbeđena je povećana dužina kabla za 2% i savijanje kabla je po dozvoljenom poluprečniku savijanja.

Usvojeni poluprečnik savijanja od $R = 1,75 \text{ m}$ predstavlja dozvoljeni poluprečnik savijanja najdebljeg

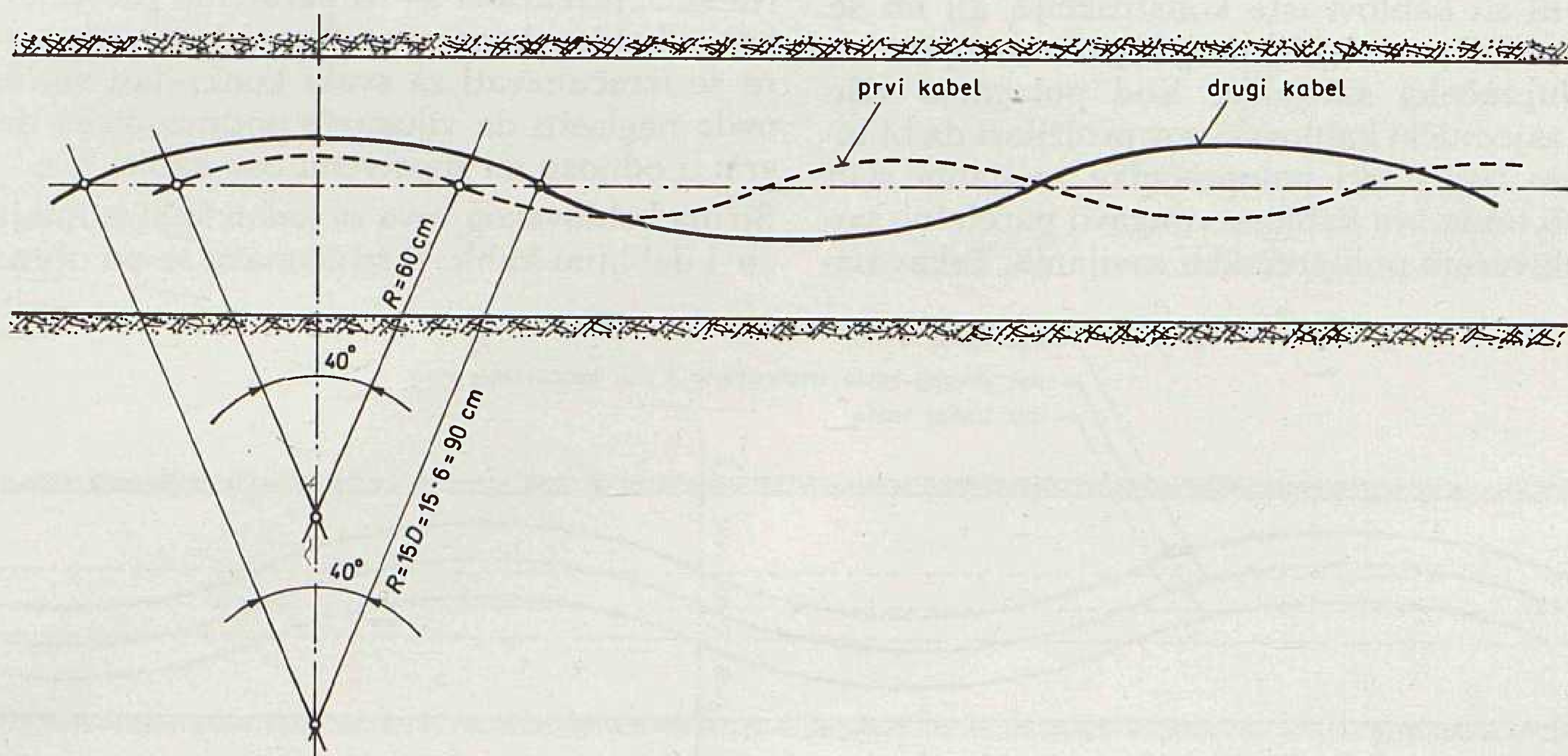
kabla koji se kod nas proizvodi. Po ovom poluprečniku savijanja treba savijati i sve tanje kablove.

Na sl. 3. prikazano je vijuganje kabla u skladu sa (1.10).

1.2. Položaj više kablova u zajedničkom kablovskom rovu istog ili različitog naponskog nivoa

U praksi se vrlo često javlja potreba za polaganjem više kablova u zajedničkom kablovskom rovu. Gdje god je to moguće, treba polagati više kablova u isti kablovski rov, jer je to najekonomičniji način polaganja s obzirom na to da se u takvim slučajevima vrši iskop jednog rova. Svakako da je za ovakav slučaj polaganja kablovski rov nešto širi, ali je i takav rov jeftiniji od više užih kablovskih rovova.

Pridržavajući se napred navedenih pravila o vijuganju, treba sada videti kako to izgleda u slučaju polaganja više kablova u isti kablovski rov. Neka na primer zadatak glasi ovako: U zajednički kablovski rov treba položiti dva kabla. Prvi kabl neka ima spoljni prečnik $D = 40 \text{ mm}$, a drugi $D = 60 \text{ mm}$. Oba kabla su izolovana impregniranim papirom i imaju olovni plašt. Poluprečnik savijanja ovih kablova je u skladu sa tabelom 1. $R = 15 D$. Oba kabla treba položiti vijugavo po dnu kablovskog rova, svaki sa svojim poluprečnikom savijanja. Amplitudu sinusoide podesiti tako da kod oba kabla bude zahvatni ugao 40° , čime se obezbeđuje rezerva kablova od 2%. Ovaj slučaj polaganja prikazan je na sl. 4.



Slika 4. Dva kabla u kablovskom rovu svaki položen po svojoj sinusoidi — nepravilno polaganje jer se kablovi ukrštaju

Sa sl. 4. vidi se da je vijuganje oba kabla pravilno izvedeno, da je povećanje dužine kod oba kabla 2%, a ipak se ovakvo vijuganje ne može prihvatiti jer se kablovi stalno ukrštavaju duž trase.

Polaganje više kablova u zajednički kablovski rov zahteva da kablovi budu na stalnom međusobnom rastojanju.

U tabeli 2. dati su međusobni razmaci kablova istog i različitog naponskog nivoa.

Tabela 2. Međusobni razmak kablova u rovu

Nominalni napon kabla jednak za sve kablove u rovu	1 kV a cm	10 kV b cm	20 kV c cm	35 kV d cm
Međusobni razmak	7	10	15	20

Ukoliko se u rov polažu kablovi različitih nominalnih napona razmak uzeti za kabl višeg napona

Da se kablovi međusobno ne bi ukrštali, potrebno je prvo položiti kabl sa najvećim spoljnim prečnikom D , a onda paralelno pored njega kabl sa manjim spoljnim prečnikom. Ako se kablovi tako polože, onda će povećanje dužine kod oba kabla biti 2% s obzirom na to da su im zahvatni uglovi 40° . U ovom slučaju je tanji kabl položen sa poluprečnikom savijanja debljeg kabla, što nije nikakva greška, jer je tanji kabl položen po većem poluprečniku savijanja od minimalno dozvoljenog za taj tanji kabl. Ako bi se prvo položio tanji kabl po svom poluprečniku savijanja, a zatim paralelno pored njega deblji kabl, napravila bi se greška jer se u tom slučaju deblji kabl savija po nedozvoljenom poluprečniku savijanja.

U praksi se mogu javiti razne kombinacije paralelnog polaganja kablova. Pod raznim kombinacijama podrazumeva se da kablovi mogu biti različitih konstrukcija, te im se zbog toga razlikuju poluprečnici savijanja, ili su kablovi iste konstrukcije, ali im se razlikuju spoljni prečnici D , zbog čega im se opet razlikuju poluprečnici savijanja. Kod polaganja više kablova u zajednički kablovski rov proizilazi da bi bilo potrebno izračunati poluprečnike savijanja svih kablova, pa onda sve kablove vijugavo paralelno položiti po najvećem poluprečniku savijanja. Takav na-

čin rada nije za praksu prihvatljiv jer se u istom kablovskom rovu mogu pojavljivati razne kombinacije kablova, a to znači, stalno bi se morala vršiti proračunavanja poluprečnika savijanja.

Razmotrimo sve kablove koji se kod nas proizvode. Postoje dve osnovne grupacije kablova:

- kablovi izolovani impregniranim papirom sa olovnim ili aluminijumskim plaštom za napone 1 – 35 kV i
- kablovi izolovani PVC masama za napone 1 – 35 kV.

Pridržavajući se tabele 1.1. za dozvoljene poluprečnike savijanja i najvećih spoljnih prečnika D za kablove, na primer koje proizvodi Fabrika kablova iz Svetozareva, mogu se dobiti najveći poluprečnici savijanja kablova po grupama:

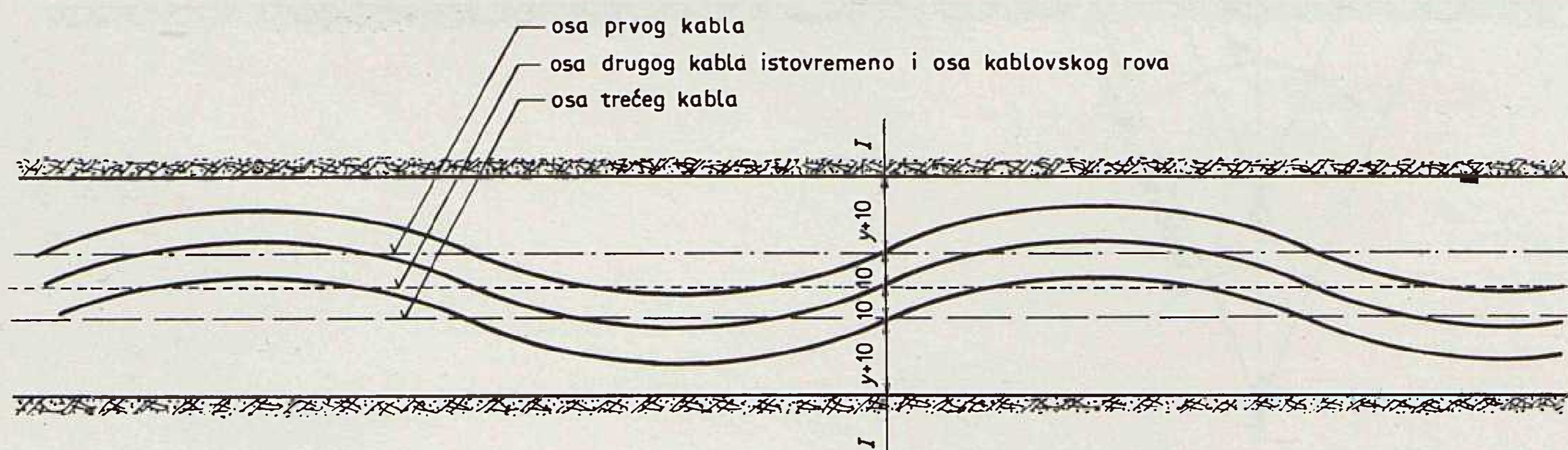
- za kablove izolovane impregniranim papirom ti poluprečnici su:
145,5 cm 167,5 cm 172,5 cm i 175 cm
- za kablove izolovane PVC masama ti poluprečnici su:
99,6 cm 102 cm 115 cm i 132 cm.

Ako se kablovi savijaju po poluprečniku $R = 175$ cm kao najvećem mogućem poluprečniku savijanja, onda svi drugi kablovi paralelno položeni bili bi pravilno savijeni. Ako se ovoj problematici tako pristupa, onda više nije bitno o kojim kablovima se uopšte radi. Generalo se, dakle, usvaja da se svi kablovi savijaju sa poluprečnikom savijanja od $R = 175$ cm. Pored poluprečnika savijanja treba rešiti još veličinu amplitude i dužinu poluperiode sinusoide.

Paralelno se mogu polagati kablovi sa unapred usvojenim bilo kojim zahvatnim uglom. To, međutim, dovodi do različitih veličina rezerve kabla. Praksa je pokazala da ta rezerva ne treba da bude veća od 2%, pa zahvatni ugao mora da iznosi 40° , saglasno sa (1.1). Ako bismo prihvatili veličinu amplitude i dužine poluperiode kako su definisane u (1.10), onda je time regulisan način vijuganja više kablova u zajedničkom kablovskom rovu.

Na sl. 5. prikazana su tri paralelno položena kabla u istom kablovskom rovu. Širina kablovskog rova mora se izračunavati za svaki konkretan slučaj. Treba ovde naglasiti da vijuganje podrazumeva da se ono vrši u odnosu na sopstvenu osu kabla.

Širina kablovskog rova za jedan kabl uzimajući u obzir i debljinu kabla D izračunava se po obrascu:



Slika 5. Tri paralelno položena kabla

$$\dot{S} = 2 \left(y + 10 + \frac{D}{2} \right) \quad (1.11)$$

Za najdeblji kabl koji se kod nas proizvodi $D = 115,5$ mm = 120 mm, širina kablovskog rova bila bi:

$$\dot{S} = 2 \left(10 + 10 + \frac{12}{2} \right) = 52 \text{ cm.}$$

U praksi je uobičajena širina kablovskog rova za polaganje jednog kabla $\dot{S} = 40$ cm. ako se širina kablovskog rova od 40 cm prihvati kao ispravna, onda se u obrascu (1.11) mora izvršiti neka korekcija. Najlogičnije je izostaviti drugi sabirak u (1.11). Drugi sabirak je 10 cm, a odnosi se na prostor od kabla do kraja — ivice kablovskog rova, što se vidi na sl. 5.

Sa ovih 10 cm želelo se da se kabl sa svih strana nađe u posteljici debljine 10 cm. U praksi se u zadnje vreme za posteljicu koristi usitnjena zemlja iz iskopa. Ako se ovako posmatra ovaj problem, onda širina kablovskog rova za jedan kabl može da iznosi i:

$$\dot{S} = 2 \left(10 + \frac{12}{2} \right) = 32 \text{ cm.}$$

Iz ovoga se vidi da i kod najdebljeg kabla ipak ima po 4 cm prostora od kraja do ivice kablovskog rova u slučaju kada je kablovski rov širok 40 cm. Za sve tanje kablove ovaj prostor biće još veći; pa se generalno može prihvatiti izračunavanje širine kablovskog rova za jedan kabl po (1.11).

Izračunavanje širine kablovskog rova kod polaganja više kablova u zajednički kablovski rov vrši se po obrascu (vidi presek I — I na sl. 5):

$$\dot{S} = 2 \left(y + 10 \right) + \sum_{i=1}^n D_i + \sum_{i=1}^n d_i \quad (1.12)$$

gdje je:

$\sum_{i=1}^n D_i$ — zbir spoljnih prečnika svih kablova u kablovskom rovu

$\sum_{i=1}^n d_i$ — zbir svih međusobnih razmaka po tabeli 2.

Neka su primera radi na sl. 5. prikazani kablovi NPO 13 3 x 95 mm² 10 kv. Širina kablovskog rova za ovaj slučaj bila bi:

$$\dot{S} = 2 (10 + 10) + 3 \cdot 4,8 + 2 \cdot 10 = 74,4 \text{ cm.}$$

U ovom izrazu brojka 4,8 cm predstavlja spoljni prečnik kabla NPO 13 3 x 95 mm² 10 kv.

THE CABEL POSITION IN CABLE CANAL

In the article is described way for cable laying in canal with consideration of cable reserve distributed down the way in form of curved line.

LAGE DER KABEL IM KABELGRABEN

Der Autor behandelt die Art der Kabellegung vom Standpunkt der notwendigen Kabelreserve die kontinuierlich der Trasse entlang gelegt wird und zwar in der Form der gewundenen Legung.

РАСПОЛОЖЕНИЕ КАБЕЛЕЙ В КАБЕЛЬНОЙ ТРАНШЕИ

Автор в статье разрабатывает способ прокладки кабелей в траншеях с точки зрения необходимости создания резерва кабелей, расположенного непрерывно вдоль трассы в виде извилистой прокладки.

Naslov pisca:

mr. Branislav Nikolić, dipl. inž.
»Plan« Kraljevo
36000 Kraljevo, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1987-02-20



»Dalekovođ« Elektroprivredna radna organizacija za projektiranje, gradnju, montažu i proizvodnju

Proleterskih brigada 37, telef. 511-455, 513-822

Novi rasvjetni stupovi serije SUN

Na osnovi dugogodišnjeg iskustva pri izradi poligonalnih limenih stupova razvijena je serija stupova uzdužno usadnih. Osnovno obilježje SUN stupova je usadno nastavljanje segmenata, navlačenjem gornjeg segmenta na donji. Sigurnost ovakvog nastavka je provjerena ispitivanjem prototipa, što je dokumentirano atestom Građevinskog instituta iz Zagreba.

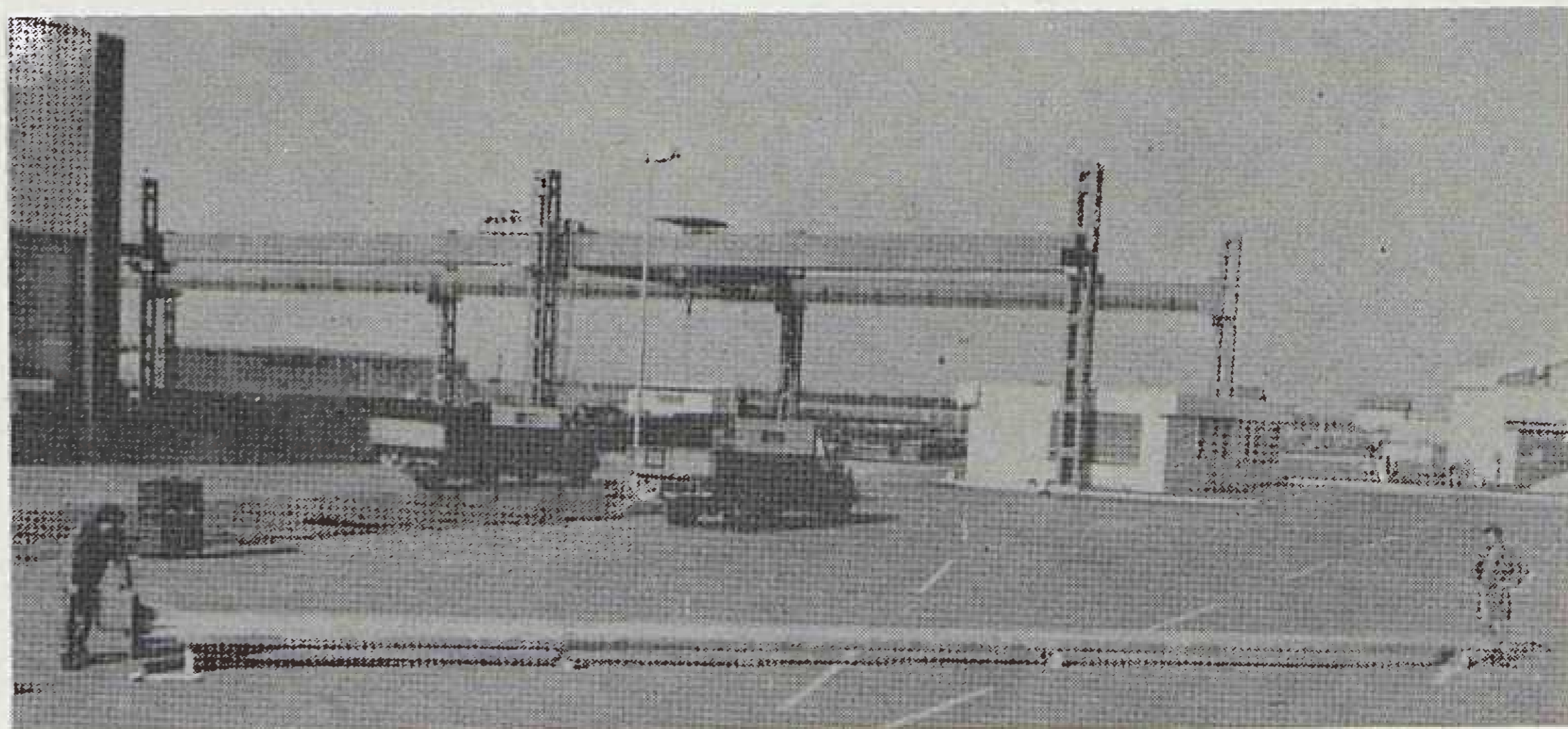
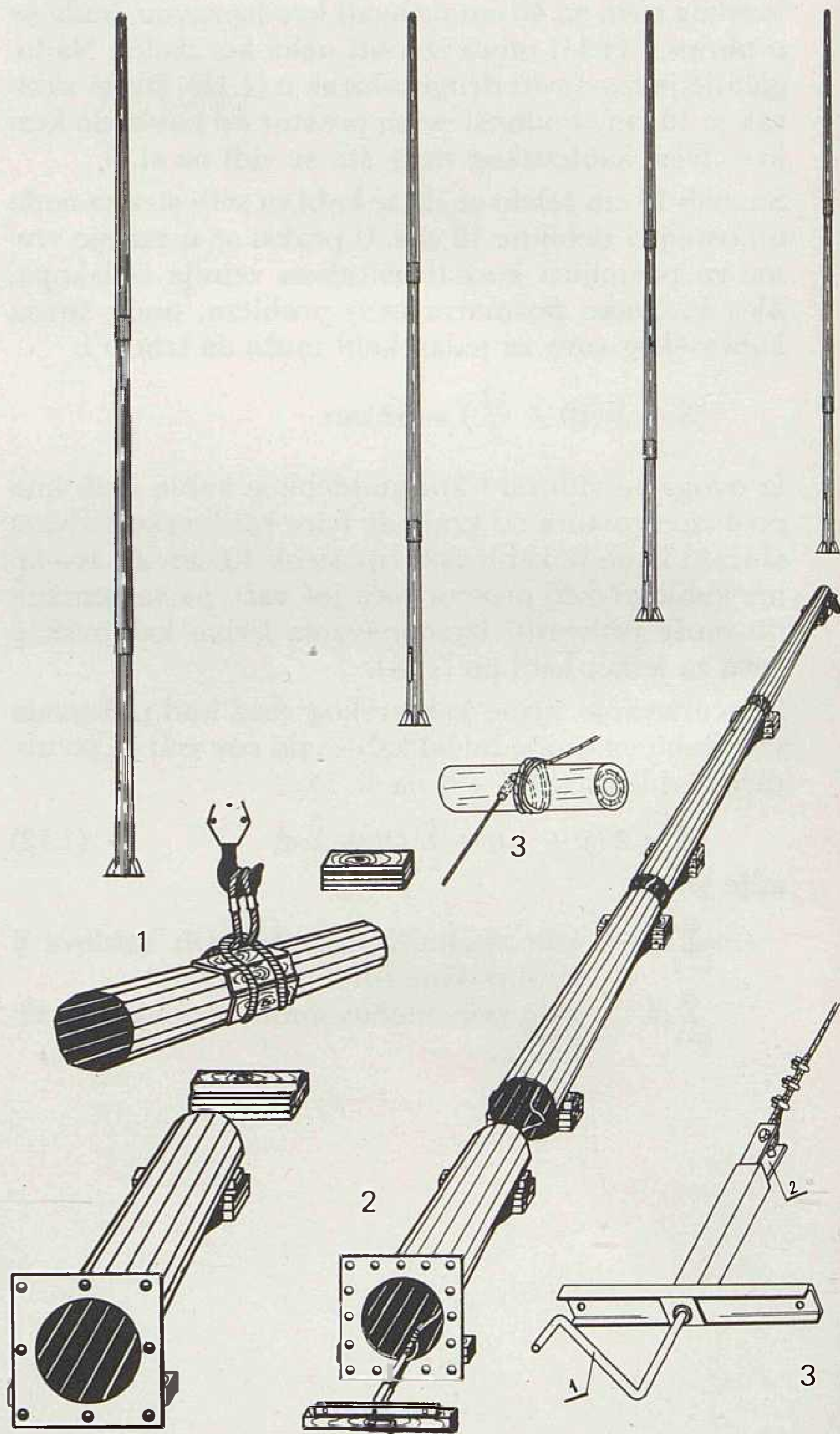
Seriya SUN obuhvaća stupove visine 14, 15, 16, 18 i 20 m. Za svaku visinu imamo više tipova zbog različitog opterećenja koje stup može nositi. Materijal stupova je čelik, a antikoroziivna zaštita je vrućim cinčanjem.

Namjena stupova je mnogostruka: rasvjeta prometnica, rasvjeta industrijskih pogona, rasvjeta luka i skladišta, gromobranska zaštita, nošenje antena i sl.

Isporuka stupova SUN sadrži:

- isporuku stupa s temeljnim vijcima
- isporuku opreme.

Oprema ovisi o namjeni stupa i u narudžbi je treba specificirati. Isporučujemo: rasvjetne košare, nasadnike za svjetiljke, gromobranske hvataljke, ljestve s lednom zaštitom.



PRIMJENA RAČUNALA U PRIPREMI I PRAĆENJU PROIZVODNJE METALNIH KONSTRUKCIJA

Mr. Mato Petrović — Zlatko Špišić — Adnan Avdagić, Zagreb

UDK 62 : 681.3
STRUČNI RAD

Ažurnost i kvaliteta realiziranja radnog naloga umnogome ovise o dobro obavljenoj pripremi rada i o vođenju posla tijekom same izrade. Primjena računala u proizvodnji CAM (Computer Aided Manufacture), pogotovo u fazi pripreme i praćenja proizvodnje, obradena je u ovom radu.

Ključne riječi: Računalo, priprema rada, proizvodnja.

1. UVOD

S porastom proizvodnje, a osobito s porastom asortimana proizvoda susrećemo se kod pripreme i realizacije proizvodnje opreme redovno sa:

- stalnom potrebom povećanja broja režijskog osoblja
- stalnim pomanjkanjem sistematičnosti u obavljanju poslova što rezultira pomanjkanjem pregleda u poslovima koji su u toku, te pojavom »gonjenja« radnih naloga, tj. stalnom pojavom intervenitnih situacija.

Primjenom računala u proizvodnji (CAM) oba spomenuta problema moguće je veoma elegantno riješiti. Otklanja se potreba povećanja režijskog osoblja u pripremi rada i postiže se ažurnost sve prateće dokumentacije.

Nakon dugogodišnjeg rada obavljani su svi potrebni poslovi jednog takvog sistema primjene računala u pripremi rada i praćenju proizvodnje metalnih konstrukcija R. O. »DALEKOVOD« — Zagreb. Izrađen je software koji se sastoji od organizacijskog modela, serija programa, te edukativnih i operativnih uputa.

2. PRIPREMA PROIZVODNJE METALNIH KONSTRUKCIJA

Ovdje navodimo pojam proizvodnje metalnih konstrukcija kao jednu vrstu proizvodnje opreme, konkretno opreme za elektrokroenergetske objekte. Priroda proizvodnje metalnih konstrukcija jest takva da s aspekta pripreme proizvodnje predstavlja posve općenit slučaj, te izgradnja modela primjene računala za vođenje pripreme ovakve proizvodnje sigurno zadovoljava niz drugih vrsta metaloprerađivačke proizvodnje. To je zbog toga što jedan proizvod, npr. dalekovodni stup ili konstrukcija za vanjsko postrojenje trafostanice, ima i nekoliko stotina pozicija koje treba odvojeno proizvesti. Prema tome, ako razradimo

takav model rada čovjeka i računala koji zadovoljava takav slučaj, svakako ćemo zadovoljiti i one slučajeve gdje se jedan proizvod sastoji od jedne pozicije ili nekoliko njih.

Slijedom zakonitosti prirode posla priprema rada proizvodnje metalnih konstrukcija tijekom godina, pa i desetljeća, identificirala se u tri prepoznatljiva segmenta poslova koje obično nazivamo:

konstrukciona priprema (konstrukcioni ured),
tehnološka priprema,
plansko-operativna priprema.

Tok radnog naloga je kroz pripremu rada od konstrukcije, preko tehnološke, operativno-planske pripreme do proizvodnje.

Polazeći od projektiranja proizvoda (objekata), imamo dva krajnja slučaja:

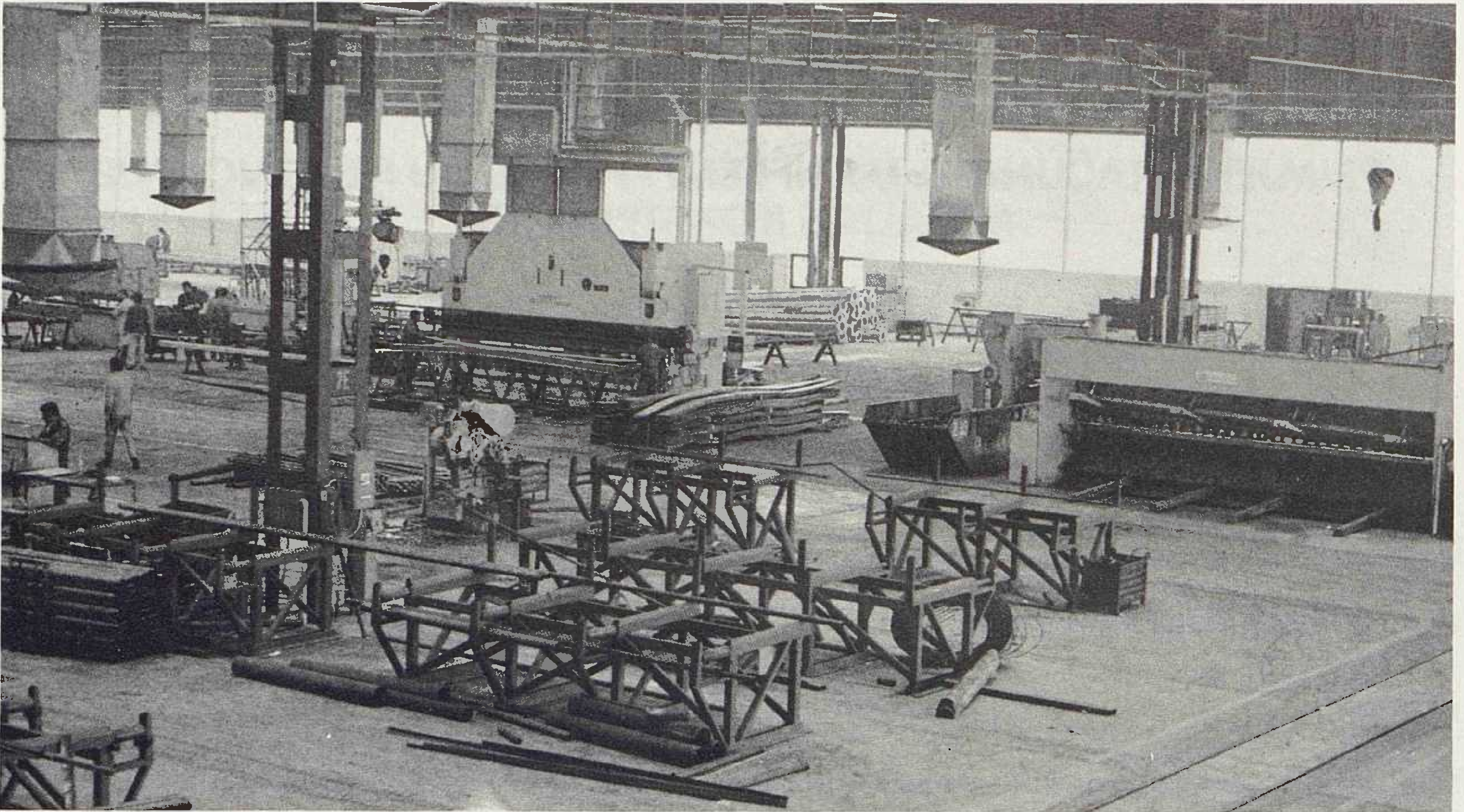
- projektiranje po mjeri
- tipski proizvod.

Ovisno o asortimanu i specijaliziranosti proizvodnje prevladava prvi ili drugi slučaj. Za nekog relativno općenitog proizvođača metalnih konstrukcija (sl. 1) podjednako su zastupljeni i jedan i drugi asortiman uz velik postotak preklapanja, tj. jedan znatan dio proizvodnje su privremeno nedefinirani tipski proizvodi.

Dakle, nakon gotovog projekta objekta počinju i poslovi konstrukcije pripreme, pri kojima se koristi računalo u projektiranju CAD (Computer Aided Design) za izradu nacrtu koji treba da budu prilagođeni specifičnostima vlastitog tehnološkog procesa. U konstrukcionoj pripremi također je prisutna primjena računala u proizvodnji (CAM), npr. u izradi datoteka sastavnica.

Dakle, konstrukciona priprema je veoma važan dio u procesu stvaranja i realizacije proizvoda i tu prestaje sistem CAD, a počinje sistem CAM.

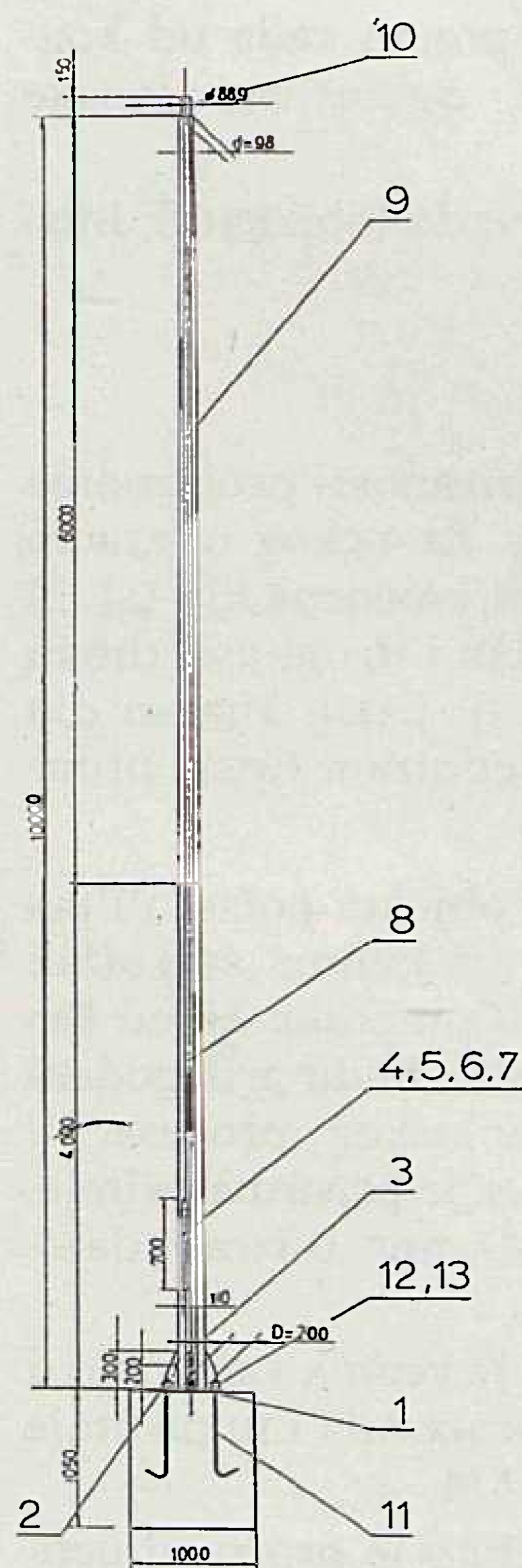
U sljedećoj fazi pripreme potrebno je proizvod definirati s aspekta proizvodnje, tj. obraditi, kako i za koje vrijeme ga napraviti. To se obavlja u tehnološkoj



Slika 1. Pogon metalnih konstrukcija

pripremi. Za jedan relativno jednostavniji proizvod tipski rasvjetni stup vidi se na sl. 2 slikovito prikazano: poslije konstrukcije i tehnološke obrade definirane su stavke stupa i tipizirane operacije.

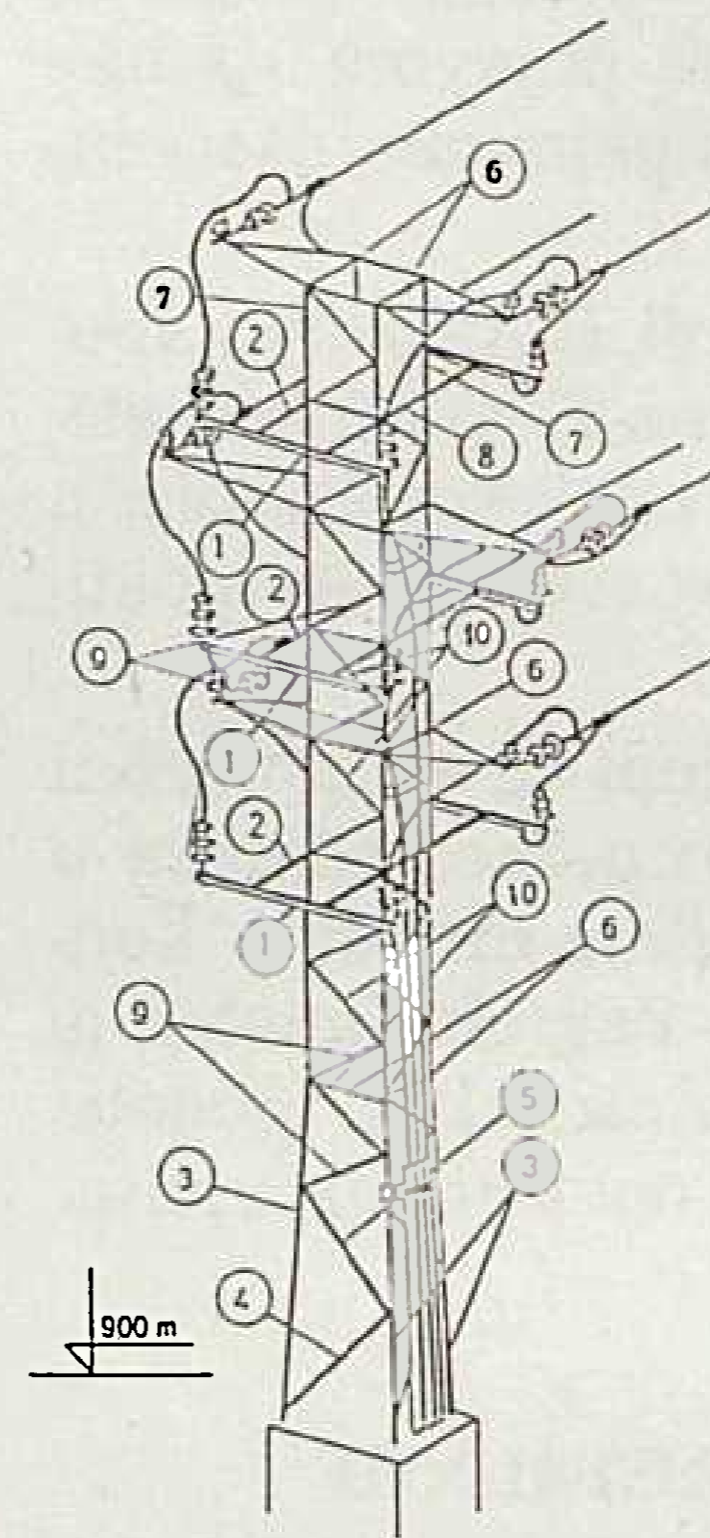
Za nešto složeniji stup, dalekovodni stup, to je vidljivo na sl. 3.



Slika 2. Tipski rasvjetni stup

SIFRA OPER.	TEKST OPERACIJE	RAZNO MJESTO
1. 054	ODSEJCI-PREKREZATI TALE LINA NA ŠKARAMA 6m (Jedan komad)	4204 TPZ= 0 T1= 15.00
2. 063	ODSEJCI LINA NA ŠKARAMA 6m ZA POLUPLAŠT STUPA POZ. 8 LINA 3mm POZ. 9 LINA 3mm	4204 TPZ= 133 T1= 35.00
3. 557	SAVITI NA PREŠI 6m LINA ZA POLUPLAŠT STUPA: POZ. 8 LINA 3mm, POZ. 9 LINA 3mm	4218 TPZ= 150 T1= 35.00
4. 855	ODREZATI CIJEV NA STROJNOJ PILI POZ. 10 FI 88-9X250	4210 TPZ= 25 T1= 4.20
5. 040	ODSEJCI ARMATURE I KRILCA prema nacrtu	4204 TPZ= 0 T1= 18.00
4. A42	PLINSKI IZREZATI NA OPTOJAJU TEH. LINA PLOČU: POZ. 1: 500X200, LINA 20mm, OTVORI: 138X138	4220 TPZ= 0 T1= 33.00
7. C50	ODRUSITI I OČISTITI TEH. PL. KRILCA I UKOŠU CIJEV	4231 TPZ= 0 T1= 15.00
8. 853	ZACRTI, KUŠITI I UPUŠTITI KUPE NA TEH. LINA PLOČU: POZ. 1: 4 X FI 24 (NA RAZNINU 400 mm)	4232 TPZ= 0 T1= 20.00
9. A47	ZACRTI, UTISNUTI BRDJI I AUTOG. IZREZATI vrata na stupu KORS	4221 TPZ= 0 T1= 18.00
10. G51	ODRADA VRATA SA SVIM PRIPADAJUĆIM ELEMENTIMA prema nacrtu KORS 20	4228 TPZ= 0 T1= 47.00
11. E94	SASTAVITI POLUPLAŠT-PRIVARITI I ZAVARITI BEGHEMTE POLUPLAŠTEVA	4227 TPZ= 0 T1= 77.40
12. E98	SASTAVITI STUP SA SVIM PRIPADAJUĆIM DIJELOVIMA prema nacrtu (FP)	4228 TPZ= 0 T1= 210.00
13. 298	ZAVARITI POLIAUTOMATON STUP (PP)	4225 TPZ= 0 T1= 247.00
14. H98	ZAVRŠNO BRUSITI STUP (KORS PP)	4230 TPZ= 0 T1= 133.00
15. C98	ZAVRŠNO OČISTITI STUP (KORS PP)	4245 TPZ= 0 T1= 30.70
16. 151	IZRAVNATI STUP - UZDUŽNO	4223 TPZ= 30 T1= 25.00
17. D41	DORADITI NAKON URUČENJA POČINČAVANJA RASVJETNI STUP	4228 TPZ= 0 T1= 50.00

SIFRA OPER.	TEKST OPERACIJE	RAZNO MJESTO
1. 003	ODSEJCI ČELIKI FI 25 LI prema nacrtu	4208 TPZ= 50 T1= 1.00
2. H05	ODRUBITI JEDNOSTRANO ČELIK FI 25 LI prema nacrtu	4214 TPZ= 50 T1= 1.30
3. H04	NAREZATI NAVUJ JEDNOSTRANO M24x60 prema nacrtu	4215 TPZ= 50 T1= 3.10
4. S03	SAVITI KURU NA VUKU M24 LI prema nacrtu	4237 TPZ= 50 T1= 1.30
5. L03	KOMPLETIRATI TEH. LINA M24 LI prema nacrtu	4243 TPZ= 30 T1= 1.50



Slika 3. Dalekovodni stup tipa ZAE

SIFRA OPER.	TEKST OPERACIJE	RAZNO MJESTO
1. 031	ODSEJCI NA ŠKARAMA ZA PROFILE "L" I "MPU" PREMA DISPOZICIJI KOMPLETNO	4208 TPZ= 150 T1= 144.00
2. 032	ODSEJCI NA ŠKARAMA 3m PREMA DISPOZ. LINA 8mm POZ. 7: 0.23.50.5.6 UKUPNO:	4204 TPZ= 100 T1= 74.00
3. P06	ČEKREZATI NA ŠKARAMA ZA PROFILE POZ. 7: 0.50.54 UKUPNO:	4206 TPZ= 50 T1= 34.00
4. P05	PROBITI RIPE NA PREŠI I OZNAČITI POZ. 5: 6.1.2.9.10.11.13.14.17.33.30	4242 TPZ= 300 T1= 375.00
5. U04	ZACRTATI PRENO ŠABLONE POZ. 7: 0.50.56 UKUPNO:	4228 TPZ= 100 T1= 54.00
6. P04	PROBITI RIPE NA PEDIINGHAUSU POZ. 7: 0.50.56.23.41.43 UKUPNO:	4242 TPZ= 150 T1= 319.00
7. P07	ODREZATI NA ŠKARAMA ZA PROFILE POZ. 6: 14.35 UKUPNO:	4227 TPZ= 100 T1= 51.00
8. U05	UTISNUTI OZNAKU NA RUČNOJ PREŠI POZ. 7: 0.56.50.41.43 UKUPNO:	4228 TPZ= 100 T1= 97.00
9. S32	SAVITI NA PREŠI 6m PREMA NACRTU POZ. 7: 0. UKUPNO:	4218 TPZ= 50 T1= 14.00
10. S31	SAVITI NA TOPLU U ŠABLONI POZ. 14.43 UKUPNO:	4227 TPZ= 200 T1= 40.00
11. H02	PROBNO MONTIRATI I DEMONTIRATI STUP "ZAC"-9m KOR: 1	4227 TPZ= 150 T1= 2100.00

VRIJEME IZRADE (TPZ+T1): 1450+ 3322.00 (ch) BROJ KOMADA: 30
UKUPNO VRIJEME IZRADE PO KOMADU: 3370.00 ch

Poslije tehnološke obrade potrebno je obaviti niz radnji vezanih za planiranje proizvodnje, dokumentaciju izrade, dokumentaciju skladišta i sl. To je prethodno navedena zadnja faza pripreme rada.

Kada se svakodnevno otvara više radnih naloga gdje svaki nalog ima više proizvoda, a svaki proizvod ima i po nekoliko desetaka pozicija, tada je jasno da su potrebni napori i veoma sistematični ljudi u svim fazama rada.

U protivnom nastaje zbrka i formira se način rada popularno nazvan »gonjenje radnog naloga«.

Smanjenje broja ljudi zaposlenih i uvođenje potpune preglednosti stanja naloga u svim fazama moguće je ostvariti primjenom računala na način kako je prezentirano u nastavku ovog rada.

3. PRIMJENA RAČUNALA U PRIPREMI PROIZVODNJE

Uzimajući u obzir raznolikost proizvodnje, postavio se i složen zahtjev za izradu programa koji će moći po istom principu obrađivati kompletan asortiman proizvoda koji se izrađuju u OOUR-u, pa je trebalo uočiti specifičnosti svake grupe proizvoda. Iako postoji 13 grupa proizvoda, nastojalo ih se obraditi istim programima, pa se postavio i zahtjev elastičnosti programa odnosno mogućnosti daljnje nadogradnje ako se pokaže da se neka od grupa proizvoda teže obrađuje ili iziskuje pojačan napor prilikom obrade. Istovremeno programi treba da garantiraju sigurnost korisnika u toku obrade, tj. da izvršavaju kontrolu svih upisanih podataka i prihvaćanju samo upotreblijive podatke. Predviđeno je da računalo u ovom dijelu obrade služi kao pomoćno sredstvo korisnika, odnosno da podatke direktno unosi u računal korisnik koji nije posebno osposobljen za rad na računalu. Kao korisnici zamišljeni su konstruktori, tehnolozi, planeri, operativci itd. na terminalu koji će u dogledno vrijeme moći koristiti sve baze podataka koje su interesantne za njihov rad.

Uvažavajući postavke, odlučeno je da se posao podijeli na sljedeće faze:

3.1. Faza: Izrada osnovnih programa

- 3.1.1. Programi za praćenje proizvodnje
- 3.1.2. Izrada datoteka proizvoda
- 3.1.3. Program za ispis radioničke dokumentacije.

Kao prvo trebalo je olakšati posao oko praćenja i izrade radioničke dokumentacije koju je i dalje trebalo raditi za radionicu zbog kontinuiteta proizvodnje, a istovremeno treba točno definirati oblik programa i njegovu funkcionalnost u stvarnom radu i odmah ispraviti sve eventualne nedostatke. Svi ostali programi bit će formirani oko matičnog programa za praćenje proizvodnje odnosno oko programa za otvaranje radnog naloga. Unos podataka za svaki radni nalog treba biti jednostavan za upis.

3.2. Faza: Prihvaćanje najpovoljnijih prijedloga programa

U ovoj fazi razvijeni su sljedeći programi:

- 3.2.1. Program za otvaranje i ažuriranje radnog naloga kao matični program za unos podataka vezanih za proizvodnju OOUR-a (RN Ø 5)
- 3.2.2. Program za pregled datoteka radnih naloga (RN Ø 6)

3.2.3. Program za izradu datoteka tipiziranih proizvoda (RN Ø 7)

3.2.4. Program za ispis radnih lista direktnim unosom podataka ili čitanjem podataka iz datoteke tipiziranih proizvoda (RN Ø 3).

Primijećeno je da se treba promijeniti tehnološki pristup razradi podloga za izradu proizvoda jer se nije mogla za daljnju obradu upotrijebiti tehnološka karta. Nakon temeljite analize dosadašnjeg načina rada i zahtjeva koje postavlja prijedlog programa odlučeno je da se tehnološka karta u postojećem obliku ukida a da se izradi u novom obliku koji će biti prilagođen obradni na računalu. U tom smislu tehnološka karta je rastavljena na dva zasebna dijela:

- A. PODACI O PROIZVODU + REDOSLIJED OPERACIJA (tipizirane operacije)
- B. TIPIZIRANA OPERACIJA — ŠIFRA OPERACIJE + TEKST + GRUPA + VREMENA IZRADE.

Novi oblik tehnološke podloge ne sadrži u sebi tekst operacije s grupom i vremenima izrade, već samo šifru tipizirane operacije koja se može upotrijebiti za izradu proizvoda.

Novi pojam koji je prihvaćen jest tipizirana operacija, odnosno operacija koja tekstom, grupom i vremenom izrade može biti upotrebljiva pri izradi više proizvoda. Tekst ovako formirane operacije je univerzalan i za izradu više proizvoda, a u toku ispisivanja radnih lista moguće je i dopisati dio teksta koji je specifičan za određeni proizvod i nalog.

Isto tako i vremena izrade za tipiziranu operaciju su nepromjenjiva ili bolje reći uvijek ista kada se upotrijebi ista operacija.

TIPIZIRANA OPERACIJA sastoji se od sljedećih elemenata:

- B. 1. ŠIFRA OPERACIJE (slovo A-Z + broj)
- B. 2. TEKST OPERACIJE (standardni u dužini od 70 znakova)
- B. 3. TEKST OPERACIJE (nije u datoteci, ali se može po potrebi naknadno dopisati u dužini od 35 znakova)
- B. 4. GRUPA koja se odnosi na šifru radnog mjesta na kojem se operacija izvršava
- B. 5. VRIJEME IZRADE TØ (maksimalno vrijeme izrade za operaciju koje se programski ne upotrebljava, već služi samo kao orijentacioni podatak za tehnologa)
- B. 6. VRIJEME IZRADE tpz (pripremno-završno vrijeme)
- B. 7. VRIJEME IZRADE T 1.1 (ispod optimalne serije proizvoda)
- B. 8. VRIJEME IZRADE T 1.2 (iznad optimalne serije proizvoda)
- B. 9. OPTIMALNA SERIJA odnosi se na optimalnu seriju proizvoda u kojem se može pojaviti tipizirana operacija.

Prema tome, računalo će samo odrediti vrijeme izrade T 1 u odnosu na optimalnu seriju. Veličina optimalne serije određena je na temelju analiza ponavljanja izrade proizvoda i iskustveno.

U toku izrade ovog programa uočeno je da treba izraditi program za viši nivo tipizirane operacije jer postoje operacije u kojima su tekst i grupa isti, ali je potrebno mijenjati vrijeme izrade. Da se ne bi popunila datoteka nepotrebnim operacijama u kojima se mijenja samo vrijeme izrade, izrađena je aritmetička operacija u okviru tipizirane operacije. Aritmetička operacija je vrlo slična tipiziranoj operaciji, ali nema upisana vremena izrade, već su ona određuju posebnim matematičkim obrascem unošenjem traženih parametara, direktnim upisom na ekran, a pod kontrolom programa. Aritmetička operacija ima prioritet u programu tako da program najprije analizira postojanje aritmetičke operacije i traži unos parametara, a ako je nema, traži tipiziranu operaciju. Ako ni jedan od dva oblika nije upisan u datoteku, program će tražiti direktni upis na ekran svih podataka za operaciju.

Tipizirana operacija označena je šifrom koja je samočitajuća tako da je olakšan rad korisnika. Šifra se sastoji od slova koje definira grupu poslova i brojeva koji označavaju operaciju. Radi lakšeg pregleda sve aritmetičke operacije započinju od broja 95 a završavaju brojem 99. Odmah je predviđena mogućnost proširivanja šifre operacije ako se ukaže potreba za povećanjem ili sistematizacijom istih.

Budući da je tehnolog ovim pristupom ostao bez standardne tehnološke karte, omogućeno mu je da zauzvrat dobije ispis tipiziranih proizvoda koji su uneseni u datoteku proizvoda i ispis tipiziranih operacija koje su u datoteci tipiziranih operacija, kao i matematičke obrasce koji definiraju aritmetičku operaciju. Ispisi će mu poslužiti u kreiranju novih proizvoda jer će moći upotrijebiti već postavljene operacije ili na temelju njih izraditi novu operaciju. Prednost ovakvog pristupa ogleda se u izmjenama koje mogu uslijediti zbog promjene proizvodnog procesa, jer je moguće samo jednom izmjenom operacije promijeniti i način izrade svih proizvoda u kojima se operacija upotrebljava.

Isto tako moguće je izmjenom šifre operacije u datoteci tipiziranih proizvoda promijeniti način izrade proizvoda neovisno o drugom proizvodu. Dakle, postignute su neograničene mogućnosti rada odnosno program uvijek predlaže tehničku varijantu, a korisnik će se odlučiti da li će prihvatiti podatak ili treba za specifičan slučaj izvršiti korekciju predloženih podataka. Ovime je postignut i zamišljeni cilj interaktivnog tada, tj. da koristi računal u svom radu kao pomoćno sredstvo u obavljanju poslova i radnih zadataka.

3.3. Faza: unos podataka u datoteke programa

3.3.1. Izrada odgovarajućih obrasca i unos podataka u datoteke

Osnovna postavka bila je da se smanji broj pisanih dokumenata, odnosno da se smanje na najmanju moguću mjeru koju zahtjeva propis o vođenju pogon-

skog knjigovodstva. Izrađeni su sljedeći ulazni obrasci:

- A. zajednički obrazac tehničke pripreme
 - obrazac za otvaranje naloga program RN Ø5
- B. obrazac tehnološke pripreme
 - tipizirani proizvod za datoteku programa RN Ø7
 - tipizirana operacija za datoteku programa RN Ø1
- C. obrazac operativne pripreme
 - ažuriranje naloga za datoteku programa RN Ø5
 - pregled podataka u programu RN Ø6.

Vidljivo je da postoje samo 4 pisana dokumenta za unos podataka. Treba napomenuti da se obrasci tehnološke pripreme popunjavaju pri prvom upisu podataka ili pri eventualnoj izmjeni podataka i da se nakon toga odlažu. Za svakodnevni rad potrebno je popunjavati za novi nalog samo obrazac za otvaranje naloga. Nakon unosa podataka u računalo program sam ispiše na pisaču obrazac za ažuriranje naloga sa stvarno upisanim podacima koji mogu poslužiti i kao kontrola upisa.

Sve ostale potrebne datoteke nastaju programski i o njima ne treba voditi brigu, odnosno podaci za proizvodnju upisuju se samo u jednu programsku datoteku RN Ø 5 u kojoj se i ažuriraju, što je prednost ovakve konfiguracije programa.

3.3.2. Kontrola izvršenog unosa podataka

Budući da je proizvodnja bila u toku s većom količinom naloga, u radionici je bilo potrebno interpolirati program na određeno mjesto u fazi izrade svakog naloga. Upisani su svi aktivni nalozi od određenog datuma i započelo se sa sistematskim upisom i ažuriranjem. Nakon nekog vremena određena je kompletna proizvodnja i bilo je moguće izvršiti sve potrebne korekcije upisanih podataka koji nisu odgovarali stvarnom stanju. Sada je izgrađeni sistem trebalo samo održavati i puniti novim podacima odnosno ažurirati postojeće.

Završetkom ove faze rada postignuta je praktična upotrebljivost predviđenog sistema obrade podataka. Obrazac za otvaranje naloga zamijenio je postojeću knjigu radnih naloga. Sistemom ažuriranja podataka o nalogu dobili smo stvarni uvid u stanje izrade svakog naloga u radionici, a mogli smo ispisivati i radne liste pomoću računala, što je bitno olakšalo rad operativne pripreme. Iako je u samom početku bilo mnogo više posla od uobičajenog, to se na kraju isplatilo jer je postignuta veća brzina obrade dokumentacije u tehnološkoj i operativnoj pripremi. Primjera radi navodimo da je prije za kompletnu obradu radnog naloga s ispisom radnih lista bilo potrebno oko 90 minuta za prosječnu narudžbu, a sada se to može isto uraditi za 10 do 15 minuta. Razlika u vrmenu govori u prilog operativnoj pripremi koja se sada može posvetiti operativnom radu u proizvodnji, a ne ručnom ispisivanju radnih lista i drugim potreb-

nim evidencijama. Tehnološka priprema je također ubrzala rad i povećala usklađenost postavljenih vremena izrade upravo zbog novog pristupa tehnološkim podacima, odnosno uvođenjem tipiziranog proizvoda i tipizirane operacije.

3.4. Faza: programi obrade podataka

Ova faza morala je biti posljednja jer koristi već prije formirane podatke iz datoteke programa. Zamišljeno je da se nadograđuje dok se ne postigne mogućnost potpune informacije o proizvodnji OOUR-a. Zbog složenosti programa koji će omogućiti potpunu obradu ova faza je podijeljena na više elemenata analize i obrade podataka.

3.4.1. Analiza naloga prema masi proizvoda program RN10

3.4.2. Analiza naloga prema norma-satima izrade program RN11

Oba programa imaju sličan izgled ekrana i rade na istom principu, a razlikuju se samo po podacima koje obrađuju. Razlog da se ovi programi ugrade u sistem jest stvaranje nove baze podataka koja će se koristiti u daljnjim programima obrade podataka. Drugi podjednako važan razlog je dobivanje dnevnih, mjesečnih, kvartalnih i godišnjih podataka o izvršenju postavljenog plana proizvodnje. Programi koriste već postojeću datoteku programa naloga (RN05) i ako je datoteka popunjena svim podacima, ne traže nove podatke. U protivnom program će označiti grupu proizvoda u kojoj postoji barem jedan nalog ili unutar naloga samo jedna stavka koja nema upisanu masu proizvoda ili vrijeme izrade. Program će nam u tom slučaju ispisati sve naloge za koje nema odgovarajući podatak i tražit će da se podatak naknadno upiše. Program neće zbog nepotpunosti stati, odnosno obradit će sve ispravno upisane vrijednosti, a u napomeni ispisati da je podatak samo djelomično točan uz broj naloga koje treba korigirati. Programi rade samostalno i daju ispis na ekran ili pisaču.

Prilikom testiranja programa primijećeno je da bi podaci koje ovi programi obrađuju bili praktični ako se nalaze i u programu pregleda datoteke radnih naloga (RN06) tako da je izvršena dopuna programa u smislu čitanja podataka o masi i satima izrade za svaki nalog i radni nalog.

Do sada smo samo spomenuli program RN06 i nismo ga posebno opisivali premda on zaslužuje mnogo veću pažnju jer je jedan od najatraktivnijih i izgledom i podacima koje daje korisniku vrlo praktičan. Program je zamišljen kao ispis ukupnih informacija o radnom nalogu i nalogu prodaje. Program čita već postavljene datoteke i radi na principu selektivnog čitanja podataka upisanih u datoteke. Tako je moguće u istom programu odbiti sljedeće selektirane ispiše:

1. A. ispis naloga za izradu sa svim upisanim podacima

2. B. ispis svih naloga za određenog kupca

3. C. ispis naloga kako izgleda u matičnoj datoteci

4. G. ispis svih naloga u odnosu na grupu proizvoda

5. Z. ispis svih naloga koji imaju specifičnu grupu antikorozivne zaštite proizvoda

6. N. ispis nedovršene proizvodnje s obzirom na zadani datum

7. K. ispis svih naloga korisnika.

Ovaj program nema mogućnost promjene podataka pa je namijenjen isključivo za informiranje korisnika. Ispis ovog programa mogu upotrijebiti korisnici na svim nivoima upravljanja proizvodnjom a ponajprije proizvodnje, voditelj odjela za rad i analizu, marketing-prodaja i po potrebi rukovodioci na nivou OOUR-a, jer program može zadovoljiti sve potrebne parametre analize. Ispis se može dobiti na ekranu u svakom trenutku ili u pisanom obliku prema posebnom zahtjevu korisnika s obzirom na način selekcije podataka.

3.4.3. Obrada podataka za planiranje proizvodnje

3.4.4. Obrada podataka za terminiranje proizvodnje

Izrada ovih programa najsloženija je faza postavljenog zadatka, i to iz nekoliko razloga. Prije svega treba napomenuti da ni u prethodnim fazama rada nismo imali praktični predložak programa, već smo sami stvarali sistem koji treba biti praktično primjenjiv u tipu proizvodnje kao što je naša. Slijedili smo samo postavljeni zadatak »kako bi trebalo biti«, ali i uvažavali »kako se do sada radilo«. Ovakav pristup je komplicirao izradu programa, pa je bilo potrebno obraditi najloženiju varijantu koja može obrađivati i sve nedostatke u organizaciji proizvodnje. Zbog naravi stvari postojeća proizvodnja ima niz nesavršenosti i nedorečenosti koje nije moguće odjednom prekinuti i prihvatiti novi, savršeniji način rada.

Obrada podataka zahtijeva i velike organizacione promjene u načinu proizvodnje. Programi su definirani, ali će trebati pričekati određeno vrijeme za njihovu primjenu, odnosno praktičnu obradu podataka.

3.4.5. Princip rada programa planiranja proizvodnje (RNMK)

Program je zamišljen da obrađuje kapacitete pogona u odnosu na proizvodnju koja je u toku. Koristi postojeću datoteku programa RN05, a dodatna datoteka su podaci o stvarnim mogućnostima pogona. Ovdje je nužno detaljno razraditi grupe operacija koje se mogu javiti na radnom mjestu i definirati parametre radnog mjesta. Ispis treba biti trenutno stanje zauzetosti kapaciteta pogona po grupama operacija, odnosno po radnim mjestima. Drugi ispis je trenutno stanje u odnosu prema planu proizvodnje. Ovim načinom moći će se s vremenom postaviti realni planovi proizvodnje jer će postojati stvarna povratna informacija o mogućnostima izrade u pogonu.

3.4.6. Princip rada programa — terminiranje proizvodnje (RNTE)

Ovaj će program zamijeniti već pomalo staromodne dispo-ploče kojima se slikovito prikazuje stanje u radionici. Program prikazuje situaciju u radionici na ekranu terminala. Ima iste mogućnosti rada kao i dispo-ploča, a koje se odnose na preterminiranje svakog pozvanog naloga za određeni broj mjesta unaprijed, s tim da pomiče sve ostale naloge po logičnom redoslijedu izrade. Program čita i sortira više datoteka. Prvenstveno obrađuje datoteke stvorene programom za planiranje proizvodnje, a u obradu podataka uključuje i postojeću datoteku programa radnog naloga RNØ5 u kojoj su poznati podaci o proizvodima na svakom radnom nalogu. Na temelju sad već obrađenih podataka o proizvodima i nalogima u radionici čita se datoteka tipiziranog proizvoda DATØ7 u kojoj su upisane sve operacije koje će se upotrijebiti za izradu proizvoda. Istovremeno čita se i obrađuje datoteka tipiziranih operacija (uključujući i aritmetičke modele) i dobiveni podaci su sada kompletni i za svaki nalog u radionici.

Može se zaključiti da se u obradi podataka koriste dva oblika datoteka. Prvi oblik su već postojeće datoteke o nalogu, proizvodu i operaciji, a drugi oblik su DAT OB-datoteke obrade, koje nastaju prilikom samog pokretanja programa i memoriraju podatke samo do sljedeće obrade.

Ovim načinom postignuta je velika fleksibilnost obrade podataka jer se i situacija u radionici stalno mijenja, pa tako i podaci za obradu koje treba u traženom obliku prikazati na ekranu terminala.

Prikaz podataka je u više oblika:

- tabelarni prikaz u odnosu na grupe radnih mjesta s bročanim podacima (opis situacije)
- grafički prikaz za grupe radnih mjesta u odnosu na radne naloge (slika situacije).

Izloženi pristup u fazi postavljanja programa zahtijevao je veliko praktično iskustvo u praćenju i terminiranju proizvodnje i rada s računalom u pogledu same koncepcije programa u kojem su uključene i sve specifičnosti proizvodnje metalske struke.

3.5. Konačna faza

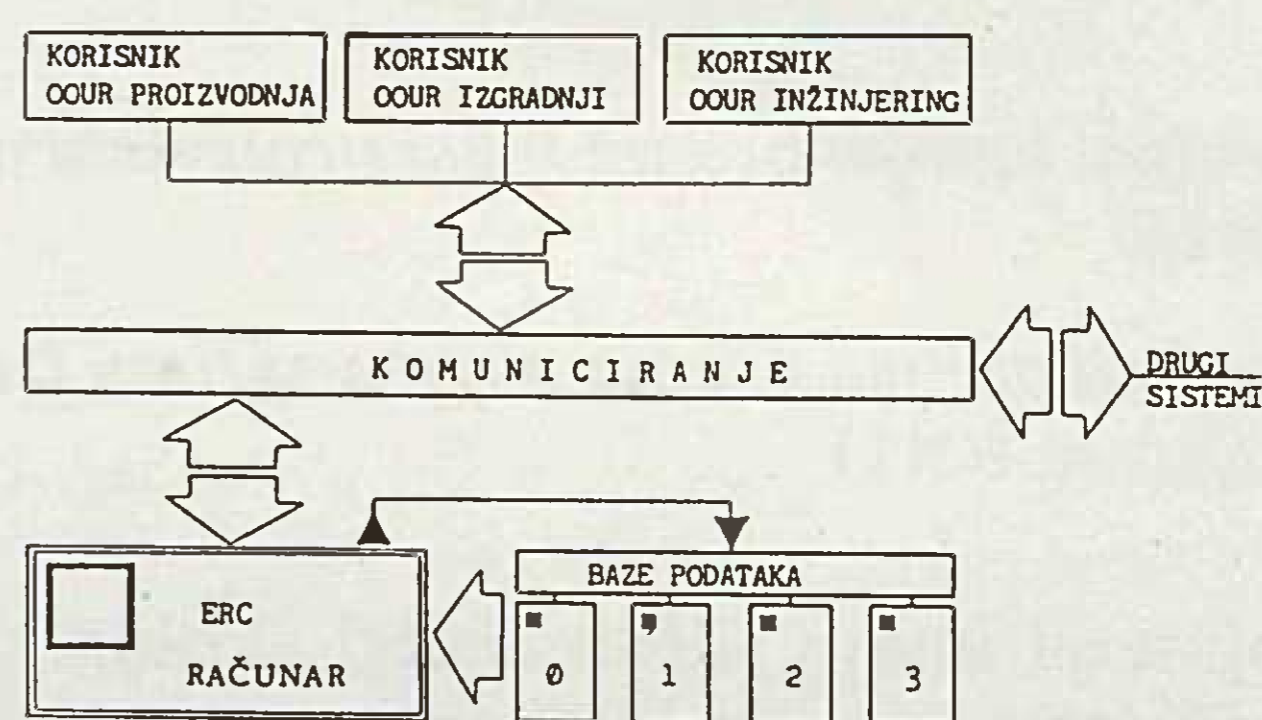
Završna faza bilo bi povezivanje cijele radne organizacije u mrežni sistem nakon što se izvrši testiranje svih postavljenih faza u svim radnim jedinicama OOUR-a. U tom slučaju sistem je zatvoren, što ne znači da se ne može nadograđivati s daljnjim saznanjima ili promjenama koje bi u toku vremena nastale i bile zanimljive.

4. RAZVIJENI SISTEM OBRADJE PODATAKA

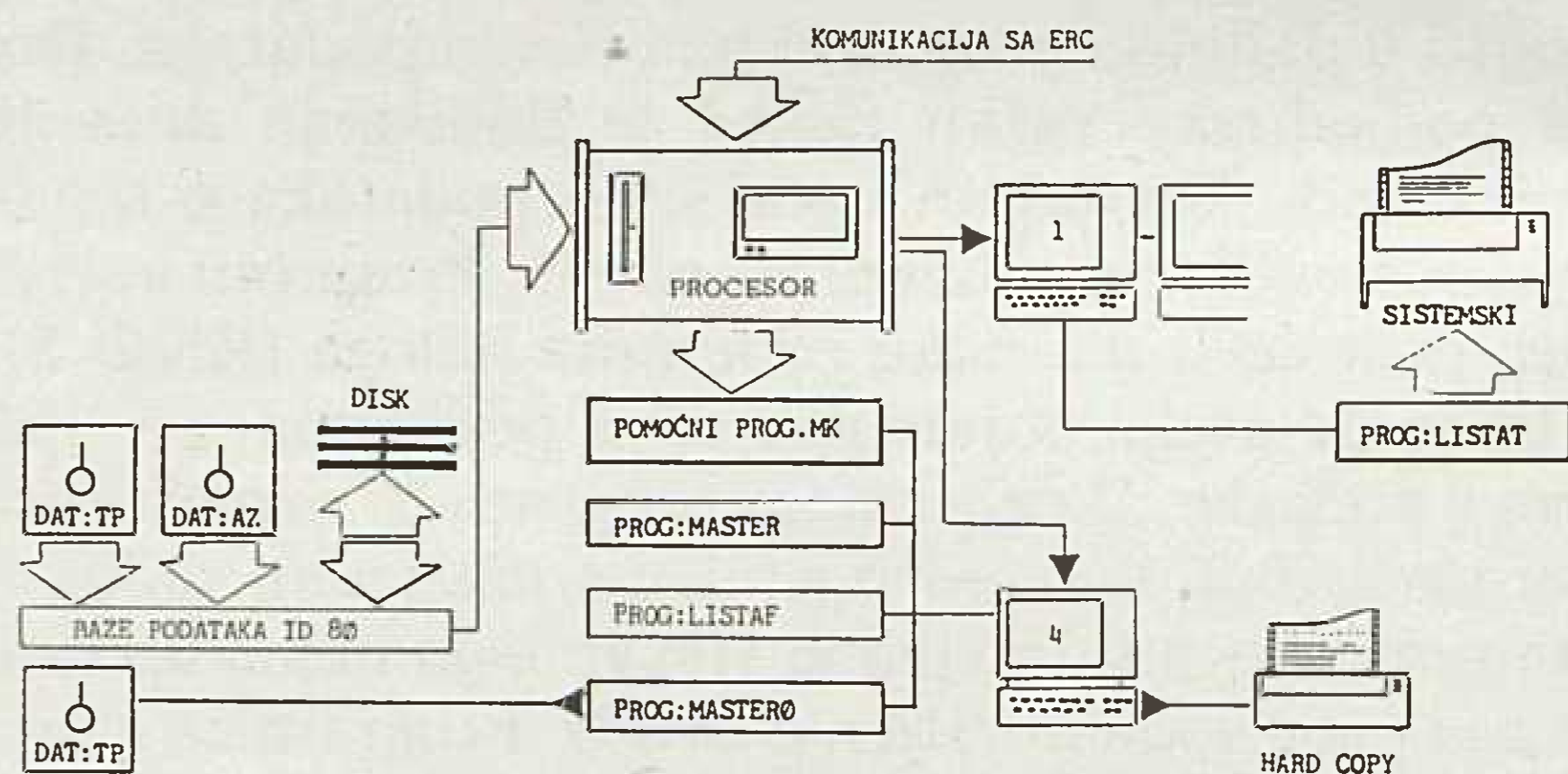
Radi bolje preglednosti i uvida u funkcioniranje primjene računala u proizvodnji ovdje ćemo iznijeti i nekoliko grafičkih priloga.

Uvažajući sve do sada napomenuto, u toku 1985. i 1986. godine razvijen je elastičan sistem obrade podataka koji se upotrebljavaju u pripremi i praćenju proizvodnje, a čija je primjena realizirana u radnoj jedinici Proizvodnja metalnih konstrukcija. Sistem se pokazao u toku rada vrlo praktičnim za primjenu, a moguće ga je primijeniti i u ostalim radnim jedinicama OOUR-a »Proizvodnja« nakon odgovarajuće sistematizacije podataka.

Radi boljeg pregleda iznosimo dijagram konfiguracije programa (sl. 4) koji su u tu svrhu izrađeni i postavljeni u centralnom sistemu i pomoćnih programa koji postoje u lokalnom sistemu a omogućavaju rad neovisno s centralnim procesorom u pojedinim aplikacijama rada (sl. 5).

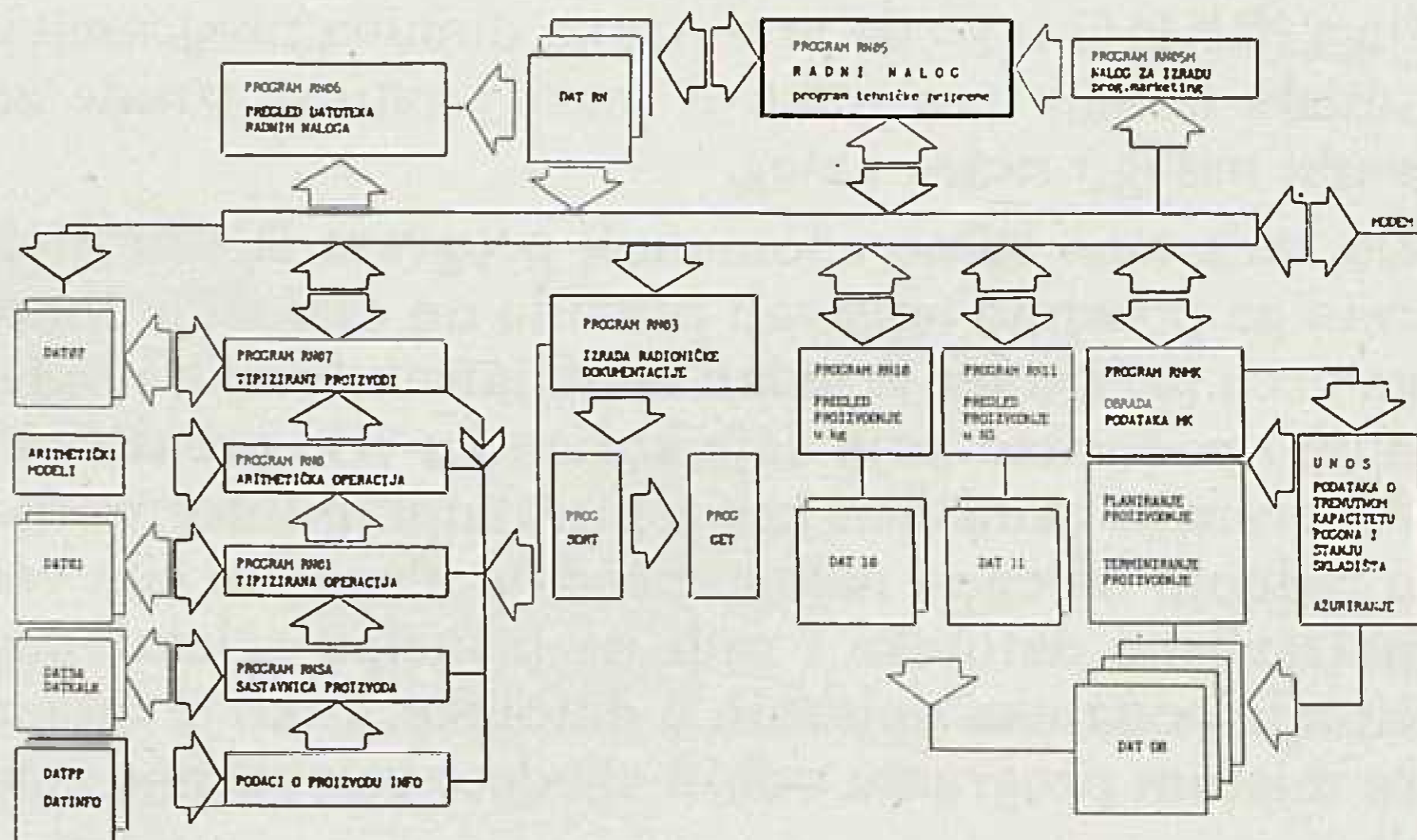


Slika 4. Blok-dijagram konfiguracija sistema



Slika 5. Blok-dijagram lokalnog sistema u »Proizvodnji — Dalekovod«

Posebno je prikazan, kao primjer, rad s matičnim programom za upis naloga RNØ5 (sl. 6) oko kojeg su vezani svi ostali programi i datoteke. Program smatramo do kraja definiranim jer se u toku praktičnog rada pokazao zadovoljavajućim u svim parametrima koji su mu postavljeni.



Slika 6. Program RN Ø 5 — veza s ostalim programima i datotekama

Prezentirani programski paket pokazao se veoma fleksibilnim u upotrebi. Nakon više dorada u toku početne faze računala obrada se razvija predviđenim tokom. Ilustracije radi ovdje su navedena tri dokumenta od desetak koje dobivamo obradom podataka.

Na slici 7. prikazan je tipičan oblik radne liste za proizvod koji je prikazan na slici 2. Vidljivo je da se operacije mogu proizvoljno grupirati prema zahtjevu proizvodnje, odnosno u ovom slučaju izvršeno je grupiranje operacija u odnosu na radno mjesto izrade.

Na slici 8. prikazane su mogućnosti rada s programom RNØ6 (datoteka radnih naloga) gdje je prikazan oblik ispisa po grupi proizvoda i prema fazama proizvodnje radnog naloga. Ovaj oblik ispisa omogućava pregled proizvodnje, a ispis je moguće upotrijebiti na raznim nivoima upravljanja proizvodnjom.

SIFRA PROIZVODA		NAZIV PROIZVODA		KATALOŠKI BROJ - NACRT		RADNI LIST 3T	
0084103403X		KORS 2B-1000-1 P					
BR	ODJEL	SIFRA OPERACIJE	OPERACIJA	R. MJ	GRUPA	Trčih	Učih
160		G51	OBRADA VRATA SA SVIM PRIPADAJUĆIM ELEMENTIMA prema nacrtu KORS 1B	622B		0	67
160		E9B	SASTAVITI STUP SA SVIM PRIPADAJUĆIM DIJELOVIMA prema nacrtu (PP)	622B		0	210
TEHNIČKA KONTROLA:				DOBRH		ISPOSTAVIO	
				SKART		DATUM	
				UZROK SKARTA		20.03.87.	
				ZA DORADU		PRIMJEDBE	
						POSLOVODA:	

Slika 7. Izgled ispisane radne liste

Na slici 9. prikazano je stanje proizvodnje na određeni dan prema grupama proizvoda za tekuću godinu.

DALEKOVOD-ERC	D A T O T E K A		R A D N I H		N A L O G A		RNO6
BROJ NALOGA	RADNI NALOG	DATUM	FAZA	PROIZVODNJE	OPASKA	MASA	NS
2082	013001	151086	*Z		<>30.01.87.	2532	N
2084	013003	290187	*IZRADA	S-10.1	<>20.03.87.	245903	N
2093	013005	050187	*SJECENJE	LIMOVA	<>13.03.87.	110	390
2097	013002	021286	*Z		<>30.01.87.	3539	N
2099	013004	050187	*VRUCE	FOCINCAVANJE	<>OTPREMA	96353	N
2111	013006	210187	*Z		<>06.02.87.	6639	N
2114	013007	260187	*PROBNA	MONTAŽA	<>06.02.87.	5242	N
2115	013008	270187	*Z		<>06.02.87.	810	N
2116	013009	280187	*Z		<>10.02.87.	793	N
2118	013013	100387	*IZRADA	S-10.2	<>20.03.87.	12	65
2125	013010	020387	*SIJECENJE	PROFILA	<>05.03.87.	3882	N
2126	013012	090387	*IZRADA	S-10.3	<>17.03.87.	185	450
2127	013015	090387	*IZRADA	S-11.1	<>17.03.87.	45	N
2128	013011	060387	*IZRADA	S-10.4	<>17.03.87.	2220	N

<CONTROL D> KRAJ , <RETURN> NASTAVAK , OZN = G GRUFA = 013

Slika 8. Ispis programa RNØ6 — praćenje stanja radnih naloga

Slika 9. Ispis programa RN 1Ø — stanje proizvodnje dana

DALEKOVOD - ERC		ANALIZA NALOGA PREMA MASI PROIZVODA u kg						RN10	
GRUPA PROIZVODA:	BN	FRIPREMA	BN	IZRADA	BN	ZAVRSENO	*NF*	BN	KUMULATIV
MKD	013	>		>	7-352940	>	7-	22330	>
MKT	023	>		>	2- 16526	>	8-	82186	>
MKR	033	>	4-	5440	>	22-140814	>	39-172580	>
MKS	043	>		>	1- 258	>	1-	7890	>
MK2	053	>		>	1-134180	>	1-	4215	>
MK0	063	>	1-	1462	>	3- 119	>	6- 2887	>
OP	073	>		>	11- 42912	>	6-	12885	>
OSKS	083	>		>	13- 19554	>	8-	3082	>
POL.P	093	>		>		>			>
INT.U	103	>		>	1- 600	>			>
EXT.U	113	>	1-	140	>		>	5- 76548	>
USV.F	133	>		>	1- 1599	>			>
OKM	183	>	5-	0	>	11- 34854	>	5- 658	N >
+++ SVEUKUPNO		>	11-	7042	>	73-744356	>	86-385261	>
DOJAVA NEPOTFUNOSTI PODATAKA ZA: > 5< NALOGA PREGLED NALOGA (DA/NE):									

Analiza se može izvršiti po masi proizvoda, a to je program RN Ø ili po norma-satima izrade radnih naloga (program RN11). Programi su upotrebljivi za analizu stanja proizvodnje na određeni dan ili za određeno razdoblje. Ovo se može koristiti da bi se pratilo izvršenje plana proizvodnje s osvrtom na svaku grupu proizvoda koja se prati planom. Kumulativ se programski ispisuje na završetku svakog tromjesečja, odnosno ima kvartalni oblik.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovi svega do sada iznesenog i na osnovi iskustava stečenih na praktičnoj primjeni računala u proizvodnji metalnih konstrukcija Dalekovoda Zagreb može se zaključiti sljedeće:

- Nakon uvođenja računala uočava se znatan porast preglednosti toka dokumentacije i stanja radnih naloga.
- Prisutno je bitno smanjenje manualnih poslova: pisanje rukom, prepisivanje ili kopiranje.
- Uposleni prihvaćaju promjene relativno brzo, ali uvijek mora biti prisutna evidentnost konačnog pozitivnog efekta promjena.
- Sistem obrade nije moguć, ili je bar veoma teško, usvojiti kampanjskim pristupom koji može imati oblik kupovine opreme ili gotovog softwera. Racionalniji je pristup postepeno usvajanje softwera, po mogućnosti adaptiranje vlastitim proizvodnim specifičnostima i postupno navikavanje i osposobljavanje ljudi.
- Kao što je danas uvjet suradnje s razvijenim svijetom posjedovanje usvojenog sistema CAD, tako će za nekoliko godina uvjet biti i usvojenost sistema CAM.

COMPUTER APPLICATION IN PREPARING AND FOLLOWING OF METAL CONSTRUCTION FABRICATION

Development and quality in realisation of production depends on preparing and following of fabrication stages. Computer application in fabrication CAM (Computer Aided Manufacture) is elaborated in the article with highlight on preparing and following processes.

ANWENDUNG DER RECHNER BEI DER VORBEREITUNG UND HERSTELLUNGSANALYSE DER METALLKONSTRUKTIONEN

Das schnelle Ajourieren und die Qualität der Realisierung von Arbeitsaufträgen hängt sehr von einer guten Arbeitsvorbereitung ab. In dieser Arbeit behandelt man die Anwendung der Rechner bei der Herstellung vom CAM (Computer Aided Manufacture), besonders in der Vorbereitungsphase und Analyse der Herstellung.

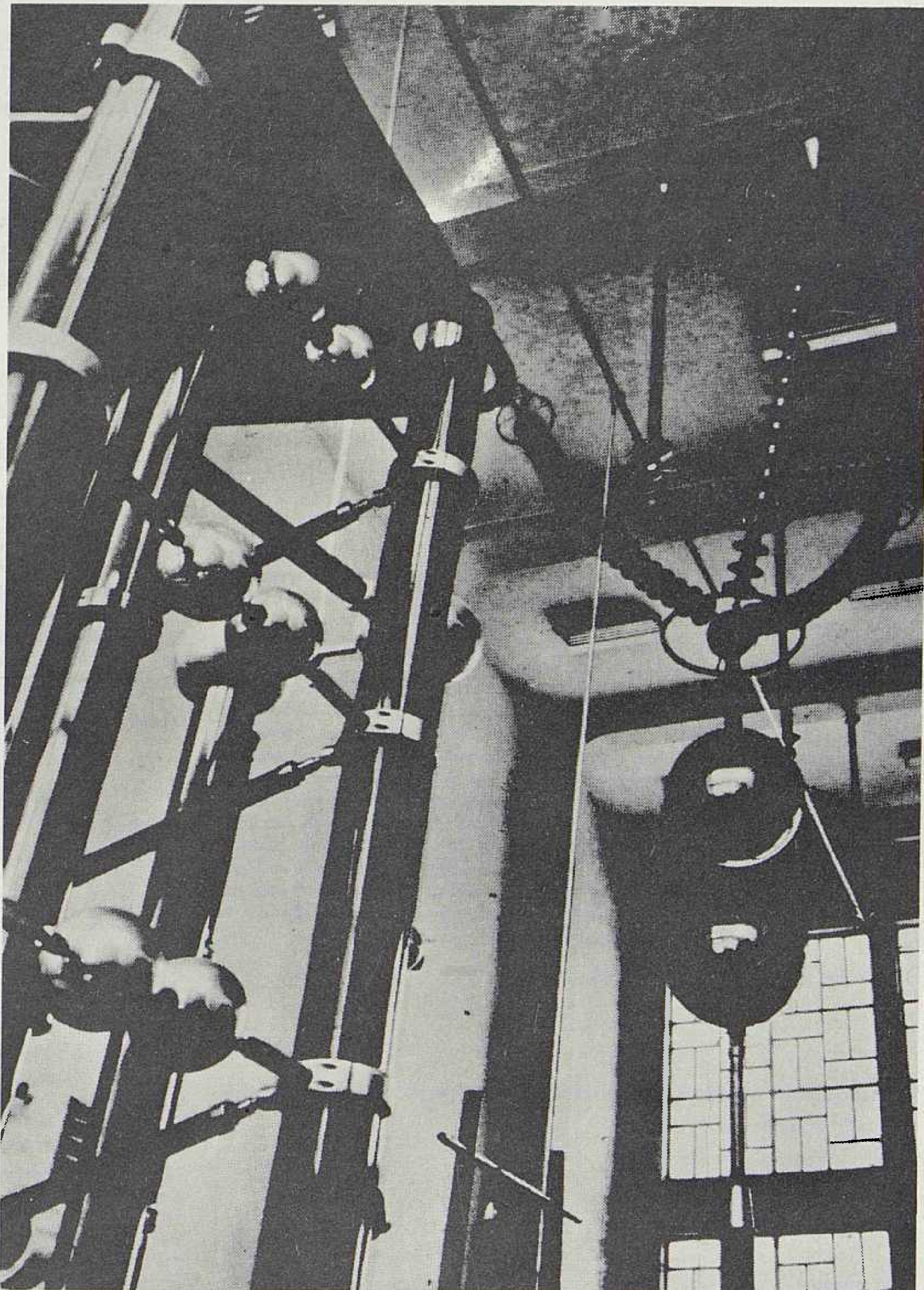
ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПОДГОТОВКЕ И НАБЛЮДЕНИИ ЗА ПРОИЗВОДСТВОМ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Своевременность и качество реализации наряда на работу во многом зависит от хорошо выполненной подготовки работ, как и от проведения работ в течение самого производства. Применение вычислительных машин CAM (Computer Aided Manufacture) тем более на этапе подготовки и наблюдения за производством проработаны в данной работе.

Naslov pisaca:

mr. Mato Petrović, dipl. inž.
Zlatko Špišić, dipl. inž.
Adnan Avdagić, dipl. inž.
»Dalekovod« Zagreb,
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1987-03-25



RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1986. GODINI

Institut za elektroprivredu u Zagrebu osnovan je sa zadatkom da znanstveno obrađuje probleme razvoja elektroprivrede i ostale energetike, i u tom području djeluje već više od trideset godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institut je postao nosilac obrade važnih problema jugoslavenske i hrvatske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilaciranja energetske sisteme uspoređivanjem vrijednosti elektrona, 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 1986. godini.

STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Razvoj energetike Slavonije i Baranje do 2000. godine

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek

Autori: mr. Branko Vuk, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
mr. Jakša Topić, dipl. ing.
Ivan Šimurina, ing.
Mladen Zeljko, dipl. ing.
Josip Bunjevčević, teh.

Završeno u veljači 1986.

Svrha izrade ove studije bila je da se prouče mogući pravci razvoja energetike ovog područja do 2000. godine. Da bi se tako postavljeni cilj i ispunio, bilo je nužno kompleksni energetski sistem Slavonije i Baranje analizirati uzimajući u obzir tendencije razvoja energetike u svijetu, Jugoslaviji i Hrvatskoj kako u proteklom razdoblju, tako i u predviđanjima za budućnost.

Zbog toga je proučena dosadašnja svjetska energetska situacija te perspektive daljeg razvoja. Načinjen je pregled energetske rezervi u Jugoslaviji i Hrvatskoj, analiziran dosadašnji razvoj energetike te proučena predviđanja potrošnje energije i električne energije u budućnosti. Za Slavoniju i Baranju promatran je dosadašnji razvoj potrošnje energije, određena je proizvodnja primarnih i transformiranih oblika energije i analizirana mogućnost njihove proizvodnje u budućnosti. Ti elementi iskorišteni su za prognoziranje buduće potrošnje i za analizu pomoću posebno prilagođenog modela, različitih varijanti moguće buduće energetske strukture te je određena, odnosno predložena najpovoljnija varijanta razvoja. Takva varijanta razvoja u biti predstavlja orijentaciju potrošača na zemni plin tako da u ukupnoj potrošnji energije njegov udio raste od 17,3% u 1983. godini na oko 28,5% u 2000. godini.

Opseg: 211 stranica teksta, 275 tablica, 5 slika.

Predviđanje potrošnje električne energije za nekoliko tjedna unaprijed

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. Damir Pešut, dipl. ing.

Završeno u siječnju 1986.

U studiji je razraden postupak za predviđanje dnevnih i tjednih potrošnji i krivulja trajanja opterećenja elektroenergetskog sistema u nekoliko idućih tjedana. Za određivanje utjecaja godišnjeg rasta potrošnje i sezonskih oscilacija iskorišten je postupak eksponencijalnog izgladivanja, a za raspodjelu tjedne potrošnje po danima i dnevne po satima već u Institutu razvijeni postupci za analizu dnevnog dijagrama opterećenja. Razradenim postupkom predviđaju se sva satna opterećenja idućih nekoliko tjedana, na temelju kojih se onda lakše dobijaju dnevne i tjedne krivulje trajanja opterećenja.

Opseg: 45 stranica, 1 tablica, 9 slika.

Struktura potrošnje električne energije i projekcija do 2000. godine

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Damir Pešut, dipl. ing.
Ivan Šimurina, ing.

Završeno u listopadu 1986.

Novije analize potrošnje električne energije u svijetu i kod nas pokazuju da je buduću potrošnju električne energije potrebno sagledavati u kontekstu ukupnih energetske potreba. U ovoj je studiji prikazan jedan takav postupak koji polazi od upotreba krajnjih potrošača, da bi uvažavanjem društveno-ekonomskih i tehnoloških pravaca razvoja sagledao potrebe finalne energije po sektorima potrošnje: industrija, promet i opća potrošnja. Ovaj je postupak u studiji primijenjen na elektroenergetski sistem SR Hrvatske.

Opseg: 146 stranica, 27 tablica, 30 slika.

Politika punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena za godišnja planiranja i u manjim vremenskim razmacima za potrebe eksploatacije EES-a (I. dio)

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: Mladen Zeljko, dipl. ing.

Završeno u veljači 1986.

U posljednjih petnaest godina kod nas se vrlo malo radilo na problemu korištenja sezonskih akumulacijskih bazena, pa je ova studija zamišljena kao uvodna u kojoj su istaknuti osnovni momenti koje treba uzeti u obzir pri korištenju akumulacijskih bazena. U studiji je ukratko dan komparativni prikaz metoda koje su se do sada koristile kod nas i u svijetu. Na kraju je predložena metodologija za korištenje akumulacijskih bazena prema kojoj bi se napravio i program za elektroničko računalno.

Opseg: 37 stranica, 5 slika.

Utjecaj VES Brodarci na uzvodnu HE Ozalj te energetske-ekonomski efekti nadvišenja brane u HE Ozalj

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. ek.
Neda Komerički, ek.

Završeno u svibnju 1986.

Izgradnjom VES Brodarci s usporom od 114,5 mnm mijenja se prirodni režim rada nizvodne HE Ozalj, te joj smanjuje moguću proizvodnju. U ovom radu proračunata je moguća proizvodnja lanca hidroelektrana Ozalj i Brodarci, kao i bez izgradnje ove posljednje. Na temelju tih proračuna određen je gubitak (smanjenje) proizvodnje u HE Ozalj izgradnjom nizvodne VES Brodarci s uspornom kotom od 114,5 mnm. Osim toga u ovome radu valoriziran je učinak nadvišenja brane u HE Ozalj. Provedene energetske-ekonomske analize su pokazale da je opravdano nadvišenje brane u HE Ozalj.

Opseg: 33 stranice, 26 tablica i 7 slika.

Kontrola veličine izgradnje HE Lešće

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Ivica Posavec, teh.
Mara Morić, teh.

Završeno u prosincu 1986.

Na reviziji Idejnog projekta HE Lešće konstatirano je da protoci s kojima je računata moguća proizvodnja, a na temelju nje i veličine izgradnje nisu mjerodavni. Naime, pogonska je praksa u korištenju voda HE Gojak bila takva da su se prvenstveno koristili dotoci iz Bukovnika, a prelijevalo na Sabljacima, odakle vode ne gravitiraju profilu Dani za HE Lešće. Izgradnjom hidroelektrane Lešće pogonska praksa HE Gojak bi se nešto izmijenila jer bi se dio preljevnih voda iz jezera Sabljaci usmjeravao prema HE Gojak, odnosno u Đulin ponor, a nakon toga u HE Lešće. Poznavanjem dnevnih preljevnih količina na Bukovniku i Sabljacima moguće je bilo uspostaviti novi hidrološki niz na profilu Dani s kojima su proračunate moguće proizvodnje HE Lešće za razne veličine izgradnje i za razne dužine trajanja osnovne vremenske jedinice (mjesec, tjedan, dan). Nakon toga proizvodnje sa srednjim mjesečnim protocima korigirane su u funkciji tzv. dnevne proizvodnje (proizvodnja sa srednjim dnevnim protocima) za hidrološki niz 1926. – 1965. godine.

Opseg: 39 stranica i 5 slika.

Razvoj opskrbe potrošača energijom u SRH u razdoblju 1981 – 1990. godine

Naručilac: Republički komitet za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo SR Hrvatske

Autori: mr. Branko Vuk, dipl. ing.
Ivan Šimurina, ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1986.

Promatrano je vremensko razdoblje od 1981. do 1990. godine, a mogu se razlikovati dva dijela. U prvom dijelu analizirana je dosadašnja opskrba potrošača energijom u SR Hrvatskoj, od 1981. do 1985. godine, na taj način da je promatrana proizvodnja primarnih oblika energije, uvoz i izvoz te razmjena primarnih i transformiranih oblika energije s drugim republikama. Promatrana su postrojenja za energetske transformacije, gubici energije u tim transformacijama, gubici u transportu i distribuciji energije, sirovinška potrošnja energije, energija za pogon i neposredna potrošnja energije.

Na temelju planova razvoja pojedinih energetskih grana izrađena je kompleksna energetska bilanca za 1990. godinu na jednak način kako je to učinjeno i za proteklo razdoblje, te je izvršena analiza i usporedba karakterističnih pokazatelja dosadašnjeg i planiranog razvoja.

Opseg: 17 stranica, 6 slika, 48 tablica.

Energetska bilanca SR Hrvatske za 1986. godinu

Naručilac: Republički komitet za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo SR Hrvatske

Autor: mr. Branko Vuk, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1986.

Energetska bilanca za 1986. godinu izrađena je za potrebe Republičkog komiteta za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo SR Hrvatske, odnosno za potrebe Izvršnog vijeća Sabora SR Hrvatske. Bilanca je izrađena na temelju predviđanja pojedinih grana energetike (elektroprivreda, INA, Poslovna zajednica za ugljen) o proizvodnji i potrošnji oblika energije karakterističnih u svakoj od nabrojanih grana i na temelju ocjene o kretanju potrošnje ogrjevnog drva i gorivih industrijskih otpadaka. Na temelju takvih pojedinačnih predviđanja izrađena je pojednostavnjena kompleksna energetska bilanca u kojoj se prati tok energije od bruto raspoloživih količina preko energetskih transformacija, energije za pogon i gubitaka do energije raspoložive za neposredne potrošače.

Opseg: 28 stranica, 23 tablice.

Kriteriji za određivanje pouzdanosti opskrbe potrošača električnom energijom

(III dio)

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Jakša Topić, dipl. ing.
doc. dr. Goran Granić, dipl. ing.
mr. Damir Pešut, dipl. ing.

Završeno u travnju 1986.

U ovom radu, koji predstavlja nastavak dva prethodno završena rada na istu temu, promatra se sigurnost opskrbe svakog potrošačkog čvorišta na pragu prijenosa i distribucije u funkciji izgrađenosti, karakteristika i raspoloživosti proizvodnih i prijenosnih objekata. Pri tome je stvoren programski paket i na test-primjeru (za dio sustava proizvodnje i prijenosa EES Hrvatske) pokazan utjecaj neizvjesnosti proizvodnje hidroelektrana, nerasploživosti termoelektrana i prijenosnih postrojenja (vodova i transformatorskih stanica) na sigurnost opskrbe potrošača. Kao rezultat se dobiva nerasploživa električna energija u svakom čvorištu EES po iznosu i dinamici u toku godine.

Opseg rada: 27 stranica i programski paket.

Energija, izvori i pretvorba energije, energetske bilance, energija, društvo i okolina

Naručilac: ZEOH, i Republički komitet za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo

Autor: prof. dr. Božo Udovičić, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1986.

U ovom radu osim nastanka i pojave oblika energije načinjena je energetska bilanca Zemlje, osnovni oblici pojave oblika energije, te dan povijesni pregled upotrebe oblika energije te upotreba mjernih jedinica u energetici. Nakon toga načinjena je klasifikacija prirodnih oblika energije, pretvorbenih i korisnih oblika. Za svaki neobnovljivi izvor energije (ugljen, nafta, zemni plin, uljni škriljavec, nuklearna goriva, vrući izvori i unutarnja toplina zemlje) te za svaki obnovljivi izvor energije (drvo i otpaci, biomasa, bioplin, vodne snage, vjetar, morske struje i valovi, plima i oseka te Sunčevo zračenje) dano je sljedeće:

- postanak i temeljne karakteristike,
- podjela na vrste,
- raspoložive količine,
- pridobivanje prirodnog izvora energije,
- pretvorba prirodnog oblika energije,
- potrošnja oblika energije
 - u prirodnom obliku— u pretvorbenom obliku,
- procjene za budućnost.

Opseg: 198 stranica i 46 slika.

Izbor najpovoljnijih kota akumulacijskih bazena s osnova mogućnosti elektrana, frekvencije i intenziteta vodnih valova kao i uloge elektrane u sistemu

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Davor Tomašić, dipl. ing.
Mladen Zeljko, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1986.

U ovom radu kvalitativno su i kvantitativno obrađeni valovi na pojedinim hidroenergetskim sistemima Hrvatske. Razvijen je matematički model i programska podrška za računalo. Provedene analize pokazuju opravdanost promatranja vodnih valova na bujičavim vodotocima gdje se elastičnijom upotrebom bazena mogu postići znatne uštede.

Opseg: 47 stranica, 29 tablica, 10 slika.

Vozni red elektrana (IV dio)

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: mr. Branka Jelavić, dipl. ing.
mr. Nikola Plavec, dipl. ing.
dr. Arsen Arsenov, dipl. ing.
dr. Ivan Granić, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1986.

Ova studija nastavak je rada na izradi programa za »vozni red« elektrana SR Hrvatske. Bitno poboljšanje je mogućnost uključivanja crpno-akumulacijskih postrojenja u postupak optimiranja, kao i način tretiranja ograničenja u obliku nejednadžbi. Razvijena programska podrška omogućava jednostavno korištenje programa u svakodnevnoj dispečerskoj praksi.

Opseg: 52 stranice, 10 tablica, 12 slika.

Vozni red elektrana (V dio)

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: mr. Branka Jelavić, dipl. ing.
Davor Tomašić, dipl. ing.
doc. dr. Goran Granić, dipl. ing.

Završeno u studenom 1986.

Kontinuitet izrade programa za »vozni red« elektrana SR Hrvatske nastavljen je ovom studijom. Uvođenje ograničenja na brzinu primjene opterećenja termoelektrana uvjetovalo je znatne izmjene u matematičko-programskom dijelu jer spomenuto ograničenje uzrokuje zavisnost vremenskih intervala opterećenja.

Opseg: 39 stranica, 13 tablica, 4 slike.

Energetsko-ekonomski pokazatelji HE Đurđevac

Naručitelj: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Neda Komerički, oec.

Završeno u travnju 1986.

Kako i sam naslov kaže, promatrana je HE Đurđevac u elektroenergetskom sistemu te su valorizirani njeni efekti koje u takvom sistemu postiže. Nakon proračuna moguće proizvodnje lanca hidroelektrana (Varaždin, Čakovec, Dubrava i Đurđevac) i korekcije moguće proizvodnje u funkciji ostvarene za HE Varaždin i He Čakovec metodom simulacije prilika u elektroenergetskom sistemu, promatrana je HE Đurđevac za tri razine konzuma koji se očekuju u budućnosti. Provedene energetske-ekonomske analize pokazale su da se radi o vrlo vrijednom elektroenergetskom objektu u odnosu na alternativno rješenje.

Opseg: 32 stranice i 11 tablica.

Metoda za izradu godišnje bilance — predviđanje potrošnje električne energije za potrebe godišnje bilance

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: mr. Mićo Klepo, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1986.

Ovim radom razvijena je metoda za predviđanje potrošnje električne energije za iduću godinu, i to za potrebe godišnje bilance, koja služi za analizu prilika u elektroenergetskom sistemu za potrebe planiranja i upravljanja, odnosno eksploatacije. Planiranjem se obuhvaćuju sljedeći elementi: godišnja potrošnja električne energije za iduću godinu, maksimalno opterećenje, sezonske oscilacije potrošnje i maksimalnog opterećenja, krivulje trajanja opterećenja, potrošnje po grupama potrošača, gubici na mreži prenosa i distribucije, te ovisnost o utjecajnim faktorima (temperaturi).

Razvijena je metoda sektorskog predviđanja potrošnje električne energije dovoljno općenita da osigurava kvalitetno vođenje i predviđanje, odnosno dovoljno osjetljiva da se može prilagoditi različitim specifičnim slučajevima i potrebama, načinu i nivou poznavanja potrošnje.

Omogućeno je obuhvaćanje rasta potrošnje, periodičnih oscilacija, klimatskih varijacija, te promjena potrošnje zbog praznika i izvanrednih događaja.

Opseg: 45 stranica, 12 slika, 11 tablica.

Analiza opravdanosti priključaka agregata hidrološkog minimuma u HE Kraljevac na postojeći tlačni cjevovod

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: Nikola Bilčar, dipl. ing.
doc. dr. Goran Granić, dipl. ing.
mr. Slavko Alerić, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1986.

U radu je analiziran utjecaj priključaka agregata na biološki minimum u HE Kraljevac na postojeći tlačni cjevovod ili na izgradnju novog tlačnog cjevovoda. Nakon proračuna moguće proizvodnje agregata na biološki minimum sa starim

ili novim tlačnim cjevovodom te investicijskim ulaganjima u sanaciju postojećeg ili izgradnju novog cjevovoda energetske-ekonomske analize su pokazale:

- da je opravdano koristiti postojeći (stari) tlačni cjevovod ako se može koristiti 5 ili više godina (ispitivanja o mogućnosti i trajanju korištenja postojećeg cjevovoda su bila u toku izrade ove studije)
- da je opravdana istovremena izgradnja novog cjevovoda i agregata ako je vrijeme korištenja starog cjevovoda manje od 5 godina.

Opseg: 17 stranica i 8 slika.

Mogućnost i opravdanost izgradnje termoelektrana na ugljen u SRH za zadovoljenje dijela predviđene potrošnje električne energije

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: doc. dr. Goran Granić, dipl. ing.
mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
mr. Zlatko Komerički, dipl. ing.
mr. Luka Staničić, dipl. ek.
mr. Jakša Topić, dipl. ing.

Završeno u kolovozu 1986.

Razvoj elektroenergetskog sistema SRH temeljen je na iskorištenju preostalog hidropotencijala u republici, izgradnji termoelektrana na drugim područjima te na izgradnji nuklearnih elektrana. Ovakav plan je bio donesen kad se mogao i realizirati. Međutim, zbog nekih elemenata došla je u pitanje realizacija takvog plana, pa je nužno bilo razmotriti alternativne mogućnosti zadovoljenja rastuće potrošnje. U ovom radu globalno je razmatrana mogućnost izgradnje termoelektrane na uvozni ugljen, i to na dvije lokacije (Jadran i unutrašnjost). Također, razmatrana je izgradnja TE na domaći ugljen (tri lokacije). Uz uvažavanje gubitaka snage i energije od izvora do mjesta potrošnje, kao i troškova tranzita i prijenosa električne energije energetske-ekonomskim analizama valorizirane su sve promatrane varijante izgradnje zadovoljenja potrošnje. Na temelju provedenih proračuna, kao i polaznih pretpostavki, izgradnja TE na uvozni ugljen ima opravdanja. Međutim, za donošenje konačne odluke potrebno bi bilo razmotriti i sljedeća pitanja:

- izbor mikrolokacije
- rješenje transporta ugljena
- uređenje mikrolokacije
- način osiguranja deviznih sredstava
- isporučitelja ugljena i uvjete isporuke, kao i još druga koja imaju znatan utjecaj.

Opseg: 23 stranice.

Promjena veličine izgradnje HE Đurđevac

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Miljenko Bradarić, dipl. ing.
mr. Luka Staničić, dipl. ing.
Neda Komerički, ek.
Ivica Posavec, teh.
Mara Morić, teh.

Završeno u prosincu 1986.

Iz samoga naslova studije može se zaključiti da je veličina izgradnje hidroelektrane Đurđevac već bila određena, a zadatak je ovoga rada njezina provjera. Na temelju spoznaje o razvoju elektroenergetskog sistema i uz uvažavanje svih relevantnih faktora proveden je proračun veličine izgradnje HE Đurđevac. Prvi put u studijama ovakvog karaktera proračun moguće proizvodnje promatrane hidroelektrane proveden je za tri osnovne vremenske jedinice (mjesec, tjedan i dan). Budući da se HE Đurđevac nalazi na rijeci Dravi koja je relativno dobro izgrađena s obzirom na dužinu trajanja osnovne vremenske jedinice mnogo se ne razlikuje (razlike do 3%). Analizama provedenim prije (1979. godine) određena je veličina izgradnje HE Đurđevac od 850 m³/sek, koja je i ovim radom potvrđena.

Opseg: 43 stranice.

Izbor redoslijeda izgradnje hidroelektrana za razdoblje 1991. – 1995.

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: Nikola Bilčar, dipl. ing.
doc. dr. Goran Granić, dipl. ing.
mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Miljenko Bradarić, dipl. ing.
mr. Luka Staničić, dipl. ek.
Neda Komerički, dipl. ek.

Završeno u prosincu 1986.

Za potrebe Zajednice Elektroprivrednih organizacija Hrvatske, plan razvoja i redoslijeda izgradnje hidroelektrana učinjen je ovaj elaborat. Na temelju prethodnih definiranih ulaznih podataka, kao i investicijskih ulaganja u pojedine elektroenergetske objekte proveden je proračun redoslijeda izgradnje hidroelektrana koje bi sukcesivno trebale ulaziti u pogon od 1991. do 1995. godine. Na temelju relativne energetske-ekonomske vrijednosti definirana je rang-lista te prijedlog redoslijeda i dinamika izgradnje promatranih hidroelektrana.

Opseg: 18 stranica, 10 tablica.

Metoda za izradu elektroenergetske bilance (II dio)

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: doc. dr. Goran Granić, dipl. ing.
Miljenko Bradarić, dipl. ing.

Završeno u siječnju 1986.

Istraživanja u ovom radu obuhvatila su izradu metode i programskog paketa za proračun elektroenergetske bilance za iduću godinu.

Pod pojmom elektroenergetske bilance misli se na raspodjelu opterećenja na elektrane uz uvažavanje svih karakteristika proizvodnih postrojenja. U okviru metode i programa riješeno je sljedeće:

- podjela godina na mjesec ili tjedan s mogućnošću korištenja mjeseca ili tjedna kao najmanje vremenske jedinice
- uključivanje u raspodjelu hidroelektrana sa sumarnim ili pojedinačnim modelom

- utjecaj pojedinačne neraspoloživosti termoelektrana na potrebnu proizvodnju
 - uzimanje u obzir planiranog rasporeda remonta
 - optimalni rad crpno-akumulacijskih postrojenja
 - troškove proizvodnje za različite hidrologije
 - potrebna količina goriva za različite hidrologije.
- Pri razradi metode posebno se vodila briga o tome da se kvalitetno riješi problem termoelektrana izgrađenih na drugim područjima, kao i četiri hidrološka stanja što bolje oslikava prilike u sistemu.

Opseg: 47 stranica, 18 slika, 25 tablica.

Dogradnja modela za energetske-ekonomsku valorizaciju novih elektrana radi njihova izbora (III i IV dio: Simuliranje planova razvoja)

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: doc. dr. Goran Granić, dipl. ing.
Miljenko Bradarić, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1986.

U ovom radu razvijena je nova metodologija za planiranje izgradnje proizvodnih postrojenja, te izrađen programski paket koji omogućuje testiranje i primjenu metode u praksi.

Metoda omogućava izbor optimalne izgradnje elektroenergetskog sistema između velikog broja elektrana kandidata za izbor uz uvažavanje njihovih specifičnosti. U radu se pokazala opravdanost proračuna u dva koraka: predselekcija i simulacija. Predselekcijom se određuje energetske-ekonomska vrijednost i ekvivalentna snaga u cijelom razdoblju planiranja. Analiza je pokazala da se vrijednost za elektrane dobivena na temelju energetske-ekonomske analize potvrđuje pri izboru broja i strukture elektrana u svim godinama planiranja. Točnost predselekcije omogućuje jednostavniju i precizniju simulaciju rada sistema s odabranim elektranama i ekonomsku valorizaciju cjelokupnih planova razvoja, pa tako omogućuje objektivnu usporedbu svih kombinacija i izbor optimalne izgradnje.

Prema matematičkom modelu napisan je program za elektroničko računalo. Program automatizira velik broj operacija, što olakšava rad i skraćuje cijeli tok proračuna, a ujedno omogućuje interaktivan rad planer-računalo i tako unosi novu kvalitetu u postupak planiranja.

Opseg: 70 stranica, 4 tablice, 9 slika.

STUDIJ RAZDJELNIH NISKONAPONSKIH, VISOKONAPONSKIH MREŽA I PROJEKTIRANJE**Interaktivni program za proračun podešenja distantne zaštite**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Božidar Filipović, dipl. ing.
mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.

Završeno 1986.

U studiji je izložena opća filozofija pristupu problematici podešenja distantne zaštite pomoću elektroničkog računala. Izložen je algoritam za proračun podešenja zaštite, zatim opis programa i dijagram toka.

Primjeri korištenja interaktivnog programa dani su za nekoliko prijenosnih mreža. Također je dan prijedlog za daljnji rad na poboljšanju programskog paketa za podešavanje zaštite.

Opseg: 115 stranica sa slikama i listinzima.

Relejna zaštita 110 kV mreže »Elektroprenosa« Split

Naručilac: Elektroprenos, Split

Autor: mr. Božidar Filipović, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1986.

U studiji je analiziran rad relejne zaštite na bazi statistike kvarova u razdoblju 1980–1985. Izrađen je programski paket DISTANZ za proračun podešenja i izvršen proračun podešenja distantne zaštite za mrežu 220 i 110 kV. Upozoreno je na problem daljinske rezerve i definirana kritična postrojenja te predložena rješenja za poboljšanje rezervnog šticećenja.

Opseg: 108 stranica.

Proračun podešenja distantne zaštite u mreži 110 kV »Elektroslavonije« za 1985. i 1990. godinu

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek

Autori: mr. Božidar Filipović, dipl. ing.
mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.

Suradnik: mr. Željko Rajić, dipl. ing.

Završeno u kolovozu 1986.

Upozoreno je na velike probleme i netočnosti klasičnog proračuna distantne zaštite u prijenosnim mrežama. Izložene su prednosti CAD pristupa i ukazano na mogućnosti kompjutorizacije nekih funkcija kontrole i zaštite. Dani su algoritmi proračuna poboljšanog programskog paketa DISTANZ. Obavljeni su proračuni za mrežu u 1985. i 1990. godini i definirana kritična postrojenja s obzirom na probleme daljinske rezerve. Analizirana su uklopna stanja i njihov utjecaj na podešenja.

Opseg: 145 stranica.

Proračun podešenja distantne zaštite u mreži »Elektroprenosa« Opatija

Naručilac: Elektroprenos, Opatija

Autori: mr. Božidar Filipović, dipl. ing.

Suradnik: mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.

Završeno u studenom 1986.

Upozoreno je na probleme gubitka daljinske rezerve koja je realizirana s distantnom zaštitom. Koristeći se programom DISTANZ, obavljeni su proračuni podešenja i analiza prilika za različite položaje kvara u EES. Izvršen je proračun pomoću klasične metode i uporedba tih rezultata s rezultatima programa DISTANZ. Definirana su kritična postrojenja i dane smjernice za rješavanje problema daljinske rezerve u tim postrojenjima.

Opseg: 133 stranice.

Iznošenje potencijala iz TS 110/10(20) kV »Benkovac«

Naručilac: Elektra, Zadar

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.

Suradnici: mr. Božidar Filipović, dipl. ing.
mr. Milan Puharić, dipl. ing.

Završeno u 1986.

U studiju su definirani kriteriji koje mora zadovoljavati sustav uzemljenja TS 110/10(20) kV »Benkovac«. Izvršena je analiza iznošenja potencijala i očekivanih napona dodira. Dane su konkretne smjernice radi smanjivanja opasnosti od napona dodira.

Opseg: 53 stranice sa slikama i tablicama.

Ekonomska opravdanost uzemljenja zvjezdišta SN mreže u uvjetima lošeg specifičnog otpora tla s obzirom na nulovanje kao zaštitnu mjeru na niskom naponu

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.

Suradnici: mr. Božidar Filipović, dipl. inž.
mr. Luciano Delbianco, dipl. inž.

Završeno 1986.

U studiji je obraden problem uzemljenja zvjezdišta mješovitih 10(20) kV mreža lociranih na terenima visokog specifičnog otpora tla. Analizirane su tipične 10(20) kV mreže, te su dane njihove karakteristike. Predložena su moguća rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta 10(20) kV mreža. Ispitana je ekonomska opravdanost uzemljenja zvjezdišta.

Opseg: 67 stranica sa slikama i tablicama.

Problematika kvarova u električnim mrežama površinskog kopa »Potočari« sa aspekta iznošenja potencijala iz TS 110/35/6 kV »Đurđevik«Naručilac: RO Rudnici mrkog uglja »Đurđevik«
OOUR Površinski kopovi »Višća«Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr. Božidar Filipović, dipl. ing.

Suradnik: Krešimir Mehičić, ing.

Završeno 1986.

Puštanjem u pogon TS 110/35/5 kV »Đurđevik« pojaviti će se mogućnost iznošenja potencijala ekranima 6 kV kabela sve do rudarskih postrojenja. Zbog toga je u navedenoj studiji obavljena detaljna analiza geoelektričnih karakteristika tla na površinskom kopu, zatim djelovanja rudarskih postrojenja u sustavu uzemljenja, te djelovanja elektroenergetskih vodova u sustavu uzemljenja. Određeni su očekivani potencijali na rudarskim postrojenjima, te naponi dodira. Dane su konkretne smjernice za rješavanje ovog problema.

Opseg: 136 stranica sa slikama i tablicama.

Uzemljenje zvjezdišta transformatora 400, 220 i 110 kV u mreži »Elektroprenosa« Opatija — analiza utjecaja na rad relejne zaštite i koncepciju prenaponske zaštite transformatora

Naručilac: Elektroprenos, Opatija

Autori: mr. Božidar Filipović, dipl. ing.
mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.

Završeno 1986.

U studiji su istražene mogućnosti smanjenja struja jednopolnih kvarova u mreži 110 kV »Elektroprenosa« Opatija. Ispitan je utjecaj uzemljenja zvjezdišta, te sekcioniranja mreže 110 kV na visinu struja kvarova. Razmotreni su svi mjerodavni kriteriji: dimenzioniranje opreme, problematika iznošenja potencijala, te unutrašnji prenaponi i rad relejne zaštite. Na temelju analiza predloženo je da se direktno uzemlje sva zvjezdišta transformatora »Elektroprenosa« Opatija.

Opseg: 110 stranica.

Prelazak sa 10 kV na 20 Kv napon distributivnog područja Zdenčina – Pisarovina – Lasinja

Naručilac: ELDIS, Jastrebarsko

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr. Milan Puharić, dipl. ing.

Završeno 1986.

U studiji je dan pregled postojećeg stanja distributivne mreže na području Zdenčina – Pisarovina – Lasinja. Utvrđene su konkretne smjernice za izvedbu prethodnih radova u TS 110/10(20) kV »Zdenčina«, te u postojećoj mreži 10 kV. Izraden je orijentacioni troškovnik za prijelaz navedene mreže pod napon 20 kV.

Opseg: 44 stranice sa slikama i tablicama.

Uzemljenje zvjezdišta 30 kV mreže na području Knina i Drniša

Naručioc: Elektrodistribucija, Knin
Elektrozagora, Drniš

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr. Božidar Filipović, dipl. ing.

Završeno 1986.

Mreža 30 kV na području Knina i Drniša napajana je iz više izvora TS 110/30 kV »Knin«, HE »Manojlovac«, HE »Golubić«, HE »Roški Slap«, te TS 110/30 kV »Bilice« i HE »Jaruga«. Ovakva situacija zahtijeva veoma pažljiv izbor koncepcije uzemljenja zvjezdišta, te selektivnog podešenja relejne zaštite. U studiji su izvršeni svi potrebni proračuni, kontrola uzemljivača distributivnih postrojenja, te je dan prijedlog za dopunu i podešenje relejne zaštite.

Opseg: 85 stranica sa slikama i tablicama.

Tehnički informacijski sistem RO »Elektroistra« Pula

Naručilac: RO Elektroistra, Pula

Autor: mr. Mirjana Rimac

Završeno 1986.

Tehnički informacijski sistem je skup podataka i programa koji se odnose na elemente distributivnog sistema i njegova funkcioniranja. Polazi se od postavke što je sve potrebno riješiti u okviru TIS-a, pa se prema tome određuje koji se podaci trebaju prikupljati i evidentirati. Naveden je sistem i organizacija prikupljanja podataka u fazi privremene, način formiranja banke podataka i organizacija obrada podataka.

Opseg: 224 stranice sa slikama i tablicama.

Razvoj informacijskog sistema RO »Elektroistra« Pula

Naručilac: RO Elektroistra, Pula

Autor: mr. Mirjana Rimac

Završeno 1986.

Postojeći informacijski sistem u RO Elektroistra« Pula ne zadovoljava povećanim potrebama i predstavlja zapreku u daljnjem razvoju. Studijom je predložen informacijski sistem koji će svojim hardwarskim karakteristikama omogućavati instaliranje kompletnog poslovnog sistema. Riješen je sistem međupovezivanja na relaciji OOUR – RO. Moguće varijante su valorizirane ekonomskim proračunima, a odabrana je najpovoljnija.

Opseg: 112 stranica sa slikama i tablicama.

Razvoj i eksploatacija banke podataka o stanju elektrodistributivne mreže

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Krešimir Mehičić, ing.
Rudolf Šimunec, teh.

Završeno u prosincu 1986.

Za potrebe elektrodistributivnih organizacija SR Hrvatske i ZEOH-e od 1983. godine prikupljaju se i pohranjuju na računalu Instituta za elektroprivredu podaci iz područja fizičkih veličina postrojenja i mreže, potrošnje električne energije i vršnih opterećenja čvorišta u mreži 35 kV. Od tada se obavlja godišnje ažuriranje podataka i izrađuju sheme stanja mreže 35 kV.

Uz formirani i godišnje ažurirani sadržaj podataka izraden je i niz programa za unos i kontrolu podataka, listanje po različitim atributima, sumiranje, kreiranje izlaznih listi i sl. Na osnovi prikupljenih podataka i zahtjeva naručioca izrađuju se godišnji izvještaji i dostavljaju u ZEOH, te svim distributivnim OOUR-ima u SRH.

Opseg: godišnji izvještaj sadrži oko 300 stranica listinga i 8 slika.

STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA**Sigurnosni izvještaj za lokaciju ne Prevlaka (knjiga 1 – 5)**

Naručilac: ZEOH, Zagreb, EEGS, Maribor

Autori: mr. Jure Ćurković, dipl. ing.
mr. Niko Malbaša, dipl. ing.
Jadranko Karuza, dipl. ing.
Vladimir Bradač, dipl. ing.
Lojze Šubic, dipl. ing.
Zlatko Varaždinec, dipl. ing.
mr. Vladimir Jelavić, dipl. ing.
Marijan Sarajlija, dipl. tehn.

Sigurnosni izvještaj za lokaciju izraden je da bi poslužio kao osnovni prilog zahtjevu za izdavanje lokacijske dozvole. Izvještaj rezimira sve rezultate dosadašnjih sudijjsko-istražnih radova vezanih za lokaciju NE Prevlaka.

Izvještaj je elaboriran prema preuzetom formatu iz US NRC. Guide 1.70 Rev. 3. Prikazani rezultati su podloga za razmatranje i utvrđivanje projektnih parametara lokacije. Sinteza prezentiranih rezultata predstavlja dostatnu podlogu za analizu prihvatljivosti lokacije sa svih aspekata sigurnosti.

Predviđena je dopuna ovog dokumenta nakon definiranja tehnologije NEP prema postavljenom formatu.

Opseg: 1. do 5 knjiga, ukupno 2 012 stranica.

Priručnik osiguranja kvalitete za prethodne radove na NE Slavonija

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek

Autori: Vladimir Bradač, dipl. ing.
Hrvoje Štingl, dipl. ing.

Rad obuhvaća program osiguranja kvalitete za prethodne radove na NE Slavonija. Program osiguranja kvalitete dan je u opisu programa osiguranja kvalitete i u programskim postupcima koji detaljnije prikazuju primjenu zahtjeva danih u opisu. Priručnik osiguranja kvalitete napravljen je u skladu s preporukama IAEA dokumenta 50-C-QA i pripadajućih smjernica SG-QA-1 do 11.

Opseg: 29 stranica teksta, 75 tabličnih prikaza.

Određivanje dopustivog toplinskog kapaciteta Save s obzirom na toplinsko opterećenje zbog rada NE Krško

Naručilac: NE Krško

Autori: mr. Niko Malbaša, dipl. ing.
prof. dr Milan Meštrov
Krešimir Plantić, dipl. ing.
Ljiljana Aleksić, dipl. ing.
mr. Berislav Nadinić, dipl. ing.

Napravljena je analiza temperaturnog polja Save nizvodno od NEK-a, analiza sadržaja otopljenog kisika u ovisnosti o sadržaju BPK-5 i o temperaturi vode, analiza prozračivanja na strukturama NEK-a, sažete biološke analize na temelju višegodišnjih istraživanja i tehničko-ekonomska valorizacija rada rashladnog sistema NEK-a u ovisnosti o različitim ograničenjima vezanim uz porast temperature Save.

Zaključno je konstatirano da bi bilo razumno povećati ograničenje veličine ΔT s 2°C na 3°C , čime bi se smanjila cijena proizvedene električne energije a bez dodatnih ekoloških posljedica za Savu i njezine ekosisteme.

Opseg: 134 stranice teksta, 53 stranice priloga.

Opravdanost izgradnje kotla 500 t/h u TE-TO Zagreb

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR TE-TO

Autori: Zdravko Mužek, dipl. ing.
mr. Zlatko Komerički, dipl. ing.
dr. Dubravko Matanić, dipl. ing.
Luka Staničić, dipl. oec.

Istražena opravdanost izgradnje kotla K500-U (produkcija pare 500 t/h, uvozni kameni ugljen) u TE-TO Zagreb. Proces vrednovanja izgradnje kotla uvažava nezvjesnosti imanentne budućnosti. Osim mjerljivih parametara u vezi s predmetom istraživanja, sagledavaju se i strateški elementi uvoza energetskog kamenog ugljena i diverzifikacije energetskih oblika korištenih u toplinskom sistemu Zagreba.

Opseg: 74 stranice teksta, 22 tablična prikaza i 26 slika.

Način korištenja terena i voda u okolini NE Slavonija

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek

Autori: mr. Niko Malbaša, dipl. ing.
Marijan Sarajlija, dipl. tehn.

Studija daje prikaz načina korištenja terena i voda u okolini NE Slavonija. U skladu s programskim zadatkom dana je kategorizacija terena, prikaz stočnih farmi, industrijskih kapaciteta, naselja, komunikacije, prikaz glavnih poljoprivrednih proizvoda, stočnog fonda i sl. Prikazi su rađeni za lokaciju — unutar radijusa 1,6 km, okolinu — unutar radijusa 16 km i širu okolicu — unutar radijusa od 80 km od centra lokacije buduće NE Slavonija.

Opseg: 88 stranica teksta, tabličnih prikaza i slika te 3 priloga višebojnih karata u mjerilu 1 : 5000, 1 : 50000 i 1 : 200000.

Raspodjela troškova između toplinske i elektroenergetske djelatnosti NE Prevlaka

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Toplinske mreže

Autori: Zoran Selanec, dipl. ing.
dr. Goran Granić, dipl. ing.
dr. Duško Čorak, dipl. ing.
mr. Zlatko Komerički, dipl. ing.
Zdravko Mužek, dipl. ing.

Studija obrađuje problematiku raspodjele troškova između elektroenergetske i toplinske djelatnosti u slučaju izgradnje NE Prevlaka kao toplane. Pritom je pretpostavljeno da će snaga NE Prevlaka u kondenzacijskom režimu rada biti 1000 MW, a da će maksimalno oduzimanje topline za potrebe grijanja iznositi 850 MW. U okviru studije ujedno je novelirano ispitivanje opravdanosti izgradnje NE Prevlaka kao toplane s obzirom na najnovija sagledavanja razvoja elektroenergetskog sistema SRH i centraliziranog toplinskog sistema Zagreba.

Opseg: 168 stranica, slika i tabličnih prikaza.

Analiza toplinskog opterećenja Plominskog zaljeva zbog rada TE Plomin

Naručilac: RO Elektroprivreda, Rijeka

Autor: Zoran Kisić, dipl. ing.

U radu je analizirana dispacija otpadne topline TE Plomin I i II putem disperzije u moru i odvođenjem u atmosferu, uzimajući u obzir specifičnosti lokacije ispusta i usisa rashladne vode u Plominskom zaljevu. Određeni su maksimalni tokovi rashladne vode i njome odvedene otpadne topline, analizirano temperaturno polje uzvodno od ispusta rashladne vode, te matematički modelirano područje usisa kako bi se mogla procijeniti recirkulacija između ispusta i usisa rashladne vode.

Opseg: 57 stranica, 12 tabličnih prikaza i 12 slika.

Priručnik osiguranja kvalitete prethodnih radova za NE Dalmacija

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije

Autori: Vladimir Bradač, dipl. ing.
Hrvoje Štingl, dipl. ing.

Radovi obuhvaćaju program ispitivanja kvalitete za prethodne radove na NE Dalmacija. Program osiguranja kvalitete dan je u opisu programa osiguranja kvalitete i u programskim postupcima koji detaljnije prikazuju primjenu zahtjeva danih u opisu. Priručnik osiguranja kvalitete načinjen je u skladu s preporukama IAEA dokumenata 50-C-QA i pripadajućih smjernica SG-QA-1 do 11.

Opseg: 86 stranica teksta i tabličnih prikaza.

Podloge za analizu sigurnosti NE Prevlaka

Naručilac: Elektroprojekt, Zagreb

Autori: mr. Berislav Nadinić, dipl. ing.
Jadranko Karuza, dipl. ing.

Studija »Prilozi za naliizu sigurnosti NE Prevlaka« sadrži osnovne priloge za analizu sigurnosti NE Prevlaka u fazi razrade idejnog rješenja i podijeljena je na sljedeće cjeline:

- Raspodjela i analiza sistema NI* sa stanovišta nuklearne sigurnosti,
- Osnovne metode vrednovanja pojedinih koncepata sistema nuklearnog otoka,
- Sistem sigurnosnog ubrizgavanja,
- Sistem pomoćnog napajanja generatora pare,
- Priprema osnovnih modela za proračun tlaka, temperature i vlage u kontejneru nakon pretpostavljanog akcidenta.

U poglavlju A. Raspodjela i analiza sistema NI sa stanovišta nuklearne sigurnosti prikazan je pristup klasifikaciji sigurnosne opreme, struktura i zgrada prema pristupu vodećih svjetskih proizvođača nuklearne opreme, i to:

- SAD
- Francuske
- SR Njemačke,

* NI = nuclear island (nuklearni otok)

a dan je i osvrtno na odgovarajuću klasifikaciju Međunarodne agencije za atomsku energiju. Pored priznata pristupa klasifikaciji opreme i struktura u navedenim sistemima u tablici je usporedno dan prikaz klasifikacije za sve osnovne sisteme nuklearne elektrane koji će se moći primijeniti u provođenju evaluacije pristiglih ponuda za izgradnju NE Prevlaka. Klasifikacija sistema sprovedena je na osnovi spiska usklađenog s »Nacrtom idejnog projekta« za NE Prevlaka.

U poglavlju B. osnovne metode vrednovanja pojedinih koncepata sistema nuklearnog otoka dan je uvod u osnove metoda analize vjerojatnosti otkaza komponenti i sigurnosnih funkcija kao jedne od metoda koja se može primijeniti u evaluaciji sigurnosnih sistema nuklearne elektrane. Razrađene su metoda stabla kvara i metoda stabla događaja i elaborirane na primjeru sistema pomoćnog napajanja generatora pare kod nuklearne elektrane tipa PWR, Framatome. Ovaj primjer ilustrira primjenu metode koja je preporučena kao jedna od metoda evaluaciji sigurnosti nuklearne elektrane Prevlaka i metoda je s kojom će biti moguće realno uspoređivati i vrednovati pojedine koncepte sigurnosnih sistema. Koncepti sigurnosnih sistema pojedinih proizvođača reaktora znatno se razlikuju i veličina razlika je najbolje ilustrirana u poglavlju C i D ove studije. Zbog tih razlika komparacija na nivou pojedinog sistema je neizvodiva i pristup preko kompleksne analize pouzdanosti sistema je najpogodniji za evaluaciju i međusobno uspoređivanje.

U poglavlju C. Sistem sigurnosnog ubrizgavanja prikazana je osnovna funkcija sistema sigurnosnog ubrizgavanja (Safety Injection System — SIS), definirani projektni kriteriji i dan opis sistema sigurnosnog ubrizgavanja za firme Westinghouse, Framatome i KWU. U preglednoj tablici dane su izvedbene karakteristike sistema sigurnosnog ubrizgavanja kod nuklearnih elektrana različitih isporučilaca. U nastavku studije opisan je rad sistema sigurnosnog ubrizgavanja u normalnom pogonu i u akcidentalnim situacijama, a posebno su razrađeni zahtjevi na sistem sigurnosnog ubrizgavanja koji su se javili u SAD nakon akcidenta na nuklearnoj elektrani Otok »Tri milje« (TMI).

U poglavlju C razrađeni su također i dijelovi sistema akumulatora kao sastavni dijelovi sistema sigurnosnog ubrizgavanja.

Na sličan način kao i u poglavlju C obrađena je materija vezana uz poglavlje D. Sistem pomoćnog napajanja generatora pare (Auxiliary Feedwater System — AFS), gdje su uz usporedni pregled sistema pojedinih isporučilaca nuklearnih elektrana, također dani i zahtjevi na taj sistem po TMI-akcidentu.

U poglavlju E. Priprema osnovnih modela za proračun tlaka, temperature i vlage u kontejnmentu nakon pretpostavljenog akcidenta obrađen je razvojni put sistema kontejnmenta kod nuklearnih elektrana različitih proizvođača i utvrđeni osnovni tipovi kontejnmenta. Obradeni su procesi koji se odvijaju u atmosferi kontejnmenta u slučaju pretpostavljenog gubitka integriteta primarnog hladnog tlačnog reaktora, te pripremljen osnovni model koji će omogućiti praćenje promjena termodinamičkih parametara kontejnmenta nuklearne elektrane kroz trajanje akcidenta. Opisane su osnovne karakteristike i način modeliranja termodinamičkih pojava, te izvršene pripreme za računski program koji će omogućiti da se uz ulazne podatke o tipu akcidenta koji se dogodio u primarnom krugu izračuna i promatra kretanje tlaka, temperature i vlage u kontejnmentu i njegovim pojedinim dijelovima, što se može iskoristiti pri postavljanju projektne osnove sistema kontejnmenta nuklearne elektrane.

Opseg: 133 stranice teksta, slika i tabličnih prikaza.

Postojeće stanje zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom na području Istre i Kvarnerskog Zaljeva

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

Autori: mr. Jure Ćurković, dipl. ing.
mr. Vladimir Jelavić, dipl. ing.
Miroslav Juretić, dipl. ing.
Zlatko Varaždinec, dipl. ing.
Željko Postružin, dipl. ing.

U radu se daje analiza postojećeg stanja zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom na području Istre i Kvarnerskog zaljeva. Kao podloga za procjenu prizemnih koncentracija SO₂ izrađen je katastar emisije svih točkastih i plošnih izvora na analiziranom području. Analiza je provedena računskim modelom LONGZ. Kalibracija računskog modela obavljena je na bazi mjernih vrijednosti prizemnih koncentracija i potvrdila je reprezentativnost ovog modela za analizirano područje. Na osnovi katastra zagađenja izvršena je identifikacija najvećih zagađivača. Predložene su moguće zaštitne mjere za tri područja povišenih prizemnih koncentracija SO₂ uz analizu doprinosa pojedinih zagađivača.

Opseg: 182 stranice, 59 tablica, 14 slika, te prilog Katastar emisije SO₂ u široj okolini TE Plomin (ukupno 175 stranica tabličnih prikaza).

Procjena prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin 1 i 2 s ciljem utvrđivanja lokacije dinamičkog monitoringa

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

Autori: mr. Jure Ćurković, dipl. ing.
mr. Vladimir Jelavić, dipl. ing.
Miroslav Juretić, dipl. ing.
Zlatko Varaždinec, dipl. ing.
Željko Postružin, dipl. ing.

U radu je prikazana analiza rezultata proračuna imisijskih vrijednosti prizemnih koncentracija SO₂ u okolini TE Plomin 1 radi utvrđivanja lokacija dinamičkog monitoringa. Procjena je provedena za visine dimnjaka 200, 250, 300, 340 i 370 metara, uz procjenu emisije na osnovu angažiranja u elektroenergetskom sistemu, provedenih mjerenja i podataka za TE Plomin 2. Pomoću računskog modela COMPLEX/PFM simuliran je utjecaj na okolinu, a dobiveni rezultati testirani su mjerenjima iz pokretnog laboratorija na terenu i rezultatima kontinuiranog mjerenja. U radu je obuhvaćen utjecaj ostalih zagađivača i prikazan doprinos pojedinih izvora u promatranim točkama. Specificirane su lokacije točaka u kojima dolazi do prekoračenja prizemnih koncentracija SO₂ i koje su predviđene za postavljenje kontinuiranog monitoringa. U slučaju prekoračenja graničnih vrijednosti predložene su pasivne mjere zaštite snižavanjem emisije SO₂ u atmosferu.

Opseg: 243 stranice, 68 tablica, 45 slika.

Preliminarni idejni projekt NE Prevlaka — (faza II)

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Sestavljena organizacija elektrogospodarstva Slovenije

Definicija rashladnog sistema NE Prevlaka

Naručilac: Elektroprojekt, Zagreb

Autor: mr. Hrvoje Kunaj, dipl. ing.

U dijelu projekta PIP-a izvedena je definicija rashladnog sistema NE Prevlaka. Svrha ovog dijela studije jest određivanje karakteristika i parametara rashladnog sistema buduće NEP, uzimajući u obzir i primjenu spojnog procesa za potrebe daljinskog grijanja s toplinskom snagom 850 MWt. U prikazanom dijelu studije za svaki komercijalni tip PWR i HWR reaktora u svijetu prikazani su svi elementi potrebni za definiranje opreme hladnog kraja. Podaci su poslužili kao podloga za izradu dokumenta »Poziv za nudenje« (Tender) i kao korisne informacije u fazi evaluacije ponuda.

Opseg: 151 stranica, 40 slika, 39 tablica, 31 prilog.

Izbor turboagregata za NE Prevlaka

Naručilac: Elektroprojekt, Zagreb

Autor: mr. Hrvoje Kunaj, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1985.

Izbor turboagregata za NE Prevlaku izveden je u sklopu projekta PIP-a radi određivanja tipa turbine najprihvatljivije za svaki od razmatranog tipa PWR i HWR reaktora. U analizi su razmatrane turbine snage 1000 MW s jednim i s dva paralelna turboagregata 2 x 50% sa 3000 o/min i 1500. Sve varijante predviđene su uz primjenu spojnog procesa (top. snagom 850 MWt). Ekonomskom analizom (prema kriteriju minimalne cijene el. energije) određen je tip turbine i tlak kondenzacije pare zajedno sa svim parametrima rashladnog sistema.

Opseg: 70 stranica, 20 slika, 16 tablica.

Predinvesticijska analiza razvitka energane u RO Jugovinil

Naručilac: RO Jugovinil

Autor: Zdravko Mužek, dipl. ing.
Marijan Sarajlija

U radu su određene karakteristike potrošnje tehnološke i ogrjevne pare u Jugovinilu (Kaštel Sućurac), projiciran rast te potrošnje i definirane alternativne varijante izgradnje jedinica za pokrivanje toplinskog opterećenja. Tehničko-eko-

nomska analiza pokazala je da je opravdano izgraditi protutlačni turboagregat snage 3 MW na stezaljkama generatora.

Opseg: 21 stranica, 6 slika i 8 tabličnih prikaza.

Završni izvještaj o ispitivanju strojarske opreme NE Krško tokom IV. izmjene goriva

Naručilac: NE Krško

Ispitivanje: ekipa SJ za termoenergetske sisteme

Obrada: Marino Balog, dipl. ing.
Vladimir Bradač, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Ratko Vojvodić, dipl. ing.

Tokom IV. izmjene goriva obavljeno je periodično ispitivanje opreme NE Krško u skladu s desetogodišnjim programom ispitivanja, tehničkim specifikacijama NE Krško te ASME B&PVC SEC. XI

Opseg ispitivanja na komponentama ASME klase 1 i 2 obuhvatio je sljedeće:

- ispitivanje oko 10% opreme i sistema od ukupnog programa pomoću bezrazornih metoda ispitivanja (ultrazvuk, tekući penetranti, magnetske čestice, vizualni pregled, radiografija)
- ispitivanje cijevi parogeneratora 1 i 2 u 100%-tnom opsegu metodom vrtložnih struja
- ispitivanje opreme na sekundarnoj strani NE Krško, koja su obuhvatila ispitivanje cijevi kondenzatora, vsokotlačnih zagrijača napojne vode i pregrijača pare, te dijelove sekundarnih sistema (sistem pare, kondenzata i sl.).

O svim provedenim ispitivanjima načinjeni su završni izvještaji u kojima su navedeni i komentirani rezultati provedenih ispitivanja i dane preporuke za daljnju eksploataciju.

Preventivno održavanje energetskih postrojenja

Naručioci: HE Bajina baša
HE Dubrovnik
HE Senj i Sklope
TE Rijeka
TE Plomin
TE Jertovec
INA-TUG-Kutina

Radove obavili: Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
i stručni tim studijske jedinice za termoenergetske sisteme

U toku 1986. godine obavljena su pogonska ispitivanja strojarske i hidromehaničke opreme radi ocjene stanja opreme kao podlogom za daljnji uspješan rad ispitivanih energetskih objekata.

O svim ispitivanjima izradeni su završni izvještaji u kojima su dani rezultati ispitivanja i postupci provedenih ispitivanja. Također su dane preporuke za daljnju eksploataciju postrojenja.

Osiguranje kvalitete

Naručioci: NE Krško, Elektroprivreda, Zagreb,
Elektroprivreda Dalmacije

Izvršio: Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
i stručni tim studijske jedinice za termoenergetske sisteme

U toku 1986. godine obavljene su aktivnosti osiguranja kvalitete strojarske opreme na sljedećim energetskim objektima:

- NE Krško
- HE Dubrava
- HE Djale

- TE Plomin II
- HE Senj i Sklope.

Aktivnost osiguranja kvalitete su obuhvatile izradu i provedbu programa u nekoliko faza:

- kontrola narudžbe materijala
- kontrola izrade u tvornicama isporučilaca opreme
- kontrola transporta i montaže na gradilištu
- pretpogonska i funkcionalna ispitivanja.
- poslovi osiguranja kvalitete prilikom provođenja redovnih remonta energetskih postrojenja.

O ovim aktivnostima načinjeni su završni izvještaji, koji su podloga investitorima za dobivanje uporabne dozvole od nadležnih organa i/ili uspješan nastavak rada postrojenja.

Izrada dijela kolaudacijske dokumentacije R i TE Ugljevik

Naručilac: SOUR Elektroprivreda BiH, Sarajevo
RO Rudnik i te Ugljevik

Autori: Zoran Selanec, dipl. ing.
Ratko Vojvodić, dipl. ing.

U okviru ovog rada izvršena je obrada neaktiviranih osnovnih sredstava Rudnika i TE Ugljevik sa stanjem ulaganja 31. 12. 1985. Obrada je uključila utvrđivanje investicija u izgradnju RTE Ugljevik, formiranje osnovnih sredstava za neaktiviranu opremu i radove, izračunane revalorizirane vrijednosti investicija na dan 31. 12. 1985. i proračun amortizacije neaktiviranih sredstava za 1985. godinu.

Naručiocu je predan kompjutorski ispis pregleda investicija, zapisnik o terećenju investicija na pojedina osnovna sredstva i izvještaj o proračunu revalorizacije i amortizacije.

Revizije investicijskih programa

Naručioci: Elektroprivreda, Zagreb, ZEOH

Izvođači: Zoran Selanec, dipl. ing.
Mladen Nadinić, dipl. ing.
i stručni tim Instituta za elektroprivredu

U toku 1986. godine obavljene su revizije:

- investicijskog programa TE Tuzla B-1
- 1. novelacije investicijskog programa TE Plomin II
- 1. novelacije investicijskog programa HE Dubrava
- 1. novelacije investicijskog programa HE Djale
- investicijskog programa HE Podsused
- investicijskog programa HE Brodarci.

Evaluacija ponuda za NE Prevlaka

Naručilac: Elektroprojekt, Zagreb

Izvođači: Milivoj Krejči, dipl. ing. i stručni tim
Studijske jedinice za termoenergetske sisteme

U toku 1986. godine Institut je u suradnji s Elektroprojektom — Zagreb, a za krajnjeg naručioca ZEOH — Zagreb, radio na evaluaciji ponuda za NE Prevlaka. Na osnovi međunarodnog natječaja raspisanog 26. 9. 1985. primljene su ponude za odvojene pakete turbinskog i nuklearnog otoka s gorivom 26. 6. 1986. U prvoj fazi evaluacije ponuda ocijenjen je stupanj udovoljenja ponuda zahtjevima poziva na nudenje, što je rezultiralo izradom niza pitanja stranim ponudacima.

Planiranje i praćenje aktivnosti prilikom pripreme izgradnje i izgradnje energetskih objekata

Naručioci: ZEOH, NEK

Izvođači: Zoran Selanec, dipl. ing.
Čedomir Selanec, dipl. ing.

U toku 1986. godine provedeni su radovi na planiranju i praćenju aktivnosti na slijedećim energetske objektima:

- mrežni plan aktivnosti pripreme i izgradnje NE Prevlaka
- globalni mrežni plan aktivnosti pripreme i izgradnje odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada.

Radi što efikasnijeg rada i skraćanja rokova posebno u pripremi izgradnje nužno je planirati radove kako u njihovoj tehnološkoj, tako i u vremenskoj povezanosti. Iz tog razloga za naručioce su izrađeni mrežni planovi aktivnosti. Na osnovi njih lako je i jednostavno pratiti ispunjenje obveza investitora i izvođača radova.

Provedba ispitivanja bloka 300 MW u TE Ugljevik

Naručilac: SOUR Elektroprivreda BiH, Sarajevo
R.O. Rudnik i TE Ugljevik

Ispitivanja: Stjepan Ivančić, dipl. ing. i stručni tim studijske jedinice za termoenergetske sisteme

Provedena su ispitivanja na:

1. ispitivanju rashladnog tornja u TE Ugljevik
Za kondenzaciju pare u TE Ugljevik koristi se rashladna voda zatvorenog kruga hlađenja u rashladnom tornju. Radi utvrđivanja karakteristike hlađenja i provjere garantiranih parametara provedena su odgovarajuća ispitivanja. O provedenim ispitivanjima načinjen je završni elaborat u kojem su dani rezultati ispitivanja.
2. ispitivanju bloka 300 MW u TE Ugljevik
U TE Ugljevik instaliran je blok 300 MW, natkritičnih parametara, ložen ugljenom površinskog kopa u neposrednoj blizini termoelektrane. Na zahtjev naručioca provedena su ispitivanja radi utvrđivanja energetske karakteristike bloka, kao i provjere garantiranih veličina. Na osnovi rezultata ispitivanja napravljen je i prijedlog normativa potrošaka energije.

Provedba ispitivanja sveukupnog propuštanja containmenta reaktora NE Krško

Naručilac: NE Krško

Provedba ispitivanja: Stjepan Ivančić, dipl. ing. i stručni tim studijske jedinice za termoenergetske sisteme

U toku 1986. godine, za vrijeme redovnog remonta NE Krško, provedeno je ispitivanje sveukupnog propuštanja containmenta reaktora. Ispitivanje i obrada rezultata provedeno je u skladu s propisima ANSI N 45.4–1972, radi provjere ispunjenja uvjeta kriterija prihvatljivosti u pogledu propuštanja određenim FSAR-om za NE Krško, odnosno regulativom 10 CFR 50 Appendix J. Sakupljanje i obrada rezultata uključujući statističku analizu mjerenih vrijednosti provedeno je s automatskom mjernom stanicom HP. U toku samog testa, a prema programu što ga je izradio Institut, obavljen je proračun svih pokazatelja u smislu ispunjenja kriterija za minimalno potrebno vrijeme ispitivanja, kao i kriterija za maksimalno dozvoljena sveukupna propuštanja. Rezultati ispitivanja dani su u obliku izlisanja s računskog stroja naručiocu neposredno nakon provedenih mjerenja. Dobiveni rezultati pokazali su da su postavljeni kriteriji za maksimalno sveukupno dozvoljeno propuštanje containmenta reaktora ispunjeni.

Analiza stanja parovoda, zavješnja i cijevi kondenzatora TE Plomin I

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka, OOUR TE Plomin

Autori: Marino Balog, dipl. ing.
Čedomir Selanec, dipl. ing.
Jadranko Radovanić, dipl. tehn.
Josip Milošević, ing.

Ispitivanja: ekipa SJ VI

Radi kontinuiranog praćenja stanja parovoda provedeno je ispitivanje nekih elemenata parovoda. Na temelju rezultata svih dosadašnjih ispitivanja (od 1980. godine) provedena je analiza stanja parovoda radi njegove daljnje pouzdane eksploatacije. U tu svrhu provedena je i analiza stanja zavješnja. Da bi se utvrdilo stanje cijevi kondenzatora i stvorila baza za daljnje praćenje cijevi metodom vrtložnih struja i analizirano je stanje.

Opseg: 171 stranica, tabličnih prikaza i slika.

Analiza i ocjena stanja cijevnog sistema kotla TE Rijeka

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka, OOUR TE Rijeka

Ispitivanje: Osoblje SJ VI

Obrada: Dr Dubravko Matnić, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
Čedomir Selanec, dipl. ing.

Zadnjih godina počeli su se javljati specifični problemi korozije ogrjevnih površina cijevnog sistema, kao i puknuća cijevi pregrijača 2 i međupregrijača 2 kotlovske postrojenja TE Rijeka. Ti problemi bili su razlog iniciranja ispitivanja i analize stanja cijevnog sistema kotla. Analizom je utvrđeno stanje cijevnog sistema kotla, što je omogućilo provođenje određenih korektivnih akcija, te je na taj način osiguran daljnji pouzdan rad kotlovske postrojenja.

Opseg: 87 stranica teksta, slika i tabličnih prikaza.

Analiza stanja cijevi kondenzatora TE Rijeka

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka, OOUR TE Rijeka

Autori: Marino Balog, dipl. ing.
Jadranko Radovanić, dipl. tehn.

Radi utvrđivanja stanja cijevi kondenzatora TE Rijeka i stvaranja baze podataka za dalje praćenje ispitane su kondenzatorske cijevi metodom višeučestalih vrtložnih struja. Na temelju dobivenih rezultata analizirano je stanje cijevi.

Opseg: 94 stranice.

STUDIJ VISOKONAPONSKE OPREME I PRIJENOSNIH MREŽA

VS Đurđevac — podloga za izbor rješenja priključka na mrežu s aspekta plasmana proizvedene električne energije u EES SFRJ i NRM

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Zdenko Petrinović
mr. Boris Beraković
mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
Zdenko Mahmutović
Željko Žagalin
Goran Jerbić

Završeno u listopadu 1986.

U ovom radu dana je cjelovita problematika koju je izazvala nova mađarska koncepcija priključka HE Đurđevac. Sagledana je u okviru kompletnog rješenja hidroelektrana na Dravi i Muri, a posebno je naglasak stavljen na promjene tehničkog rješenja u postojećem idejnom projektu.

Opseg: 62 stranice prilozi i sheme.

Podloge za dogovore o načinu isporuke odgovarajućeg dijela energije HE Đurđevac u mađarski sistem

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Zdenko Tonković dipl. ing.

Završeno u srpnju 1986.

S obzirom na novi pristup raspodjele koristi od hidroelektrana na Dravi u pograničnoj zoni, dan je osvrt na dosadašnje stanje i mogućnosti razmjene s Mađarskom. Ocrtan je postojeći perspektivni plan razvoja interkonekcije, a zatim je analizirana pozicija HE Đurđevac iz aspekta ovih novih zahtjeva. Predložena je razmjena postojećim vezama, kao i potrebne rekonstrukcije, a zatim su istražene i mogućnosti isporuke električne energije dogradnjom sistema i utjecaj takvog rješenja na postojeću osnovnu shemu elektrane.

Opseg: 18 stranica i 1 slika.

Prijenosna mreža na području »Elektroprivrede« Rijeka u razdoblju 1986–2000. godine

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1986.

Na bazi adekvatno razrađenih elektroenergetskih podloga zasnovanih na projekciji razvoja Hrvatske i veličina ustanovljenih analizom proteklog petogodišnjeg razdoblja elektroprivrednog područja Rijeka kreiran je dugoročni plan razvoja prijenosne mreže. Do 1990. promatrana je svaka godina uzastopno i ustanovljena potreba novih čvorišta 110 kV a kasnije su promatrani petogodišnji presjeci. Mreža je razvijana po logičnim konzumnim cjelinama i tražen je harmonični razvoj vodova i transformatorskih stanica. Dan je osvrt na potrebe rekonstrukcije do 1990, kao i obris problematike sagledavanja drugog CDU. Priložen je i proračun kratkog spoja za 1990. Uvedeni su novi globalni pokazatelji kvalitete predložene dinamike razvoja.

Opseg: 144 stranica, prilozi, 28 slika i protokoli s računskog stroja.

Analiza raspada sistema 1. VIII 1986.

Naručilac: ZEOH

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1986.

Za analizu raspada zapadnog dijela elektroenergetskog sistema koji se dogodio 1. VIII formirana je u ZEOH-u posebna Komisija. Ovaj rad nastao je kao podloga za diskusiju u Komisiji. U njemu je predložena metodologija obrade jednog ovakvog netipičnog događaja, a zatim opsežnom argumentacijom ustanovljeni uzroci raspada sistema. Više ili manje detaljno i zaokruženo osvijetljene su komponente relevantne za raspad, a upozoreno je i na moguće aktivnosti radi povećavanja sigurnosti pogona sistema kao i valorizacije štete. Dani su prijedlozi za dalji praktični (u smislu neposredne eksploatacije) i studijski rad.

Opseg: 94 stranica, prilozi, 20 slika i dokumentacija.

Priključak EVP Srpske Moravice na prijenosnu mrežu

Naručilac: Rade Končar, Zagreb

Autori: mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1986.

Elaborat je izraden u dva dijela.

U prvom dijelu dane su elektroenergetske podloge za postavljanje modela sistema u kojem će se ispitivati najpovoljniji način priključivanja EVP Srpske Moravice. Dana je mreža i ekvivalentni tereti, a zatim su ispitivane alternative priključka prema kriterijima za priključak elektrovnih podstanica i prijenosne mreže. U izboru priključka respektirano je zatečeno stanje i planirana perspektiva.

U drugom dijelu elaborata proveden je proračun raspodjele trostrukih nultih struja u vodičima i tlu kod neistodobnih jednopolnih kratkih spojeva duž trase vodova koji ulaze u EVP Srpske Moravice. Proveden je poseban proračun direktnih i nultih uzdužnih i poprečnih parametara nadzemnih vodova, kao i proračun redukcionog faktora zaštitnog užeta. S tako izračunatim parametrima vodova izvršen je u nastavku proračun jednopolnog kratkog spoja uz ekvivalentiranje preostale elektroenergetske mreže SR Hrvatske.

Opseg: 45 stranica sa 11 slika, 3 tablica i protokol računskog stroja.

Koncepcija organizacije održavanja postrojenja i opreme lanca hidroelektrana na Dravi i Muri

Naručilac: RO Elektroprivreda, Zagreb, Služba studije razvoja, pripreme i nadzora izgradnje, Zagreb

Autori: Đuro Stanković, dipl. ing.
Srećko Bojić, dipl. ing.
Dimitrije Avdejev, dipl. ing.

Završeno u siječnju 1986.

Studijom je obuhvaćena osnovna problematika organizacije održavanja postrojenja i opreme lanca hidroelektrana na Dravi, a u perspektivi i na rijeci Muri. Uvođenjem daljinskog upravljanja iz jednog centra tzv. komande lanca nesumnjivo se nameće potreba suvremenijeg preventivno-planskog načina održavanja opreme i postrojenja što u cijelosti pridonosi povećanju energetskog i ekonomskog značenja objekata u elektroenergetskom sistemu.

Osnovni preduvjet takvom suvremenijem načinu održavanja opreme i postrojenja lanca hidroelektrana jest raščlanjivanje svih dijelova sistema u funkcionalne cjeline s nomenklaturom postrojenja, opreme, rezervnih dijelova, sveukupne dokumentacije i planova održavanja, te racionalniji pristup u koncipiranju skladišnih prostora.

U radu je dan prijedlog podjele, vrste i opseg poslova održavanja opreme i postrojenja u kompetenciji hidroelektrana i zajedničkih službi »Komande lanca« te način korištenja usluga drugih sudionika i vanjskih organizacija.

U prijedlogu organizacije održavanja obuhvaćeni su načini održavanja postojećih i budućih hidroelektrana s razradom organizacionih shema unutar svakog objekta.

Opseg: 83 stranice s priložima

Mogućnost izgradnje malih HE na Orljavi nizvodno od brane Kamenska

Naručilac: Elektroslavonija, Ro za proizvodnju, prienos i distribuciju električne i toplinske energije, Osijek

Autori: Aleksandar Russo, dipl. ing.
Nedeljko Šimundić, dipl. ing.
Srećko Bojić, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1986.

Studijom su istražene mogućnosti iskorištenja vodnog potencijala Orljave za izgradnju MHE.

Istraženo je nekoliko povoljnih lokacija koje su ekonomski valorizirane. Na temelju određenih Q-H parametara predloženi su odgovarajući tipski agregati za svaku lokaciju, odabrana je potrebna hidromehanička i elektrostrojarska oprema te predložen način i mjesto priključka MHE na lokalnu mrežu.

Opseg: 70 stranica teksta, 19 priloga tablica i slika.

Osiguranje kvalitete elektroopreme HE »Djale«

Autor: dr. Fedor Šprung, dipl. ing.

S obzirom na gotovost elektroopreme za HE »Djale« provedene su sljedeće aktivnosti osiguranja kvalitete blok-transformatora: kontrola aktivnog elektrotehničkog materijala (trafolim i bakar), kontrola izrade dijelova, te kontrola montaže. Ispitivanja su provedena prema Programu osiguranja kvalitete elektroopreme HE »Djale« koji je napravljen u skladu sa suvremenim zahtjevima na kvalitetu elektroopreme za elektroenergetske objekte.

Aktivnosti na osiguranju kvalitete elektroopreme HE Dubrava

Autori: dr. Fedor Šprung, dipl. ing.
Hrvoje Bezljaj, dipl. ing.

Prema Programu osiguranja kvalitete elektroopreme HE Dubrava započelo je s preuzimanjem materijala za cijevne generatore 2 x 42 MVA, agregat biološkog minimuma, uzbudnik.

Sve pristigle količine dinamo-lima, bakra i ostalog materijala čija kvaliteta utječe na električne karakteristike opreme ispitana je prema zahtjevima iz Programa osiguranja kvalitete. Time je stvorena osnova za daljnje aktivnosti osiguranja kvalitete u toku izrade dijelova i sklapanja opreme. Započela je izrada statorskog paketa i statorskih štapova za generatore 2 x 42 MVA i kontrola kvalitete u toku.

Mjerenje sklopnih prenapona u 400 kV mreži u TS Ernestinovo (I dio)

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek

Autori: mr. Petar Vukelja, dipl. ing., INT Beograd,
Ante Sekso, dipl. ing., IE Zagreb

Suradnici: Mitko Vučinić, dipl. ing., INT
Nebojša Jakanović, dipl. ing., INT
Predrag Kudra, tehn., INT
Dragica Bogdanović, tehn., INT
Josip Mužny, dipl. ing., IE
Tomislav Veselić, ing. IE
Đuro Juretić, tehn. IE
Stjepan Zubić, tehn. IE

Izdao: Institut »N. Tesla«, Beograd

Završeno u prosincu 1986.

U ovoj studiji obrađeni su rezultati ispitivanja prenapona koje su instituti iz Beograda i Zagreba proveli u TS Ernestinovo i na vodu TS Ernestinovo-RP Mla-

dost. Ispitivani su prenaponi pri uklapanju navedenog voda, niz sklapanja autotransformatora 400/115/31,5 kV u TS Ernestinovo (sa prekidačima 400 kV i 110 kV) i uklapanja prigušnice 50 Mvar na tercijaru istog autotransformatora vakuumskim prekidačem (uz postojeću prenaponsku zaštitu tercijara, a zatim uz skidanje postojeće zaštite i ugradnju ZnO odvodnika).

Za sve ispitne konfiguracije dobiveni su nizovi faznih i međufaznih prenapona, koji su podvrgnuti statističkoj obradi. Na temelju obrade zaključeno je da su rizici od sklopnih prenapona takvi da ne ugrožavaju izolaciju promatranog dijela mreže 400 kV. Obje zaštite tercijara pokazale su se kvalitetnima. Sklapanja vakuumskih prekidačem na tercijaru pokazala su neke nepoželjne pojave (prethodna paljenja i ponovna paljenja luka), što traži daljnje istraživanje u dogovoru sa proizvođačem prekidača.

Uz ovu studiju koju je izdao Institut »Nikola Tesla« naš Institut će izdati II. dio u kojem će biti prikazan komplet mjernih oscilograma te prilozi u vezi sa pojavom na tercijaru.

Opseg: 105 stranica sa 11 slika, 12 tablica i 145 oscilograma.

Utjecaj aerozagadenja na srednjonaponska postrojenja

Naručilac: ZEOH

Autor: Ante Sekso, dipl. ing.

Završeno u svibnju 1986.

U ovoj studiji se prvi put sustavno obrađuje utjecaj zagađene atmosfere na vanjsku visokonaponsku izolaciju razdjelnih mreža. U uvodnom poglavlju daje se pregled utjecaja različitih izvora zagađenja na srednjonaponske vodove i postrojenja u SR Hrvatskoj. Po širini područja ističe se utjecaj morske soli. Zatim je opisan kratak pregled fizikalnih pojava kod preskoka na zagađenom izolatoru.

U trećem poglavlju opsežno su opisane zaštitne mjere za vanjsku izolaciju razdjelnih vodova i postrojenja. Najprije su dane metode izbora izolatora bazirane na duljini klizne staze. Zatim su detaljno klasificirani izolatori za razdjelne mreže, te je dana usporedba različitih izvedbi za uvjete zagađene atmosfere. Na kraju su detaljno opisane dopunske zaštitne mjere izolatora, a to su različite metode pranja, čišćenja i premazivanja. U posljednjem poglavlju daju se matematičke osnove jednog modela za procjenu utjecaja zagađenja na troškove pogona razdjelnih mreža. Na osnovi toga vrši se izbor najpovoljnijih rješenja za zaštitu izolacije.

Opseg: 84 stranica, 20 slika, 12 tablica.

Ispitivanje prenapona sklapanja na vodu 400 kV Konjsko-Obrovac – Meline

Naručioc: Elektroprivreda Dalmacije, Split i Elektroprivreda Rijeka, Rijeka

Autori: Ante Sekso, dipl. ing.
mr. Petar Vukelja, dipl. ing.

Suradnici: dr. Ivo Hrs, dipl. ing.
Josip Mužny, dipl. ing.
Tomislav Veselić, ing.
Đuro Juretić, tehn.
Stjepan Zubić, tehn.
Nebojša Jakanović, dipl. ing.
Radomir Naumar, dipl. ing.
mr. Dragan Filipović, dipl. ing.
Predrag Kudra, teh.

Završeno u studenom 1986.

Ova studija je nastala u suradnji našeg instituta i instituta »N. Tesla« iz Beograda, a u njoj su na osnovi prije podnesenih parcijalnih izvještaja detaljno obrađeni rezultati mjerenja prenapona na potezu 400 kV Konjsko-Obrovac – Meline, provedeni u jesen 1984. godine. U uvodnom poglavlju dan je prikaz metodologije i uvjeta ispitivanja. U drugom poglavlju su detaljno prikazani rezultati mjerenja u pojedinim ispitnim konfiguracijama. Istraživani su prenaponi pri sklapanju neopterećenih autotransformatora, zatim sklapanja različitih konfiguracija vodova, te pri namjernim zemnim spojevima na vodu. Za sve skupove faznih i međufaznih prenapona dobivene na početku i kraju vodova te na primaru i tercijaru autotransformatora izvršena je detaljna statistička analiza. Dobivenim statističkim parametrima izvršio se proračun rizika preskoka za svaku ispitivanu konfiguraciju. Osnovni zaključak dobiven ovakvom obradom jest da rizici preskoka zbog sklopnih prenapona ne ugrožavaju izolaciju voda. Uz to je

dobiveno niz interesantnih zapažanja i zaključaka o prenaponima, redosljediu operacija, o utjecaju vrste prekidača, te općenito o stupnju izolacije u mreži 400 kV.

Opseg: I. dio: 146 stranica sa 61 tablicom i 27 slika i II. dio: 133 stranice sa 192 oscilograma i 7 slika.

Električna rasklopna postrojenja Postupci pri terenskim ispitivanjima i primopredaji opreme i postrojenja

Naručilac: Rade Končar — Trgovina

Autor: Miroslav Blažičko, dipl. inž.

Završeno u studenom 1986.

Elaborat se sastoji od 3 dijela:

1. Programi terenskih i primopredajnih ispitivanja i provjera
2. Priručnik za terenska i primopredajna ispitivanja i mjerenja
3. primopredajne liste i zapisnici.

Prvi dio elaborata predstavlja pregled standardnih ispitivanja i provjera koje »RADE KONČAR« obavlja na gradilištu električnog rasklopnog postrojenja da bi se provjerila spremnost objekta za rad i dokazala njegova kvaliteta.

U drugom dijelu elaborata dane su potrebne sheme i opisi ispitivanja i mjerenja, oprema i instrumentacija za ispitivanja.

Trećim dijelom dani su mogući zbirni obrasci i dokumenti, kojima se, nakon uspješnog dokazivanja kvalitete, evidentira oprema i prateća dokumentacija sa svrhom predaje kupcu.

Elaborat je, osim uvodnog dijela namijenjenog internoj upotrebi u »RK«, pisan na engleskom jeziku radi primjene na inozemnim ugovorima.

NE Prevlaka — evaluacija elektroenergetskog dijela ponude »Atomenergoexport«, Moskva

Naručilac: Elektroprojekt, Zagreb

Izvršio: Miroslav Blažičko, dipl. inž.
Srećko Bojić, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1986.

Radi kvalitetnog uspoređivanja ponuda pristiglih na natječaj za isporuku opreme, tehnologije i znanja za NE Prevlaka bilo je potrebno utvrditi kvalitetu i opseg ponuđenih rješenja, te ih usporediti sa zahtjevima iz natječajne dokumentacije.

U okviru 1. faze evaluacije uspoređena je ponuda »Atomenergoexporta« s natječajnom dokumentacijom, utvrđene su razlike između zahtjeva i ponude, komentirane su razlike, te su kao završni dokument 1. faze evaluacije pripremljena pitanja i zahtjevi za dopune ponude koji će upućeni ponuđaču zajedno s pitanjima koja se odnose na druge discipline.

NE Prevlaka — evaluacija sistema i postupaka za osiguranje kvalitete u ponudama AEE, ACL (za nuklearni otok) te AEE, WAC, JGT i MCL (za turbogeneratorski otok, odnosno turbogeneratorski set) (1. faza)

Naručilac: Elektroprojekt, Zagreb

Izvršio: Hrvoje Bezljaj, dipl. inž.
Miroslav Blažičko, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1986.

Radi uspoređivanja ponuda pristiglih na natječaj za isporuku opreme, tehnologije i znanja za NE Prevlaka bilo je potrebno utvrditi pristup, sistem i metode koje ponuđači primjenjuju kako bi osigurali zadovoljavajuću kvalitetu tehnologije, opreme i sistema obuhvaćenih ponudama.

U okviru 1. faze evaluacije uspoređene su navedene ponude s natječajnom dokumentacijom, utvrđena su odstupanja od zahtjeva iz natječajne dokumentacije, komentirane su razlike, te su kao završni dokument 1. faze evaluacije pripremljena pitanja i zahtjevi za objašnjenja stavova iz ponuda, te zahtjevi za eventualno potrebne dopune ponuda. Ova pitanja i zahtjevi bit će upućeni odgovarajućim ponuđačima zajedno s pitanjima koja se odnose na druge discipline.

Ispitivanje i analiza stanja elektrotehničke opreme TE Plo-min (II dio)

Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Suradnici: Josip Mužny, dipl. ing.
Stjepan Zubić, tehn.
Đuro Juretić, tehn.
Damir Sever, tehn.

U 1986. godini provedena su ispitivanja izolacije statora i rotora generatora 150 MVA te izolacije statora motora rashladnih pumpi, kao nastavak već prije započelih aktivnosti analize stanja i permanentne kontrole stanja električne opreme.

Ustanovljeno je zadovoljavajuće stanje izolacije generatora, a za izolaciju motora preporučena je visokonaponska proba naponom $1,5 U_n$, 50 Hz, 1 min.

O okviru ovih aktivnosti izvršeno je mjerenje zaletnih struja na svim 6 kV elektromotorima. Na osnovi rezultata mjerenja i odgovarajuće statističke obrade rezultata dobivene su vrijednosti za podešenje zaštite elektromotora. Pokazalo se da su mjerenja bila nužna; također su istovremeno testirani prekidači 6 kV, za koje se uspostavilo da su vrlo nepouzdati u radu, pa je njihova zamjena neizbježna.

Ispitivanje generatora 194 MVA u TE – TO Novi Sad

Naručilac: Rade Končar, Zagreb

Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Suradnici: Josip Mužny, dipl. ing.
Stjepan Zubić, dipl. ing.
Ivan Konfic, tehn.

U TE – TO Novi Sad obavljeno je kontrolno ispitivanje karakteristika izolacije statora i rotora generatora 194 MVA. Analizom rezultata, usporedbom s ranijim mjerenjima i postojećim tehničkim preporukama te na osnovi vlastitog iskustva ocijenjeno je da je izolacija ovog generatora suha i čista, bez znakova raslojavanja i s niskim intenzitetom parcijalnih izbijanja, kao što je i primjereno novoj i dobroj izolaciji.

Slijedeću kontrolu potrebno je provesti nakon 3 godine ili otprilike 15 000 sati rada.

Ispitivanje električne opreme u TE – TO Zagreb

Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Suradnici: Đuro Juretić, tehn.
Ivan Konfic, tehn.
Damir Sever, tehn.

U TE – TO Zagreb izvršeno je ispitivanje izolacije statora generatora 150 MVA, te izolacije statora na 6 elektromotora nazivnog napona 6 kV. Utvrđena je zadovoljavajuća pogonska pouzdanost izolacije generatora, pa je iduće mjerenje potrebno za oko 3 godine. Na motorima je ustanovljena previsoka vlažnost izolacije, pa je provedeno sušenje i ponovno mjerenje koje je dalo zadovoljavajuće rezultate. Ponovno mjerenje treba provesti za približno 3 godine, kada treba, zbog starosti motora i prema odredbama preporuka JUGEL-a, izvršiti i naponsko ispitivanje naponom $1,5 U_n$, 50 Hz, 60 sek.

Također je naponskim ispitivanjem rezervnih štapova namota generatora utvrđeno njihovo uspješno dotadašnje skladištenje.

Ispitivanje izolacije generatora u HE Salakovac

Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Suradnici: Stjepan Zubić, tehn.
Ivan Konfic, tehn.
Damir Sever, tehn.

U HE Salakovac izvršeno je ispitivanje izolacije statora i rotora na 2 generatora, snage po 75 MVA, kao kontrolno mjerenje karakteristika u garantnom roku i kao početno mjerenje za buduće kontrole stanja.

Utvrđeno je sadašnje zadovoljavajuće stanje. Iduće mjerenje potrebno je provesti za otprilike 3 godine ili 15 000 sati rada.

U elaboratu je također dan prikaz postojećih metoda ispitivanja i stručnim spoznajama kod nas i u svijetu kao sažet podsjetnik pogonskom osoblju za pitanja kontrole izolacije generatora. Ovakva forma elaborata je standardna za slučaj gdje Institut za elektroprivredu prvput vrši mjerenje ili ako to zahtijeva naručilac.

Procjena trajnosti generatora u HE Čakovec (I dio)

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR HE Čakovec, Čakovec

Autori: Dragutin Mihalic, dipl. ing.
dr. Fedor Šprung, dipl. ing.

Suradnici: Josip Mužny, dipl. ing.
Hrvoje Bezlaj, dipl. ing.
Stjepan Zubić, tehn.
Ivan Konfic, tehn.
Đuro Juretić, tehn.
Damir Sever, tehn.

Težnja korisnika za postizanjem bolje spremnosti i trajnosti dovela su do realizacije ovog zadatka. Izvršeno je ispitivanje izolacije statora na obadva generatora u HE Čakovec, i to u toplom i hladnom stanju. Izvršeno je mjerenje ugrijavanja namota generatora u raznim režimima pogona, a također je na jednom štapu statorskog namota provedeno laboratorijsko ispitivanje. Eksperimentalnim i teorijskim istraživanjima utvrđeno je slijedeće:

a) Osobito je ugrožen dio namota statora generatora 1 na nizvodnoj strani neposredno na izlasku štapova iz utora. Grube greške u izolaciji su uklonjene, ali ostaje otvoreno pitanje postojanja manjih lokalnih oštećenja i takvih potencijalnih mjesta.

b) Stanje namota statora generatora 2 nije takvo da se može garantirati pogonska pouzdanost, naročito zbog visokog intenziteta parcijalnih izbijanja.

Razmotreni su i specifični uvjeti pogona te njihov utjecaj na trajnost rada. Zaključeno je na kraju slijedeće: Treba pristupiti naponskom ispitivanju svih faza statorskih namota naponom $1,5 U_n$, 60 sek, 50 Hz i biti spreman izmijeniti sve probijene štapove; očekuje se da njih neće biti mnogo, ali da će ih vjerojatno biti. Tek nakon tako provedene sanacije može se garantirati daljnji siguran rad. Nabava kompletnog rezervnog namota statora također dolazi u obzir za razmatranje.

Rad agregata HE Čakovec na izolirani konzum (I dio)

Autori: mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Suradnici: Radna ekipa sastavljena iz više radnih organizacija: »HE Čakovec«, »Institut za elektroprivredu«, »Rade Končar«, i »Elektra« Čakovec
mr. Dragutin Vojković, dipl. ing. — HE Čakovec
mr. Muharem Mehmedović, dipl. ing. — »Rade Končar« Zagreb

U ovom izvještaju dan je sažeti pregled rezultata mjerenja obavljenih pri pokusu rada HE Čakovec na izolirani konzum. Utvrđeno je slijedeće:

Rad HE Čakovec na izolirani konzum je uvjetno moguć jer treba osigurati dovoljno male skokove snage prilikom uključivanja i isključivanja dijelova lokalne mreže, pri čemu je izuzetno važna veličina dinamičkog udara snage. Za buduća mjerenja potrebno je saznati točne statističke i dinamičke karakteristike potrošača u promatranom konzumu, a mjerenja treba provesti pri različitim početnim stanjima generatora (neopterećeni do opterećeni sa oko 50% snage). U mjerenja uključiti i HE Varaždin te izvesti pokus dizanja EES s HE Varaždin i HE Čakovec zajedno.

Smanjenje struja jednog polnog kratkog spoja u prijenosnim mrežama SR Hrvatske putem uzemljenja zvjezdišta autotransformatora 400/100 (220) i 220/110 kV preko prigušnica

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: dr. Miroslav Jung, dipl. ing.
mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u svibnju 1986.

Za našu mrežu očekivanu godine 1990. ispitana je mogućnost sniženja vrijednosti: ukupnih struja jednog polnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova na sabirnicama 110, 220 i 400 kV u svim postrojenjima, te struja koje podižu potencijal uzemljivača bolesnog postrojenja, kao i struja u tlu koje kod kvarova duž trasa odabranih nadzemnih vodova induciraju napon opasnosti u susjednim osjetljivim objektima, i to, po uzoru na francusku praksu, putem neizravnog uzemljenja zvjezdišta svih autotransformatora u svim čvorištima interkonekcije.

Rezultati ispitivanja pokazuju da se samom ugradnjom navedenih prigušnica i uz inače nepromijenjene uvjete današnjeg načina vođenja pogona mogu kod kvarova u mreži 110 kV, bliskih čvorištima interkonekcije navedene struje osjetno smanjiti (na pr. u TS Tumbri: ukupna struja za 37%, a struja u uzemljivaču čak za 51%). Navedena sniženja, međutim, naglo se smanjuju s udaljenošću kvarova od čvorišta interkonekcije. Postignuti efekti u mreži 220 kV znatno su manji, a u mreži 400 kV, prema očekivanju, zanemarivi.

Preporučeno je iste efekte ispitati u uvjetima sekcioniranog rada mreže 110 kV na širem području velikih gradova.

Opseg: 23 stranice teksta, 23 tablice, 18 crteža.

Proračun konstanti kabela 110 kV i raspodjele početnih struja jednog polnog kratkog spoja na trasi Jarun – EL TO – Centar II – Centar I – Volovčica – TETO

Naručilac: Elektra, Zagreb

Autori: dr. Miroslav Jung, dipl. ing.
mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u siječnju 1986.

Najprije je za direktnu (inverznu) i nultu nadomjesnu mrežu proveden proračun električnih nadomjesnih parametara kabela francuskog proizvođača SILEC, tip SIPRELEC $1 \times 1000 \text{ mm}^2 \text{ Al}$, nazivnog napona 64/110 (123) kV, položnog u trolistu, na dubini 1 200 m, s plaštevima spojnicama uzemljenim, na razmacima 300 do 1 190 m, preko otpora manjih od 1 Ω . Budući da je dobivena vrijednost faktora redukcije električke zaštite kabela previsoka, sa gledišta zaštite dojavnih vodova od napona opasnosti, ispitano je utjecaj kompenzacionog vodiča iz bakra, i to za tri presjeka. Predloženo je da se radi zaštite dojavnih kabela duž cijele trase položi kompenzaciono uže presjeka 185 mm^2 .

U drugom dijelu studije proveden je proračun raspodjele struja jednog polnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova duž cijele trase, i to za zadana uklopna stanja mreže 110 kV u nazivnoj godini 2000.

Rezultati su prikazani tablično i grafički.

Opseg: 22 stranice, 6 tablica, 23 nacrti.

Visokonaponska ispitivanja i mjerenje potencijala uzemljivača nekih TS 30/10 kV u mrežama Resnika i TETO

Naručilac: Elektra, Zagreb

Autori: dr. Miroslav Jung, dipl. ing.
Josip Kučak, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1986.

Prethodna niskonaponska ispitivanja potencijala uzemljivača svih TS 30/10/(0,4) kV na području Resnika i TETO pokazala su da u nekim od navedenih TS treba nakon prijelaza na pogon sa uzemljenjem zvjezdišta mreža 35 kV preko otpornika $U_n = 18 \text{ kV}$, $I_n = 1000 \text{ A}$ očekivati nedozvoljeno visoke potencijale i napone dodira u tim postrojenjima. Stoga je odlučeno u sedam takvih TS naponskih iz kabela mreže, kao i u TS Soblinec, napajanoj preko jednog nadzemnog voda, provesti visokonaponsko ispitivanje.

Rezultati visokonaponskih ispitivanja u šest TS kabela mreže pokazuju višestruko niže vrijednosti od linearne proračunatih vrijednosti na temelju niskonaponskih ispitivanja, dok je u sedmoj (TS Sesevete) izmjeren uopće najviši potencijal uzemljivača od 69,1 V, uz očekivanu vrijednost od 78,8 V. Zaključeno je da opasnih napona u navedenim TS i njihovoj okolini neće biti ako se radno i zaštitno uzemljenje u svim TS povežu, a u TS Sesevete trajanje kvara ograniči na (od prije udešenih) 0,2 sekunde.

U TS Soblinec, međutim, rezultati ispitivanja pokazuju da radno (54,8 V) i zaštitno (219,1 V) uzemljenje treba odvojiti, uz ograničenje trajanja jednog polnog kvara na (od prije udešenih) 0,2 s. U susjednim zgradama (škola i stambene zgrade) izmjereni su naponi dodira i od preko 140 V koji se pojavljuju radi ne-

povezanih kovinskih instalacija u tim zgradama, pa je preporučeno da se navedene instalacije povežu, kako to i propisi nalažu.

Opseg: 15 stranica teksta, 1 tablica, 27 crteža.

Istraživanje mogućnosti i posljedica ograničavanja struja jednopolnog kratkog spoja u mreži »Elektroprenosa«, Zagreb, putem izoliranja zvjezdišta namota pojedinih (auto) transformatora u transformatorskim stanicama gornjeg napona 400, 220 i 110 kV

Naručilac: RO Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autori: dr. Miroslav Jung, dipl. ing.
mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1986.

Za postojeće mreže 400, 220 i 110 kV, na području »Elektroprenosa«, Zagreb, ispitana je mogućnost sniženja vrijednosti: ukupnih struja jednopolnog kratkog spoja, kod neistodobnih kvarova na sabirnicama 110, 220 i 400 kV u svim postrojenjima, kao i struja koje podižu potencijal uzemljivača bolesnog postrojenja, i to putem izravnog uzemljivanja zvjezdišta po pravilu »jedan transformator svakog prijenosnog omjera u svakom postrojenju«, dok su zvjezdišta ostalih transformatora, za razliku od postojećeg stanja, izolirana.

Rezultati ispitivanja pokazuju da bi se u samo 10% svih postrojenja vrijednosti navedenih struja mogle smanjiti za više od 12%, dok bi u 40% svih postrojenja struja kroz uzemljivače porasla do istih 12%. Budući da izoliranje odnosno uzemljivanje zvjezdišta pojedinih transformatorskih namota zahtijeva u pogonu dodatnu brigu i poslove (kod ispada transformatora sa izravno uzemljenim zvjezdištem), zaključeno je da je dosadašnji način izravnog uzemljivanja zvjezdišta namota svih transformatora ipak povoljniji.

Opseg: 9 stranica teksta, 6 tablica, 6 crteža.

Analiza izbora i načina priključaka na elektroprivrednu mrežu, stabilnih postrojenja električne vuče na pruzi Knin – Split i Perković – Šibenik (2. dio: Proračun trolnog kratkog spoja)

Naručilac: SOUR Rade Končar, Zagreb, OOUR Prodaja objekata i postrojenja

Autori: dr. Miroslav Jung, dipl. ing.
mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u kolovozu 1986.

Proveden je proračun udarnih struja i raspodjele ukupnih početnih struja trolnog kratkog spoja, kod neistodobnih kvarova na sabirnicama 110 kV postrojenja elektroenergetske mreže Dalmacije, iz kojih će se godine 1990. napajati elektrovučne podstanice na prugama Knin – Split i Perković – Šibenik. Rezultati su prikazani tablično.

Opseg: 4 stranice teksta, 2 tablice, 1 crtež.

Proračun kratkog spoja u TS 400/110 kV Žerjavinec (Zagreb istok) i raspodjele struje jednopolnog kratkog spoja duž DV 2 x 400 kV Prevlaka – Žerjavinec

Naručilac: RO Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1986.

Svrha razrade je bila proračun trolnog i jednopolnog kratkog spoja u budućoj TS 400/110 kV Žerjavinec, kao i proračun raspodjele trostrukih nultih struja u vodičima i tlu, kod neistodobnih jednopolnih kratkih spojeva duž trase dvosistemske voda DV 2 x 400 kV Žerjavinec – Prevlaka.

Rezultati proračuna u TS 400/110 kV Žerjavinec, uz pretpostavljenu transformaciju 2 x 300 MVA u 1995. godini (NE Prevlaka u pogon!) ukazuju na buduće

velike struje kratkog spoja na 110 kV sabirnicama Žerjavinec, sa $I''_{k3}/I_{k1} = 31,5/32,8$ kA.

Opseg: 25 stranica sa 4 slike, 3 tablice i protokolom računskog stroja.

Proračun konstanta i raspodjele najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja u vodovima 110 kV Vukovar 1 – Vukovar 2 – Nijemci – Šid, za mrežu 1990. god.

Naručilac: Dalekovod, Zagreb, OOUR Inženjering, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u travnju 1986.

Za mrežu SR Hrvatske 1990. godine izvršen je proračun konstanti i raspodjele najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja u vodovima 110 kV Vukovar 1 – Vukovar 2 – Nijemci – Šid, uz pretpostavku da je DV 110 kV Nijemci – Šid otvoren u Šidu.

Opseg: 41 stranica sa 8 slika, 3 tablice i protokolom računskog stroja.

Proračun kratkog spoja na sabirnicama HE Drenje

Naručilac: RO Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1986.

Za mrežu u nazivnoj 1995. godini proveden je proračun najvećeg mogućeg početnog trolnog i jednopolnog kratkog spoja u HE Drenje na Savi kod Ivanje Rijeke, koja je predviđena sa 3 agregata od 12 MVA instalirane prividne snage. Uklapanje u 110 kV mrežu HE Drenje predviđeno je presijecanjem i uvođenjem u istu trojku DV 2 x 110 kV Mraclin – Resnik. Proračuni kratkog spoja u HE Drenje rezultiraju sa $I''_{k3}/I_{k1} = 18,5/14,6$ kA struje najvećeg mogućeg početnog kratkog spoja.

Opseg: 13 stranica sa 1 tablicom.

Proračun raspodjele najvećih mogućih struja početnog kratkog spoja u vodovima 110 kV Bilice – EVP Prim. Vrpolje – EVP Dolac – TS Trogir – EVP Sadine – TS Kaštela – EVP Kaštela za mrežu 1990. godine.

Naručilac: Dalekovod, Zagreb, OOUR Inženjering, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u kolovozu odnosno listopadu 1986.

Proveden je proračun raspodjele najvećih mogućih struja početnog jednopolnog kratkog spoja u vodovima 110 kV Bilice – EVP Prim. Vrpolje – EVP Prim. Dolac – TS Trogir – EVP Sadine – TS Kaštela – EVP Kaštela za sagledivu mrežu za 1990. godinu na području »Elektroprenosa«, Split, nužan za kasnije proračune utjecaja na TT linije u spomenutom području. Potreba za navedenim proračunima je direktno slijedila nakon odluke o izboru napajanja EVP – a na pruzi Knin – Split i Perković – Šibenik.

Opseg: ukupno 65 stranica sa 13 slika, 6 tablica i protokolom računskog stroja.

Proračun raspodjele najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja na vodu 400 kV TS Varaždin – HE Čakovec

Naručilac: RO Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1986.

Proveden je proračun raspodjele najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja na vodu 110 kV TS Varaždin – HE Čakovec za sagledivu mrežu SR Hrvatske 1995. godine, koja pretpostavlja HE Đurđevac u mreži, kao i vezu prema Sloveniji Straža – Rogaška Slatina.

Opseg: 25 stranica sa 4 slike i 2 tablice.

Proračun raspodjele najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja za DV 110 kV Resnik – Dubec – Ksaver, za god. 1985 – 1990.

Naručitelj: RO Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1986.

Proveden je proračun raspodjele najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja za DV 110 kV Resnik – Dubec – Ksaver, za prilike u mreži 1985–90, uz napomenu, da će se prilike kasnije znatno promijeniti izgradnjom TS 400/110 kV Žerjavinec i DV 110 kV Žerjavinec – Dubec.

Opseg: 24 stranice.

Smanjenje faktora međunapajanja u mreži »Elektroprenosa« Zagreb – u uvjetima SDV

Naručilac: RO Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1986.

Poznate su teškoće u radu distantne relejne zaštite u višim stupnjevima u petljusto oblikovanim elektroenergetskim mrežama visokog napona zbog međunapajanja mjesta kratkog spoja, tako da je funkcija rezervne zaštite kod zatajenja u I. stupnju dovedena u pitanje.

Budući da su većina važnijih 110 kV postrojenja u mreži Elektroprenosa Zagreb opremljene sistemom dvostrukih sabirnica, pokušalo se u ovoj razradi istražiti koliko bi povoljno na rad distantne relejne zaštite u rezervnom stupnju, u odnosu na međunapajanja mjesta kvara, utjecalo sekcioniranje mreže razdvajanja sabirnica u 110 kV postrojenjima s maksimalnim međunapajanjem. Odabrana su postrojenja 110 kV u TS Tumbri, Mraclin, TE Sisak, Rakitje i Resnik, uz pretpostavljeno razdvajanje mreže na najviše dvije lokacije.

Rezultati proračuna pokazuju da se sekcioniranjem 110 kV sabirnica postižu rezultati jedino za vodove koji su neposredno priključeni na promatrane sabirnice, kad se već kod sljedećih vodova utjecaj praktički gubi, pa se rastavljanjem mreže na dva mjesta ne mogu postići neki značajniji rezultati u smanjenju međunapajanja za širu mrežu.

Opseg: 21 stranica, sa 3 slike i 3 tablice, protokol računskog stroja.

Poboljšanje selektivnosti distantne zaštite i smanjenje struja kratkog spoja otvaranjem mreže 110 kV na području »Elektroprenosa« Zagreb

Naručilac: RO Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1986.

Studija predstavlja nastavak istraživanja radi smanjenja utjecaja međunapajanja mjesta kvara kod rada distantne relejne zaštite u rezervnom stupnju. Pošto je ispitan utjecaj sekcioniranja mreže u trajnom pogonu rastavljanjem dvostrukih sabirnica u postrojenju 110 kV sa najviše izraženim međunapajanjem, u ovoj se studiji ispitao utjecaj brzog sekcioniranja mreže u trenutku neposredno nakon nastanka kratkog spoja na rad distantne relejne zaštite u rezervnom stupnju u mreži Elektroprenosa Zagreb. Istraživanjem su bila obuhvaćena sva postrojenja sa dvostrukim glavnim sabirnicama gdje je bilo omogućeno brzo sekcioniranje mreže »otvaranjem« spojnog prekidača u određenom postrojenju.

Rezultati provedenih proračuna pokazuju da se brzim sekcioniranjem mreže u trenutku nastanka kratkog spoja može obuhvatiti gotovo cijela mreža Elektroprenosa Zagreb, omogućujući direktno smanjenje faktora međunapajanja u preko 2/3 vodova 110 kV, uz značaj smanjenja faktora međunapajanja upravo kod kvarova na vodovima sa najvećim faktorima međunapajanja. Zaključak se odnosi na prve susjedne releje, dok kod drugih susjednih releja neki veći rezultati nisu dobiveni.

Opseg: 36 stranica sa 19 slika i 19 tablica, protokol računskog stroja.

Definiranje karakteristika opreme VTP s osiguranjem i kontrolom kvalitete opreme i sustava MRA za TE i TO

Autori: mr. Boris Kalan, dipl. ing.
Damir Kopjar, dipl. ing.
mr. Željko Nikolić, dipl. ing.

U studiji su obrađeni propisi, preporuke i standardi koji su vezani na osiguranje i kontrolu kvalitete regulacijskih sustava turbinskog postrojenja i bloka. Također je dan pregled zahtjeva koje treba uklopiti u ugovore za projektiranje, isporuku i kontrolu kvalitete.

Opseg: 137 stranica, 95 slika, 16 tablica.

Konzalting aktivnosti u izgradnji TE Plomin 2

Suradnici: mr. Boris Kalan, dipl. ing.
Hrvoje Bezljaj, dipl. ing.

Konzalting aktivnosti na području MRU opreme odnosile su se na komentar, izradu anketnog lista s obilaskom elektroprivrednih objekata, kao i prijedlog rješenja upravljanja s elektroenergetskim postrojenjem putem računala.

Evaluacija ponuda za NEP sa stanovišta osiguranja kvalitete za MRU opremu

Suradnici: mr. Boris Kalan, dipl. ing.
Dimitrije Avdejev, dipl. ing.

U sklopu I faze evaluacija ponuda za NE Prevlaka sa stanovišta osiguranja kvalitete za MRU opremu izvršena je ocjena ponuda za nuklearni otok i turbogeneratorsko postrojenje i postavljena su pitanja u vezi s neispunjavanjem zahtjeva iz tendera.

QC/QA aktivnosti u remontu '86 NE Krško za I&C opremu

Izvršio: mr. Boris Kalan, dipl. ing.
Dimitrije Avdejev, dipl. ing.

Tijekom remonta NE Krško obavljene su QC/QA aktivnosti za opremu i sisteme mjerenje, regulacije i upravljanja prema radnim nalogima i programu NE Krško. Na kraju je izdana stručna ocjena za kvalitetu remontnih radova.

Klasifikacija I&C opreme za NE Krško

Izvršio: Dimitrije Avdejev, dipl. ing. IE
Stjepan Blažeka, dipl. ing. EIMV

Za potrebe NE Krško izvršena je klasifikacija I&C opreme za sigurnosne sisteme. Izradene su Q-liste za sisteme i komponente na osnovu projektnih podloga i tehničke dokumentacije NE Krško i za njih važeće regulative.

Ispitivanje i analiza pogonskog stanja DV 110 kV Ernestinovo – Vinkovci

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Suradnici: S. Subotić, ing.
T. Veselić, ing.
S. Zubić, tehn.
I. Konfic, tehn.
D. Sever, tehn.

Dalekovod 110 kV Ernestinovo — Vinkovci i Ernestinovo — Osijek 1, dužine 27,14 km sa alučel vodičima 3 x 150/25 mm² i zaštitnim če-užetom, 50 mm², izgrađen je 1962. g. kao DV 110 kV Brčko — Osijek, čija je trasa prolazila pored današnjih TS 110/35 kV Vinkovci i TS 380/110 kV Ernestinovo.

Umjesto projektom predviđenih kapastih porculanskih izolatora K 170/280 i staklenih izolatora KT-120, na obje dionice dalekovoda montirani su porculanski štapni izolatori strane proizvodnje tip VKL 75/12 ugradbene visine 1 110 mm, VKL 75/13, visine 1 200 mm.

Statistika praćenja kvarova u razdoblju od 8,5 godina (1977 – 1986. g.) primorala je naručioca zbog pogonskih i sigurnosnih razloga za okolinu da naruči detaljna ispitivanja. Po kvarovima na prvom mjestu bio je lom štapnih porculanskih izolatora VKL, na 7 stupova ili gotovo jedan godišnje. Mehanički lom štapnog izolatora VKL imao je za posljedicu pad vodiča iznad zemlje, nagaranje konzole stupa, pa i pregaranje zaštitnog užeta.

Analiza stanja dalekovoda izvršena je na temelju ispitivanja na terenu i laboratoriju u sljedećem opsegu:

- mjerenje otpora rasprostiranja uzemljivača stupa,
- ispitivanje faznog vodiča 150/25 mm² Al/Če
- ispitivanje zaštitnog užeta 50 mm² Če
- ispitivanje štapnih izolatora VKL 75/12 i 75/13
- ispitivanje ovjesne i spojne opreme.

Rezultati analize pogonske sigurnosti dali su sljedeće rezultate:

1. Obavezna zamjena štapnih izolatora VKL staklenim izolatorima KT-120 radi pouzdanosti mehaničkog loma svega 71%.
2. Zamjena zaštitnih rogova zbog prevelikog zahvaćanja korozije i novog izolatorskog lanca.
3. Zbog znatne korozije vijaka i matica na ovjesnom priboru zamjena novim.
4. Fazni vodiči 150/25 mm² Al/Č imaju zadovoljavajuća električna svojstva, dok su mehanička na donjoj granici zbog procesa korozije.
5. Zaštitno Če-uže 50 mm², zahvaćeno korozijom ima smanjenu mehaničku čvrstoću, pa je predložena montaža novog užeta.
6. Otpori rasprostiranja uzemljivača stupa zadovoljavaju tehničke propise.

Opseg: 42 stranice, 2 priloga.

Izolatorski lanci 35 kV sa regulacijom iskrišta i staklenim izolatorima KT-120 M

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Završeno u travnju 1986.

Kod prijaleza izolacije izolatorskog lanca od višeg stupnja izolacije na rad s nižim stupnjem izolacije nužno se pojavljuje problem koordinacije izolacije pomoću iskrišta. Izolatorski lanci nazivnog napona 35 kV sastavljeni su od staklenih maglenih kapastih izolatora oznake KT-120 proizvodnje IEP-Arandelovac i ovjesnog materijala s regulacionim iskrištem proizvodnje Dalekovod-Zagreb.

Mjerenja proradnog napona iskrišta u visokonaponskom laboratoriju provedena su na tri izolatorska lanca, sa 3 i 4 izolatora u lancu KT-120 M:

- jednostruki nosni lanac
- jednostruki zatezni lanac
- dvostruki nosni lanac.

Rezultati ispitivanja u laboratoriju dani su u elaboratu tablično i dijagramski u ovisnosti o razmaku šiljaka na iskrištu, posebno za 100%-tni udarni proradni napon standardnog oblika vala 1,2/50 i posebno za preskočni izmjenični napon frekvencije 50 Hz u suhom.

Prema svrsi namjene razlikujemo tri vrste iskrišta:

- zaštitno iskrište sa koeficijentom zaštite ($k = 1,25$)
- iskrište za utvrđivanje stupnja zaštite ($k = 1,00$)
- iskrište za lokalizaciju električnog luka ($k = 1,00$).

Izmjereni eksperimentalni razmaci iskrišta u elaboratu su polazni, koji se za slučaj potrebe u praksi mogu postepeno povećavati, razumljivo u granicama tražene zaštite od atmosferskih prenapona.

Mogućnost podešavanja karakteristike djelovanja prema idealnim prilikama jedna je od prednosti zaštitnog iskrišta.

Opseg: 33 stranice, 3 slike i 10 dijagrama.

Ispitivanje i mjerenje specifičnog električnog otpora tla na lokaciji HE Lešće na Dobri i VES Lučica na Korani

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Suradnici: H. Bezlaj, dipl. ing.
Tomislav Veselić, ing.

Za potrebe projektiranja izvršeno je mjerenje specifičnog otpora tla metodom geoelektričnog sondiranja sa Schlumbergerovim rasporedom mjernih elektroda. Na lokaciji HE Lešće mjerenje je obavljeno na dubini 2 i 5 m, a na lokaciji VES Lučica na dubinama 1 i 4. Mjerne točke ucrtane su na situacionom nacrtu hidroelektrane u mjerilu 1:500.

Karakteristika zemljišta na obje lokacije pokazala je u gornjem sloju dubine do 1 m, zbog sloja humusa, povoljnije specifične otpore tla. S dubinom od 1 m nadalje nestaje humus i tlo prelazi u vapnenaste stijene povećanog specifičnog otpora.

Opseg: elaborat HE Lešće: 19 stranica, 2 priloga, 1 nacrt, elaborat VES Lučica: 21 stranica, 2 priloga, 1 nacrt.

Ispitivanje i mjerenje specifičnog električnog otpora tla na lokaciji HE Podsused i HE Drenje na Savi

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Suradnici: Tomislav Veselić, ing.
Damir Sever, tehn.

Prema idejnom projektu na početnoj dionici toka rijeke Save kroz SR Hrvatsku, predviđene su višenamjenske pribranske elektrane s uzvodno formiranim malim bazenom Podsused i Drenje.

Mjerenje specifičnog električnog otpora tla provedeno je metodom geoelektričnog sondiranja s Wennerovim rasporedom mjernih elektroda.

Na obje lokacije HE Podsused i HE Drenje mjerenje specifičnog otpora tla izvršeno je na sljedećim dubinama:

- zemljište brane 7 i 10 m
- zemljište strojarnice 10 i 15 m.

Rezultati mjerenja prikazani su u tablicama, a svaka mjerna točka sa svojom oznakom ucrtana je i na situacionom nacrtu profila hidroelektrane u mjerilu 1:1 000.

Zemljište neposredno uz obalu Save odlikuje se debelim slojem šljunka, na nekim dijelovima već od površinskog sloja. Vodljivost šljunčanih slojeva ovisi o količini gline i postotka vode (vlage).

Opseg: elaborat HE Podsused: 20 stranica, 2 priloga, 1 nacrt, elaborat HE Drenje: 20 stranica, 2 priloga, 1 nacrt.

Ispitivanja prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom

Naručilac: Elektroprivredne organizacije SRH

Autor: Kolektiv studijske jedinice

Radovi u toku.

Posljednjih nekoliko godina Institut za elektroprivredu se, uz pomoć organizacije SRH, dobro opremio za izvođenje ispitivanja elemenata električnih postrojenja na terenu. Brojna prijenosna ispitna oprema omogućuje izvođenje svih potrebnih ispitivanja za cjelovitu ocjenu stanja električne opreme elektrana, transformatorskih stanica, nadzemnih vodova i kabela. Na taj je način organiziran pokretni visokonaponski laboratorij čiji je osnovi dio prijevozna visokonaponska ispitna stanica. Ona je namijenjena za naponsko ispitivanje komponenti visokonaponske opreme na terenu, i to za ispitivanje izmjeničnim i istosmjernim ispitnim naponom. Izmjeničnim naponom se uglavnom ispituju jednominutni podnosivi naponi opreme i ispravnosti odvodnika prenapona, dok se istosmjernim naponom uglavnom ispituje ispravnost izolacije kabela nakon polaganja. Visine ispitnih napona su takve da stanica omogućava:

- ispitivanje jednominutnih podnosivih izmjeničnih napona opreme do najviših napona opreme 123 kV
- ispitivanje odvodnika prenapona i sekcija odvodnika do nazivnih napona odvodnika, odnosno sekcija, od 110 kV
- ispitivanje izolacije kabela na kabelima nazivnog napona do 110 kV.

Prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom obavljena su u 1986. godini mnogobrojna ispitivanja odvodnika prenapona i izolacijske čvrstoće opreme u elektroprivrednim postrojenjima, pa je potvrđena njezina velika praktična vrijednost.

Razni radovi

Naručilac: Elektroprivredne i druge organizacije

Autor: Kolektiv studijske jedinice

Ispitivanje Uzemljivača

Na nizu trafo-stanica različitih naponskih nivoa obavljena su ispitivanja uzemljivača i kontrolna mjerenja napona dodira i koraka kod očekivanih struja zemljospoja ili jednopolnih kratkih spojeva.

Ispitivanje kabela

Ispitani su kabeli radi određivanja kvalitete i karakterističnih konstanti. Mjerena su svojstva izolacije izmjeničnim, istosmjernim i udarnim naponima, kao i dielektrički gubici. Rezultati mjerenja poslužit će za usporedbu različitih konstrukcija i izvedbi kabela.

Uz ispitivanje u proizvodnji i na novim kabelima obavljena su ispitivanja kabela nakon polaganja.

Značenje takvih ispitivanja je veliko jer se pravodobno mogu otkriti pogreške učinjene prilikom polaganja i izbjeći kasniji prekidi pogona.

Ispitivane su kabelske glave i spojnice. Ispitivanja su obuhvatila naponska ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponima, kao i nepropusnost na mjestima brtvljenja. Također su ispitivane kabelske mase i razna ulja.

Ispitivanje i atestiranje zaštitnih sredstava

Prema propisima JUS-a moraju se gumene rukavice i gumene čizme za električare ispitati svakih šest mjeseci, a ako su neupotrebljive na skladištu, svakih 12 mjeseci. Sva ta zaštitna sredstva koja su zadovoljila atestirana su u visokonaponskom laboratoriju. Također su ispitivane i atestirane izolacijske rasklopne motke za uzemljenje, te izolacijske ploče kod rada u postrojenju pod naponom.

Ispitivanje prototipa opreme i odvodnika prenapona u laboratoriju

Ispitivani su prototipovi neke opreme. Pri tome je bila osobito uspješna suradnja WN laboratorija i proizvođača jer se nije samo formalno upozorilo na nedostatke, nego su se davali i prijedlozi za njihovo otklanjanje sve dok navedena ispitivanja nisu pokazala da proizvod potpuno zadovoljava propise i naznačenu primjenu. Nakon toga toga naručitelj je od Instituta dobio atest za ispitivani proizvod.

Ispitivanje odvodnika prenapona obuhvaća kontrolu izmjeničnog i udarnog proradnog napona.

U skopu ovih ispitivanja obavljena su i dodatna ispitivanja odvodnika prenapona udarnim naponom u laboratoriju, pošto su prethodna terenska ispitivanja tih odvodnika prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom ustanovila sumnjive vrijednosti proradnih izmjeničkih napona.

Uređaj za ispitivanje kabela IPKN– 10

Ispitivanje ovim uređajima obavlja se istosmjernom strujom, što ima prednosti jer je uređaj lakši i pogodniji za pronalaženje eventualne pogreške u kabelu. Za što točnije ustanovljavanje mjesta pogreške potrebno je, naime, da na tom povrijeđenom mjestu bude što manji otpor izolacije, tj. što bolji spoj. To se postiže tzv. propaljivanjem kabela tako da se, pošto je ispitivanjem ili pak za vrijeme pogona ustanovljena pogreška u izolaciji kabela, dovoljno jakim strujom i dovoljno visokim naponom propali kabel dok se na povrijeđenom mjestu ne postigne karbonizirani spoj optimalnog otpora. Nakon toga nije teško odrediti mjesto pogreške bilo kojom poznatom metodom.

Prema tome, uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela napona 10 kV poslije polaganja. On također omogućuje brzo i točno pronalaženje mjesta pogreške u kablama bilo kojom od poznatih metoda, a može se upotrijebiti u granicama svojih karakteristika i u druge svrhe.

Uređaj za ispitivanje kabela IPKN– 1

Ovaj uređaj namijenjen je ispitivanju kabela do 1 kV; u nekim slučajevima njime se mogu propaljivati i kabeli do 10 kV a da prethodno nisu obrađivani visokonaponskim dijelom uređaja IPKN– 10.

Uređaj IR– 2S 50 A

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i udešavanje sekundarnih neusmjerenih nadstrujnih releja i njihovih vremenskih članova. Proizvodi struju od 5, 15 i 50 A, čija se vrijednost može kontinuirano mijenjati. Može se koristiti i kao izvor reguliranog napona od 0– 300 V.

Priključuje se na izmjenični napon 220 V.

Uređaj služi za regulaciju i mjerenje s dodatnim uređajima (IR– 1000 A ili IR– 2000 A):

Uređaj IR– UZ

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i udešavanje sekundarnih usmjerenih nadstrujnih, zemljospojnih i sličnih releja i njihovih vremenskih članova.

Uz dodatak IR– 1000 i IR– 2000 A mogu se obaviti primarna ispitivanja spomenutih releja. Fazni pomak između struje i napona može se grubo mijenjati po 60° induktivno, a unutar grubih stupnjeva kontinuirano, te se na taj način može ustanoviti i osjetljivost releja pri faznim pomacima.

Uređaj se priključuje na trofaznu mrežu 380/220 V.

Uređaj IR– 1000 A i IR– 2000 i više

Ovi uređaji su dodatni uređaji za IR– 2S 50 A i IR– UZ, pa imaju kontinuiranu regulaciju i mjerenje stanja do 1000 A, 2000 A i više.

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

SKLADIŠTE ZA NUKLEARNI OTPAD

U NE Krško još nije riješen problem smješdtaja otpadaka iskorištenog nuklearnog goriva. Prvenstveno je zbog tehnoloških i sigurnosnih razloga zaključeno da je do kraja 1987. godine potrebno izgraditi deponij za otpadno gorivo, iako još nije utvrđena lokacija.

U NE Krško kroz pet godina rada već se nakupilo 1046 kubičnih metara otpadnog goriva koje je pohranjeno u više od 5200 specijalnih sanduka. Iskustvo u svijetu s deponijima za otpadne materijale iz nuklearnih elektrana do sada je pokazalo da je opasnost od tih otpadaka znatno umanjena upravo njihovim stručnim i dobrim trajnim uskladištenjem.

Nedavno je u NE Krško osnovana i projektna grupa zadužena da u toku slijedećih nekoliko mjeseci u 1987 g. pripremi svu dokumentaciju i projekt za gradnju deponija. Određene su i šire lokacije u SR Sloveniji i SR Hrvatskoj. Konačnu odluku o izboru lokacije donijet će elektroprivrede i republički organi Slovenije i Hrvatske.

I. R.

DEVETO SAVJETOVANJE O ENERGIJI

Centar za radničko stvaralaštvo RAST YU Rijeka, Savez energetičara Jugoslavije, Savez pronalazača i autora tehničkih unapređenja Jugoslavije, Udruženje za sunčevu energiju Jugoslavije organizirali su u Opatiji od 27. do 29. svibnja 1987. godine: »Savjetovanje energetičara Jugoslavije«.

Usvajanjem društvenog dogovora o dugoročnom razvoju Energetike Jugoslavije, a u kontinuitetu njegovog ostvarenja, neophodno je neka aktualna pitanja u pojedinim fazama realizacije javno raspraviti.

Organizatori Savjetovanja o energiji u suradnji sa Saveznim komitetom za energetiku preuzeli su taj zadatak s ciljem da se kroz najširu javnu raspravu stručnih i znanstvenih radnika, koji u najneposrednije vezani za probleme energetike, postignu optimalna rješenja u realizaciji neposrednih zadataka predviđenih dogovorom.

Daljnji zadatak Savjetovanja je da se pridonese neposrednoj izmjeni brojnih iskustava za primjenu onih rješenja koja u praksi pružaju uvjete za optimalno korištenje energije. U dosadašnjim skupovima pokazalo se da takvih rješenja ima zaista mnogo.

Savjetovanju su prisustvovali stručnjaci i znanstveni radnici iz elektroprivrede, proizvodnje nafte i plina, rafinerije, naučnih instituta, proizvodnje energetske opreme, i drugih privrednih organizacija korisnika energetike u praktičnoj upotrebi.

U stručnom dijelu Savjetovanja podneseno je 59 referata podijeljenih na tri tematska područja.

U referatima je obrađena problematika svih vrsta energetskih resursa u svijetu i Jugoslaviji, mogućnost korištenja energije, racionalizacija u potrošnji energije, razvoj energetike i zaštita čovjekove okoline i dr. Na osnovi iznesenih referata i vođene diskusije doneseni su odgovarajući zaključci. Sadržaj svih referata u cjelosti su prikazane u posebno tiskanom Zborniku.

I. R.

SR HRVATSKA

REZULTATI ISTRAŽIVANJA UGLJENA

Program istraživanja ugljena u SR Hrvatskoj provodi se kontinuirano od 1976. godine, utvrđena su nalazišta ugljena na više lokacija, od kojih je većina i ranije bila poznata. U većini tih nalazišta ima vrlo male rezerve tako da je za njihovu eksploataciju teško dokazati ekonomsku opravdanost. U SR Hrvatskoj utvrđena su tri nalazišta na kojima je moguća i izgradnja termoelektrana snage 100 MW ili više i to:

- Istarski ugljenokopi Raša,
- Poljanica — Sušobreg (u blizini Konjščine) i
- Mursko Središte.

Na lokaciji istarskih ugljenokopa energetska osnova za izgradnju termoelektrana su rezerve u jamama Ripenda, Tupljak i Koromačno. Na utvrđenim rezervama jama Ripenda i Tupljak planirana je izgradnja TE Plomin 2. Prema najnovijim istražnim nalazima, rudnici u Labinu ne mogu proizvodnjom ugljena podmiriti planirane potrebe TE Plomin 1 i buduće Te Plomin 2., zbog niske proizvodnje ugljena u jami Ripenda. U jami Ripenda utvrđena je izrazita složenost geoloških uvjeta tako da su rezerve znatno smanjene što znatno umanjuje i dinamiku proizvodnje ugljena. Po prijašnjim predviđanjima istarski ugljenokopi bi za obje termoelektrane unaprijed trebali dati 400 tisuća tona, a ostalo jama Tupljak. Tako je planirano, ali se u stvarnosti pokazalo da je situacija sasvim suprotna.

Jama Tupljak bi mogla proizvesti oko 325 tisuća tona ugljena, uz vrlo visoke troškove proizvodnje, a Ripenda oko 100 tisuća tona. No da bi se zadovoljile potrebe postojeće i buduće plominske termoelektrane trebalo bi ispitati stvarne mogućnosti lokacije Koromačno.

Eksploatabilnost jame Koromačno još nije dokazana i vjeruje se da će stanje biti poznato izgradnjom rudarskog iskopa koji bi trebao biti završen do 1988. godine. Ranijim istraživanjima utvrđeno je da na lokaciji Koromačno ima bogatih naslaga ugljena, ali zbog loših hidroloških uvjeta (uza samu morsku obalu i ispod razine mora) treba točno utvrditi način iskorištavanja.

Ležište Poljanica — Sušobreg raspolaže s $37 \cdot 10^6$ tona priznatih rezervi od kojih se s $24,3 \cdot 10^6$ tona računa kao s bilančnim. Na toj lokaciji moguća je godišnja proizvodnja od oko $500 \cdot 10^3$ tona površinskom eksploatacijom i oko $350 \cdot 10^3$ tona podzemnom eksploatacijom, to je ukupno $850 \cdot 10^3$ tona godišnje. Takva proizvodnja omogućava izgradnju termoelektrane snage 100 — 110 MW.

U Murskom Središću rezerve mrkog ugljena koje otpadaju na SR Hrvatsku iznose oko $35 \cdot 10^6$ tona i na temelju tih rezervi mogla bi se organizirati proizvodnja od oko $500 \cdot 10^3$ tona godišnje. Ako se dokaže ekonomičnost takve eksploatacije omogućila bi se izgradnja termoelektrane snage oko 100 MW.

I. R.

PLAN IZGRADNJE DV 110 kV KRK — RAB

Petogodišnjim planom 1986-1990. godine za izgradnju elektroenergetskih objekata u SR Hrvatskoj predviđena je i

gradnja dalekovoda i kabela otok Krk — otok Rab. Skupština SIZ-a potrošača električne energije i Zajednica elektroprirodnih organizacije Hrvatske prihvatila je investicioni program izgradnje ovog prijenosnog ovjekta.

Glavni investitori RO »Elektroprivreda« Rijeka OOUR »Elektroprenos« Opatija s danskom tvrtkom »Standard Telefon og Kabelfabrik« Oslo ugovorili su isporuku podmorskog kabela. Ova tvrtka je već i ranije isporučila podmorske kabele za našu prijenosnu mrežu napona 110 kV.

Za izgradnju i nabavu opreme dalekovoda i kabela prema cijenama krajem 1986. godine investirat će se oko 4.710 milijuna dinara. Od toga iznosa za nabavu inozmene opreme utrošit će se oko 2.600 milijuna dinara. Polaganje podmorskog kabela predviđeno je u rujnu a u listopadu ove godine kabel bi trebao biti u pogonu.

U planu izgradnje elektroenergetskih objekata 1987. godine osigurana su sredstva za izgradnju ovog prijenosnog objekta.

S obzirom da na Rabu nema transformatorske stanice 110 kV kabel će u prvoj etapi biti pod naponom 35 kV priključen na distributivnu mrežu.

I. R.

LOKACIJA ZA NUKLEARKU TANJA

Nacrtom prostornog plana SR Hrvatske planirana je i gradnja nuklearne elektrane Tanja, kod Dalja (istočna Slavonija). Za ostvarenje energetske potrebe Jugoslavije na temelju dosadašnjih razmatranja, osim Prevlake, izdvojeno je još pet potencijalnih lokacija za daljnja istraživanja. To su Tanja-Dunav, Županja, otok Vir, Grba na otoku Pagu i Rogoznica.

Za sve nuklearne objekte lokacije se izabiru na temelju energetske analiza, analiza konkretnih uvjeta na lokaciji i analiza o mogućem utjecaju elektrane na okolinu.

Za lokaciju Tanja konkretno su obavljena geološka i geofizička, seizmološka i geotektonska, hidrološka, meteorološka, demografska i neka druga istraživanja. Većina ih je provedena na temelju postojeće dokumentacije, a manji broj je izveden na samoj lokaciji. Tek na temelju rezultata istraživanja moći će se raspravljati i odlučivati da li je lokacija Tanja prikladna za gradnju nuklearne elektrane.

Zajednica elektroprirodnih organizacija Hrvatske planira da u ovoj godini dovrši dokumentaciju o istraživanjima lokacije i ona će biti podloga za stručne i javne rasprave. Za radove na istraživanju lokacije Tanja u 1987. godini ZEOH je osigurao ulaganja u iznosu 100 milijuna dinara.

I. R.

PROIZVODNJA VELIKIH TURBINA

Planom razvoja SOUR »Jugoturbina« Karlovac zacrtana je proizvodnja turbina velikih jedinčnih snaga za potrebe jugoslavenske elektropriivrede. Zajedno s turbinama proizvodit će se i najkompliciranije crpke koje su sastavni dio turbinskog postrojenja. Da bi se zacrtani program ostvario potrebno je bilo izgraditi novu tvornicu koju su zajednički gradili »Jugoturbina« i elektropriivrede Hrvatske i Srbije.

Proizvodnja velikih turbina u novoj tvornici projektirana je po tehnologiji švicarske tvrtke Brown — Boveri (BBC). Suvremena oprema već je montirana u novoj tvornici. Strojevi su opremljeni kompjutorskim uređajima — sistemima CAD

i CAM-te njihove međusobne interakcije i primjene u samom procesu proizvodnje. Korištenje visoke tehnologije s izuzetno skupim strojevima traži sasvim novi pristup organizaciji rada i u projektiranju tehnoloških procesa, te u organizaciji rada svih službi.

Redovna proizvodnja u novoj tvornici počeo će u drugom polugodištu 1987. godine. Ugovorena je gradnja dviju turbina za potrebe termoelektrane »Kolubara B«, 2x350 MW i jedne za buduću TE »Plomin 2«.

Za sada je izgrađena samo prva faza tvornice koja će moći godišnje proizvoditi ukupno 800 do 1000 megavati. Izgradnjom druge faze koja bi trebala biti izgrađena do 2000 godine omogućit će se godišnja proizvodnja i do 5000 megavati.

S obzirom na tako veliku proizvodnju kolektiv »Jugoturbina« morat će stranim kupcima ponuditi opremu iz svog proizvodnog programa.

Stručne službe RO »Jugoturbina« intenzivno obrađuju inozemno tržište sami ili u suradnji s drugim partnerima. Zajedničkom suradnjom s poslovnom zajednicom INGRA Zagreb ponudena je turbinska oprema za energetske objekte u Americi. Sa švicarskom tvrtkom BBC ugovoreno je nekoliko zajedničkih poslova za kupce Alžira, Australije, Danske i Irana. U tim zemljama u toku su pripreme za gradnju termo i nuklearnih elektrana.

I. R.

AKUMULACIJA I HIDROELEKTRANA RIČICA

U svrhu višenamjenskog uređenja vodotoka sliva Trebižat, prvenstveno radi obrane od poplave i navodnjavanja Imotsko-Bekijskog polja izgrađena je akumulacija Ričica. Između akumulacije i Imotsko-Bekijskog polja gdje se koristi voda iz akumulacije formira se pad reda 100 metara. Investitori akumulacije Ričica vodopriivrede SR Hrvatske i SR Bosne i Hercegovine smatraju da postoji mogućnost energetske iskoristištenja ovog hidropotencijala za gradnju HE Ričica.

Usvojen je prijedlog o izgradnji elektrane, a Elektroprivreda Dalmacije Split preuzela je poslove oko izrade projektne dokumentacije. Pristupljeno je temeljitom proučavanju u svrhu iznalaženja optimalnih rješenja izgradnje hidroelektrane. Odražan je veći broj stručnih konzultacija s predstavnicima vodopriivrede, projektantima i isporučiocima glavne opreme.

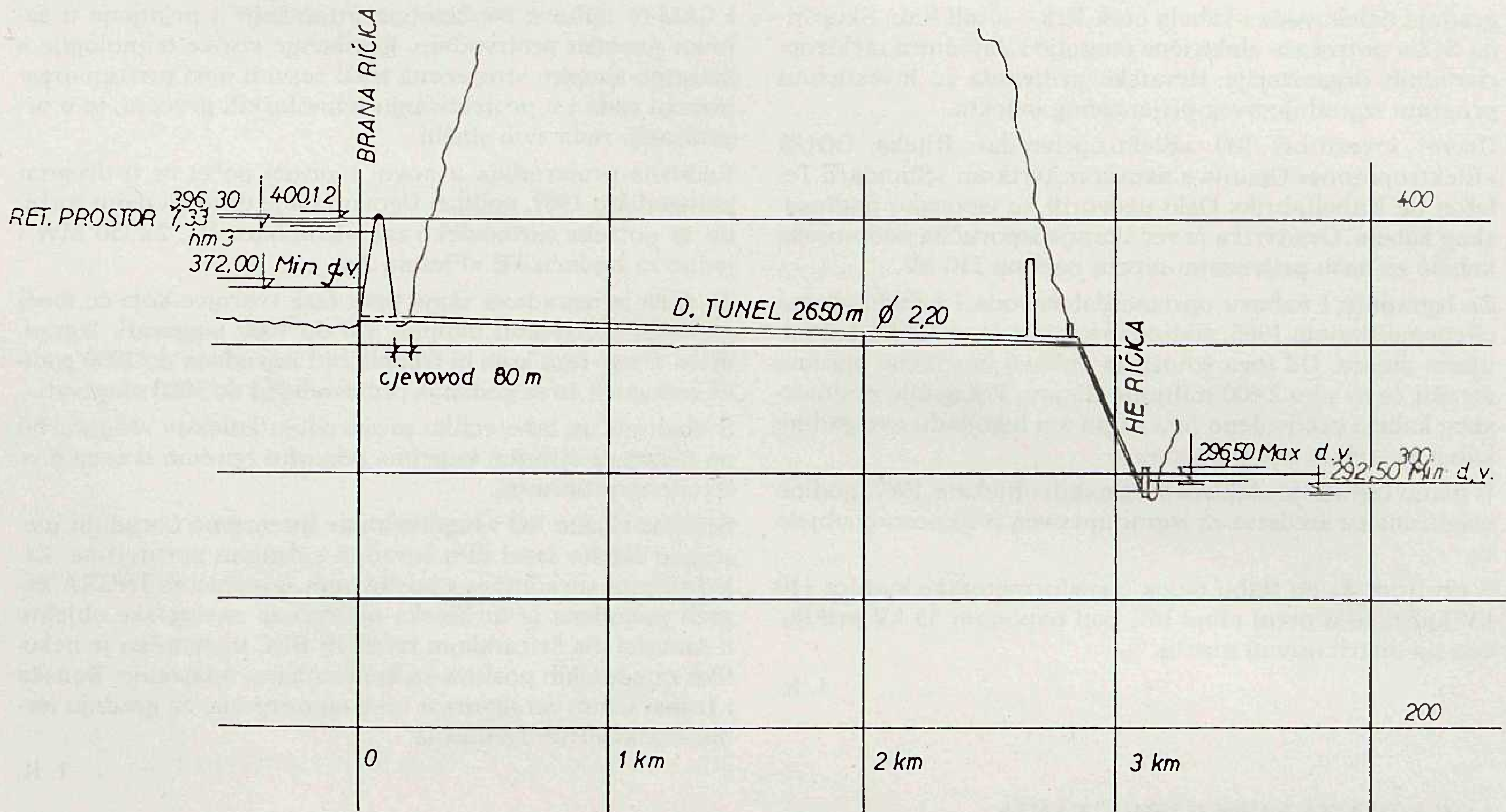
Prema projektnoj dokumentaciji obrađene su dvije varijante izgradnje hidroelektrane i to derivacionog i priborskog tipa.

Osnovni podaci HE Ričica prema idejnom rješenju su sljedeći:

	Derivacioni tip	Priborski tip
— Instalirani protok	7,4 m ³ /sek	7,0 m ³ /sek
— Maksimalna snaga	5,9 MW	2,2 MW
— Volumen bazena	0,5 hm ³	0,5 hm ³
— Bruto pad	100,0 m	39 m
— Moguća proizvodnja u prosječnoj godini	8,9 GWh	3,5 GWh

U aktivnostima koje su uslijedile na ovom objektu, a nakon uspoređivanja dvaju tipova idejnih rješenja došlo je do zaključka da je povoljnije rješenje izgradnja derivacionog tipa hidroelektrane na akumulaciji Ričica.

Za ubrzanu izgradnju HE Ričica postoji velik interes vodopriivrede i društveno-političkih zajednica da učestvuju u sufi-



HE »Ričica« — uzdužni profil projektiranih objekata

nanciranju projektiranja i izgradnje hidroelektrane. U tom smislu verificiran je projektni zadatak i utvrđen program istražnih radova na razradi glavnih projekata. Vodoprivreda i elektroprivreda Hrvatske do sredine ove godine definitivno će utvrditi sve tehničke detalje u vezi s izgradnjom HE Ričica. Za izradu glavne dokumentacije i projekata potrebno je oko godinu dana.

I. R.

ELEKTRA KARLOVAC — INVESTICIJE U 1987.

Radnički savjet »Elektre« Karlovac usvojio je Plan izgradnje elektroenergetskih objekata i rekonstrukcija u 1987. godini za čiju će se realizaciju utrošiti oko dvije milijarde i 260 milijuna dinara. Najznačajniji objekt je nastavak gradnje TS 110/10 (20) kV Dubovec koja se gradi zajedno sa Elektroprivredom Zagreb.

Ovaj prijenosni objekt krajem ove godine ide u pogon. Također će se u pogon pustiti i TS 35/10 kV Jasenak za čiju izgradnju potrebna sredstva osigurava investitor i SIZ potrošača električne energije Hrvatske. Novosagrađena TS 35/10 kV Jasenak opskrbljavat će električnom energijom Planinarsko-sportsko rekreacioni centar Bjelasica koji je u izgradnji.

Velika i značajna investicijska sredstva uložiti će se u izgradnju niza elektroenergetskih objekata koji će potrošačima osigurati još kvalitetniju i sigurniju opskrbu električnom energijom.

Dobar dio sredstava uložiti će se za izgradnju 23 km dalekovaoda 10(20) kV, 31 trafostanica i 8 km novih niskonaponskih mreža.

Iznos od 226 milijuna dinara koristit će se za izgradnju elektroenergetskih objekata na području nerazvijenih općina karlovačke regije a to su područja općina Jastrebarsko, Ozalj, Slunj, Vojnić i dr.

Osigurana su sredstva za nabavu elektroničkog računala i druge uređaje, oko 82 milijuna i 28 milijuna dinara za sredstva veze.

I. R.

ULAGANJA U REKONSTRUKCIJE POSTROJENJA

Utvrđen je Plan rekonstrukcija i modernizacija objekata u 1987. godini na području Elektroprivrede Dalmacija Split. Ukupno će se investirati za realizaciju toga plana 405,8 milijuna dinara. Najveći dio ulaganja koristit će HE Zakučac u iznosu od 192 milijuna dinara. Ta sredstva raspoređena su za slijedeće zahvate:

Rekonstrukcija 110 kV sklopki, rekonstrukcija 220 kV rastavljača, rekonstrukcija instalacije komprimiranog zraka, rekonstrukcija ozračavanja zasunske komore, zatim pričvršćenje energetskog kabela 110 kV, završetak rekonstrukcije turbinskog regulatora 1 i 2, zamjena telefonskog kabela kroz dovodni tunel, zamjena katodnih odvodnika G-1 110 kV nabava opreme za automatsko praćenje nivoa vode u vodnoj komori, zamjena strujnih transformatora za G-4 i G-3 i druge manje nepredviđene zamjene.

Ostali dio ulaganja raspoređen je na slijedeće proizvodne jedinice:

HE Kraljevac 6,5 milijuna dinara, HE Orlovac 47 milijuna, HE Peruča također 47 milijuna, HE na Krki i Zrmanji koristit će 30,5 milijuna i RHE Obrovac 82,8 milijuna dinara.

I. R.

OPREMA ZA HE ĐERDAP II

Od osam agregata u jugoslavenskom dijelu hidroelektrane »Đerdap II«, četiri isporučuje zagrebački »Rade Končar«.

Generatore, snage 27.000 kVA, naš proizvođač radi po licenci sovjetske tvrtke »Elektrosila«, koja je isporučila ostala četiri generatora. Do sada su već dovršena i instalirana na energetski sistem dva generatora proizvedena u tvornici »Rade Končar« treći se priključuje a četvrti će se isporučiti u trećem kvartalu ove godine.

Za hidroelektranu »Đerdap II« tvornica »Rade Končar« će uz generatore za svih osam agregata s jugoslavenske strane, isporučiti i komadne ormare, tiristorsku uzbudu i zaštitu te termokontrolu.

I. R.

RE DRMNO U POGONU KRAJEM 1987.

Prema dinamici radova prva faza izgradnje termoelektrane i rudnika Drmno bit će u pogonu krajem 1987. godine. Financijska ulaganja za izgradnju ovih objekata iznose oko 66 milijardi dinara, a investicije su osigurali Zdržena elektroprivreda Srbije i Elektrovojvodina Novi Sad.

Puštanjem u rad prvog bloka TE Drmno, instalirane snage 350 MW, znatno će utjecati na poboljšanje konzuma potrošača električne energije na području SAP Vojvodine. Planom je predviđeno da izgradnja druge faze termoelektrane bude završena u četvrtom kvartalu 1988. godine.

Opskrba potrošača električne energije u Vojvodini iz TE Drmno ostvarit će se preko dalekovoda 400 kV Drmno — TS Pančevo, dužine oko 50 km. Radovi na gradnji dalekovoda su u toku i bit će završeni do ulaska u pogon TE Drmno.

Polazna točka DV 400 kV Drmno — Pančevo je razvodno postrojenje 400 kV u samoj elektrani. Po izlazu iz postrojenja trasa dalekovoda ide u smjeru TS 400/220/110 kV Pančevo 2. Za izgradnju tog prijenosnog objekta planirane su investicije u iznosu oko 2.500 milijuna dinara.

Sredstva su osigurana kreditima interne banke Elektroprivrede Vojvodine, koja su namijenjena na osnovi Zakona obaveznog udruživanja dijela sredstava društvene reprodukcije radi učešća u financiranju izgradnje objekata proizvodnje i prijenosa električne energije.

I. R.

ŠIROM SVIJETA

PRIKAZ KOORDINACIJE IZOLACIJE NA TERCIJARU AUTOTRANSFORMATORA 400/150/30 kV U SUPERPONIRANOJ MREŽI GRČKE

1. U superponiranoj mreži 400 kV Grčke prigušnice nisu neposredno priključene na visokonaponske vodove, već su spojene putem tercijara autotransformatora. Takvo rješenje je ekonomičnije jer je dozvoljen manji stupanj izolacije prigušnice i odgovarajućeg prekidača i komutacije prigušnice vrše se na nižem naponu. Osim toga, iskorišten je tercijar autotransformatora za napajanje vlastite potrošne transformatorske stanice.

Do 1974. godine bilo je u Grčkoj priključeno na superponiranu mrežu 400 kV pet transformatorskih stanica s identičnom shemom kojom se predviđa priključenje prigušnice na strani tercijara autotransformatora 30 kV.

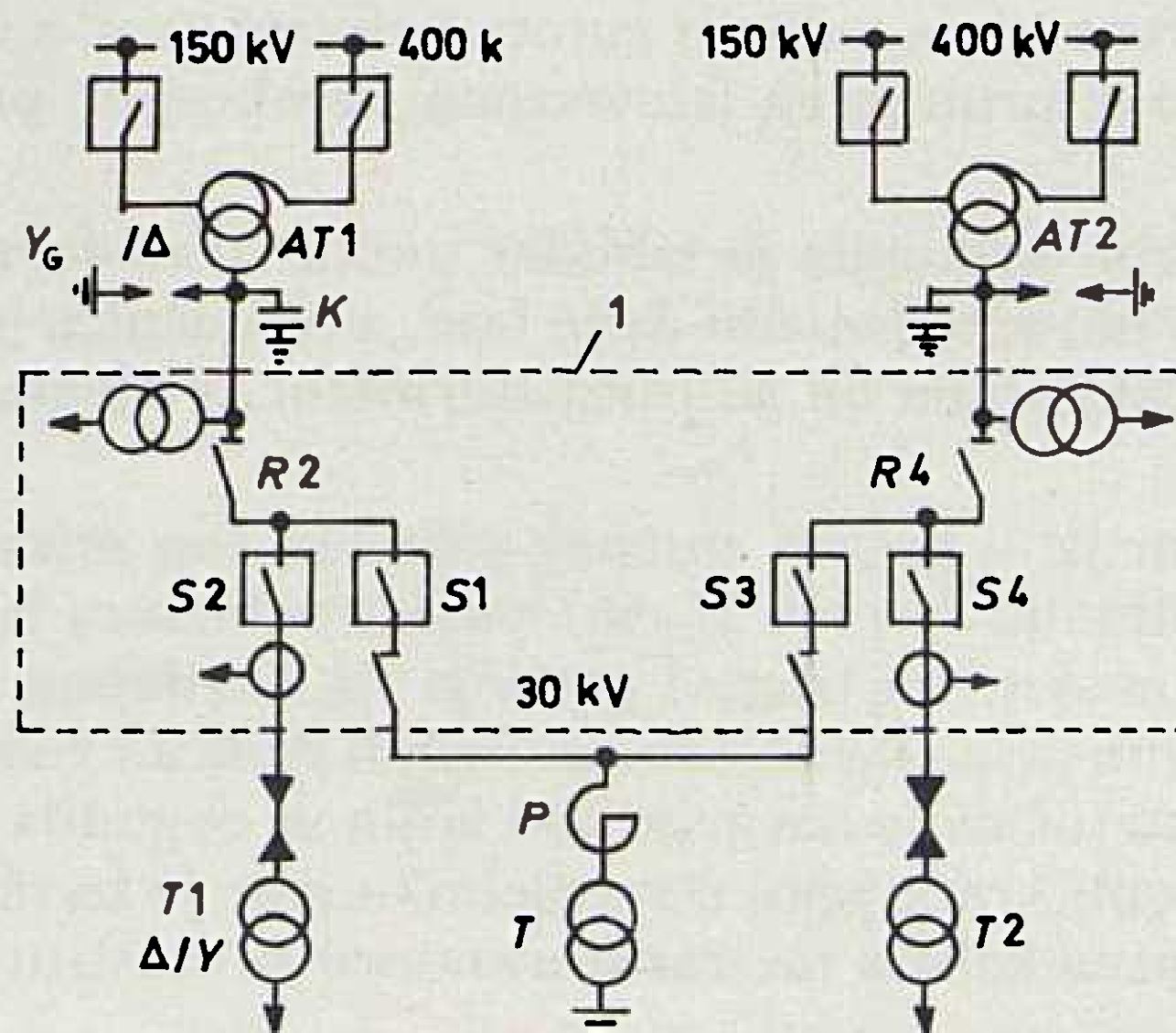
Na svim transformatorskim stanicama 400/150/30 kV dogodio se proboj izolacije među fazama na strani tercijara a, koji je nastao kako unutar, tako izvan autotransformatora pri različitim atmosferskim prilikama i raznim komutacijama.

U daljnjem tekstu promatramo slučajeve nastanka navedenih proboja izolacije, preduzete mjere da se te pojave izbjegnu na promatranim transformatorskim stanicama i odgovarajuće promjene u jednopolnim shemama za buduće transformatorske stanice 400/150/30 kV.

2. Jednopolna shema TS 400/150/30 kV i podaci o ugrađenoj opremi

Kako je vidljivo iz slike 1, jednopolnom shemom transformatorske stanice predviđena je jedna prigušnica za dva autotransformatora, pri čemu je bilo predviđeno potrebno blokiranje da se ne uključe prigušnice istovremeno na oba

transformatora. Autotransformatori AT1 i AT2 snage 250/250/60 MVA s prijenosnim nominalnim naponima 400/ $\sqrt{3}$, 157, 5 $\sqrt{3}$ /30 kV, a transformator ima peterostupnu magnetsku jezgru s naponima kratkog spoja: VN — SN 17,5% SN — NN 24% i VN — NN 46% (svedeno na snagu 250 MVA). Ispitni napon tercijara autotransformatora i ostale opreme na naponu 30 kV bio je: impulsni napon 170 kV, napon industrijske frekvencije 70 kV. Prigušnica (P) snage 50 MVAR ima nultočku uzemljenu preko naponskog transformatora s velikim otporom. Mreža 30 kV ima izolirano zvjezdište. Za stabilizaciju potencijala mreže na vrhovima trokuta namota tercijara autotransformatora priključeni su kondenzatori (K) kapaciteta 1 mikrofarada po fazi (na jednoj od transformatorskih stanica 400/150/30 kV — 0,5 mikrofa-



1-oprema unutrašnje montaže; AT1, AT2-autotransf.; P-prigušnica; T1, T2-tr. vl. potrošnje; S1, S4-prekidači

Slika 1.

rada). Primjena kondenzatora tako velikog kapaciteta ne dozvoljava brzu promjenu napona i prema tome ne dopušta vrlo kruti povrat svih napona kod komutacije, a zatim osigurava zaštitu opreme na strani 30 kV od udaraca prijelaznih napona sa strane 400 kV ili 150 kV autotransformatora.

Na priključcima tercijara autotransformatora postavljena su iskrišta s razmakom elektroda 22 cm. Nikakva druga zaštita od prenapona kao iskrišta ili ventilni odvodnici na strani 30 kV nisu bili predviđeni. Snaga kratkog spoja na strani 30 kV je 1 000 MVA. Sabirnice 30 kV izvedene su kao krute, postavljene na potporne izolatore. Naponski transformatori su induktivni s namotima VN spojenima u zvijezdu, s uzemljenim zvjezdištem, s dva sekundara spojena u otvorenom trokutu za kontrolu naponske nesimetrije.

Transformatori za vlastitu potrošnju T1 i T2 s prjenosnim odnosom 30/6.6 kV priključeni su putem jednožilnih kabela malih dužina (od 50 do 100 m) s kapacitetom 0,31 mikrofarada/km. Uključenje prigušnice provodi se pomoću maloljnih prekidača S1 i S3 koji imaju rasklopnu snagu 1 000 MVA s opružnim pogonom. Obično su komutacije vršene dvaput dnevno: u jutro isključenje prigušnice a na večer uključanje prigušnice.

Probe takvih komutacija mogu se smatrati uspjelima (kako je opisano niže) ako se na 1 000 komutacija ne pojavi više od tri proboja.

3. Slučaj proboja izolacije

Prvi kvar kod redovnog isključenja prigušnice bio je eksplozija prekidača. Poslije je ustanovljeno da je sva oprema teško oštećena zbog nastalog kratkog spoja izazvanog eksplozijom prekidača.

Havarija je nastala izvan prekidača jer lučne komore prekidača nisu bile havarirane.

Druga havarija prouzrokovala je potpuno uništenje prekidača S2 (sl. 1) i završnih kablskih spojnika koje su bile spojene s tim prekidačem. U momentu kvara prigušnica je bila priključena na autotransformator AT2, a ne AT1 na strani na kojoj je nastao kvar. Pronađeni su istovremeni zemljospojevi na strani 150 kV na obližnjim dalekovodima i transformatorskim stanicama.

Treća havarija dogodila se na istoj transformatorskoj stanici kao i druga, kada prekidač S2 nije bio uključen, a rastavljač R2 bio je isključen. Visok napon prouzrokovao je razaranje rastavljača R2. Vrijeme je bilo ružno, popraćeno munjama. Na susjednim dalekovodima konstatirano je APU.

Četvrta havarija — spoj između izvoda nižega napona svih faza unutar transformatora. Kod te havarije prigušnica nije bila uključena ni na jednom autotransformatoru, a u mreži 150 kV bio je primijećen istovremeni zemljospoj, proradio je APU.

Peta havarija nastupila je također unutar transformatora, no sada je bio spoj između dvije faze, a prigušnica je bila u početku priključena na autotransformator. Vrijeme je bilo lijepo.

Šesta havarija — proboj zračnog razmaka (na mjestu gdje je bio minimalni razmak 27 cm) između sabirnica na strani 30 kV. Pronađeni su tragovi proboja na iskrištima koja su bila nedavno postavljena između faznih vodiča i zemlje. Zabilježene su još dvije havarije kod kojih se dogodila eksplozija i tropolni kratki spoj u razdjelniku gdje je izvršen spoj tri jednofazna kabela na transformatoru za vlastitu potrošnju.

Moramo naglasiti da se u svim slučajevima pojavio spoj između faza, a ne zemljospoj. Gotovo sve slučajeve havarije možemo vremenski povezati s kvarovima na stranama 150, 400 kV ili s komutacijama prigušnice. U većini slučajeva

kvarovi su praćeni proradom relaja nesimetrije napona (nulta komponenta) na strani 30 kV. Međutim, takve prorade releja događale su se vrlo često i ranije, kod normalnih uključenja ili isključenja prigušnice. Napokon, u većini slučajeva kada su se havarije događale prigušnica nije bila uopće uključena.

4. Vjerojatnost uzroka havarija

4.1. Atmosferski prenaponi

Iako, su se neke od havarija dogodile za vrijeme grmljavine, mogućnost njihovih povezivanja s prolaznim impulsima munja na strani 400 kV i 150 kV malo su vjerojatni, zbog postojanja kondenzatora na strani srednjeg napona autotransformatora. Osim toga, atmosferski prenaponi nastaju između faza i zemlje, a proboji su nastajali između faza, a kod nekih slučajeva munja uopće nije bilo.

4.2. Komutacioni prenaponi

Pretpostavka da su havarije nastale od prenapona od povratnih proboja kod isključenja prigušnice nije opravdano budući da u većini slučajeva isključenja prigušnice nije ni bilo, nekoliko tisuća isključenja prigušnice (ne manje od dvaput dnevno na svakoj podstanici) prošlo je uspješno; ugrađeni kondenzatori velikog kapaciteta isključuju mogućnost velikih strmina povratnih napona kod komutacije.

Prenaponi izazvani komutacijama na strani 400 i 150 kV nisu mogli prijeći izdržljivost napona opreme na strani 30 kV. Na primjer, komutacioni prenaponi s faktorom 3 preračunato na tercijar prema koeficijentu transformacije iznosi $3 \cdot 30\sqrt{2} = 127,3$ kV, što može biti opasno za opremu na naponu 400 kV (koju obično kontroliramo na komutacione prenapone uzimajući faktor 2,7), no nije opasno za opremu na naponu 30 kV, što kao sigurnost od komutacionih prenapona ocjenjujemo kao $0,83 \cdot 170 = 141$ kV.

4.3. Prenaponi industrijske frekvencije

Simetrični trofazni sustav može postati nesimetričan kod jednopolnih i dvopolnih spojeva ili kod asinhronog uključanja svih polova prekidača. Pritom se mogu pojaviti i egzistirati dosta dugo prenaponi industrijske frekvencije s faktorom ne većim od 1,5. Oni obično nisu opasni za mrežu tako niskog napona (30 kV) ako ne izazovu rezonantne pojave i (ili) više složene nelinearne procese ferorezonancije.

4.4. Rezonantni procesi

Kapaciteti na tercijaru autotransformatora i induktivni otpor rasipanja X_{VN-NN} obrazuju linearni rezonantni krug. Vlastita frekvencija toga kruga, određena eksperimentalno prema frekvenciji njihanja kod nabijanja kondenzatora za slučaj kratkog spoja autotransformatora i računata za $X_{VN-NN} = 46\%$ i kapaciteta 1 mikrofarad, iznosi oko 2 050 Hz.

Kvaliteta rezonantnog kruga ocijenjena je eksperimentalno i ne prelazi 30. Prema tome slijedi; da bi se na kondenzatoru pojavio napon 70 kV, nužan je izvor rezonantne frekvencije napona 2,3 kV. Mogućnost pojave takvog izvora s frekvencijom oko 2 kHz sumnjiva je i nastajanje značajnih prenapona nastalim linearnom rezonancijom malo je vjerojatno.

Najvjerojatniji nastanak havarija u mreži 30 kV uzrokovani su pojavom ferorezonancije, prouzrokovane prisutnošću zasićenog magnetnog kruga autotransformatora i (ili) naponskog transformatora.

Na osnovi analiza publiciranih u literaturi [1-7], pokusa autora, i istraživanja ovih pojava pomoću elektroničkih računala, možemo dati ocjenu sljedećih općih karakteristika ferorezonancije. Ferorezonanciju karakterizira jedan od sljedećih faktora: visoki prenaponi između faza i (ili) prema zemlji, iskrivljenim oblikom struje s povećanim maksimalnim veličinama koje mogu prouzrokovati izgaranje namota transformatora, čak u režimu praznoga hoda, povišenim šumom i vibracijom transformatora i prigušnice zbog magnetostrikcije kod visokih vrijednosti indukcije.

Mali teret ili njegova potpuna odsutnost baš utječe na pojavu ferorezonancije. Nastajanje ferorezonancije vjerojatnije je u mreži s izoliranim zvjezdištem nego u mreži s uzemljenim zvjezdištem [L. 1]. Transformatori napona s izoliranim zvjezdištem, a sekundarni namot spojen u otvorenom trokutu, pogoduje osobito pojavi ferorezonancije. Nagle promjene napona u mreži (naprimjer kod isključenja prigušnice) mogu pogodovati nastajanju ferorezonancije. Tome još pogoduje prisutnost povećanja kapaciteta između faza i prema zemlji.

Pokusi i računi izvedeni na elektroničkom računalu pokazuju da nenormalni uvjeti obično nastaju pri uključanju sa strujnim udarcima, kod nastojanja i kasnijeg nestajanja jednopolnog kratkog spoja i spoja sa zemljom ili kod naglog porasta napona izvora. Računanjem na elektroničkom računalu dobivena je maksimalna veličina prenapona 140 kV. Usporedimo li tu veličinu s ispitnim naponom opreme u mreži 30 kV, možemo objasniti promatrane malobrojne slučajne havarije.

Uzrokom pojave ferorezonancije može biti čak približavanje susjednim dalekovodima ili struje kroz zvjezdište učinkovitog transformatora izazvane solarnim fenomenima.

Proračuni izvedeni za navedene slučajeve istosmjernih ili niskofrekvencijskih (10 Hz) struja u neutralnom namotu 400 kV pokazali su da one mogu izazvati značajne prenapone na tercijaru autotransformatora.

Na taj način, prema onome što je rečeno o karakteristici mreže 30 kV, možemo zaključiti da je najvjerojatnije ferorezonancija uzrok nastanka opisanih havarija. Međutim, priroda njezina nastajanja (npr. utjecaj zasićenja magnetskog sistema autotransformatora ili naponskog transformatora, uzrok početka procesa itd.) nije razjašnjena i, prema tome, ne mogu se dati točne preporuke kako se zaštititi od te pojave.

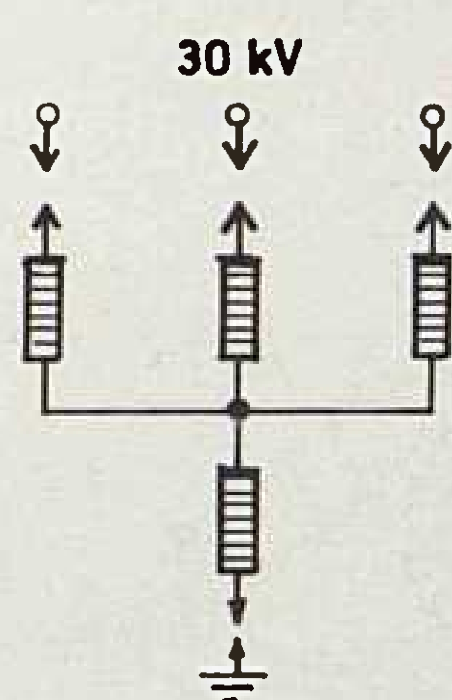
5. Predložene zaštitne mjere

U vezi s opisanim havarijama trebalo je predložiti mjere za postojeće transformatorske stanice i za transformatorske stanice koje se planiraju projektirati (s mogućim izmjenama jednopolne sheme i sistema koordinacije izolacije). Za postojeće transformatorske stanice bile su predložene u prvom redu ove mjere:

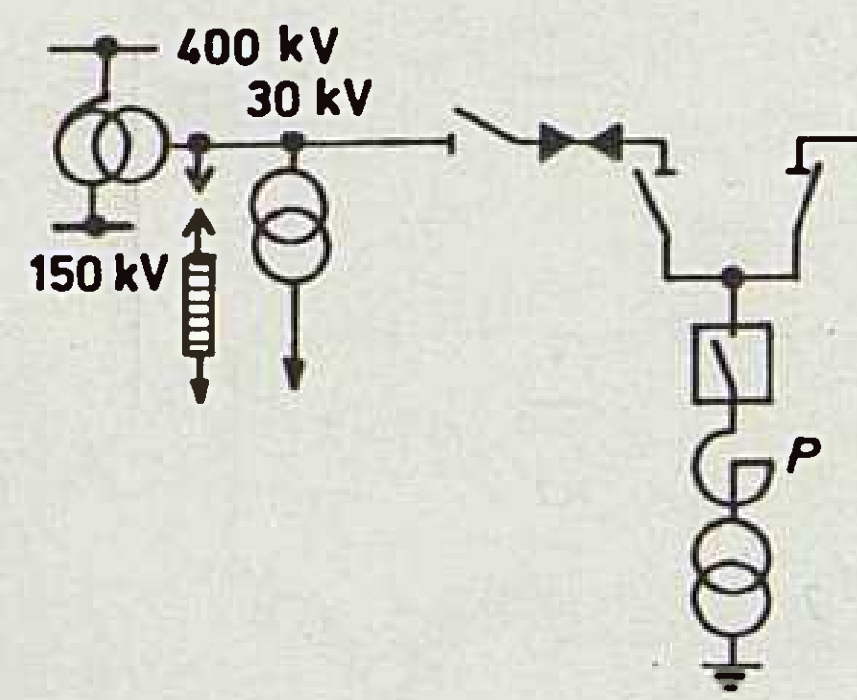
- razmještaj ventilnih odvodnika na strani 30 kV, priključenih na fazne vodiče i prema zemlji, kako je to prikazano na sl. 2, osigurava jednak nivo izolacije (120 kV za udarne napone i 70 kV za izmjenični napon industrijske frekvencije) između faza i zemlje.
- priključenje otpornika s otporom 10 oma serijski vezanim s kondenzatorom, što, kako su pokazali proračuni, primjetljivo snižavaju amplitudu rezonantnih nihanja.
- priključenje otpornika s otporom 100 oma u otvoreni trokut naponskog transformatora za sprečavanje ferorezonantnih frekvencija, povezanih sa zasićenjem magnetskog dijela naponskog transformatora.

Kasnije je bilo odlučeno da se povećaju zračni razmaci tako gdje je to moguće na strani 30 kV (naprimjer između kontakata rastavljača, između sabirnica itd.), a povećan je i

stupanj izolacije prikidača na strani 30 kV ili su čak zamijenjeni prekidačima s većim stupnjem izolacije. Za buduće transformatorske stanice predviđa se promjena jednopolne sheme i parametara koji bi snizili vjerojatnost nastajanja ferorezonancije. Osim toga jednopolna shema želi se pojednostavniti, uzimajući u obzir to da nove transformatorske stanice 400 kV budu izgrađene pored postojećih transformatorskih stanica koje već imaju vlastitu potrošnju. Za nove transformatorske stanice predložena je jednopolna shema kako je prikazano na sl. 3, prema kojoj otpadaju transformatori za vlastitu potrošnju i odgovarajući prekidači, izbačeni su kondenzatori i predviđen je jedan prekidač za komutaciju prigušnice u tercijaru autotransformatora. Konačno, potrebno je ugraditi dodatne kondenzatore ako minimalni kapacitet od 1,15 mikrofarada, koji se zahtijeva za korektan rad prekidača za prigušnicu, nije postignut vlastitim kapacitetom priključnog kabela.



Slika 2.



Slika 3.

Napominjemo da se ekonomičnost i pojednostavljenje novih shema budućih transformatorskih stanica može postići izvedbom vanjskoga postrojenja i primjenom opreme za vanjsku montažu.

Promatrane su također promjene karakteristika opreme: povećani su ispitni naponi namota nižeg napona autotransformatora, udarni ispitni napon povećan je od 170 kV na 250 kV, ispitni napon industrijske frekvencije povećan je od 70 kV na 95 kV, povećan je razmak između sabirnica od 27 cm do 1 m, prilagođeni su izolatori rastavljača i prekidača i povećan je stupanj izolacije za jedan nivo više, montaža ventilnih odvodnika usvojena je prema sl. 2, uključeni su otpori u otvoreni trokut naponskih transformatora; treba primijeniti neuzemljene naponske transformatore priključene između faza (dvopolno izolirane) da bi se izbjeglo zasićenje kod jednopolnih spojeva u mreži 30 kV.

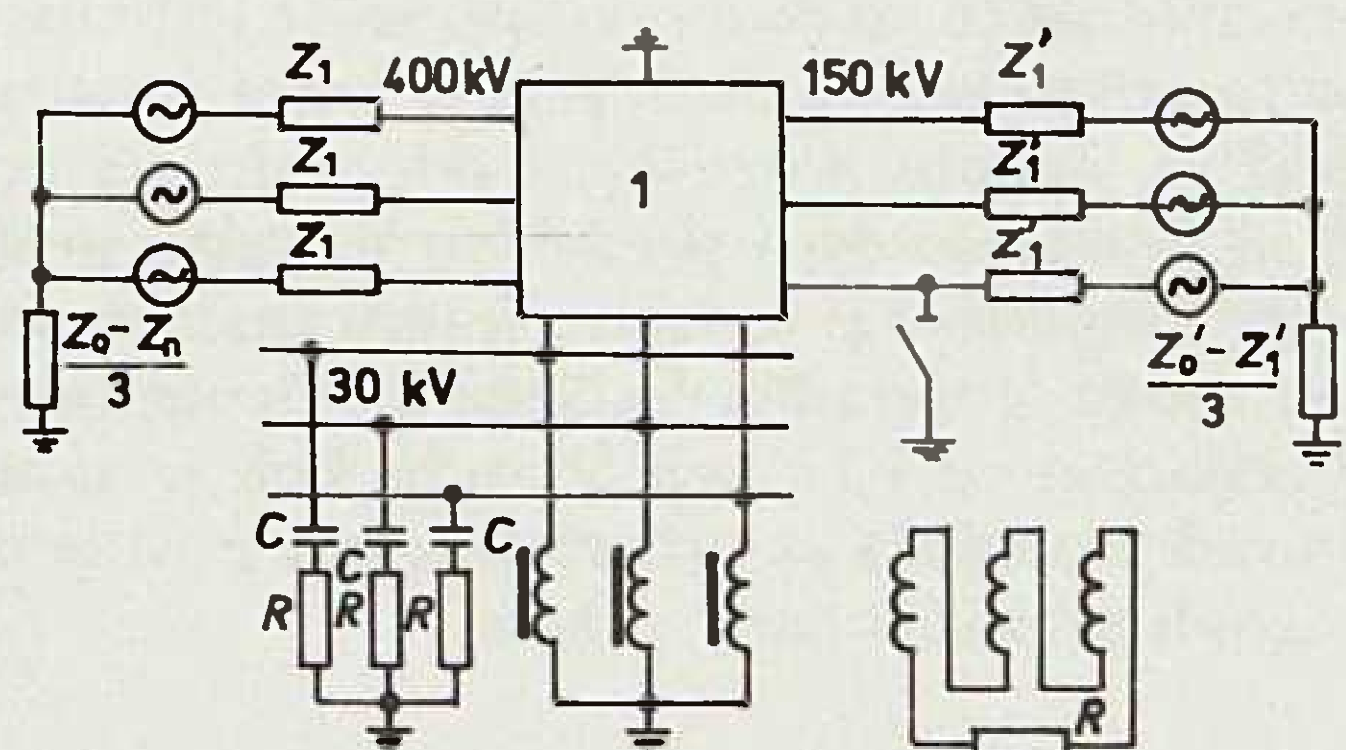
U shemama nekih budućih transformatorskih stanica 400 kv, u kojima se ne predviđa prigušnica u tercijaru, predlaže se uzemljivanje jednog izvoda trokuta tercijara autotransformatora. Tako se mogu montirati tri ventilna odvodnika umjesto četiri.

6. Zaključak

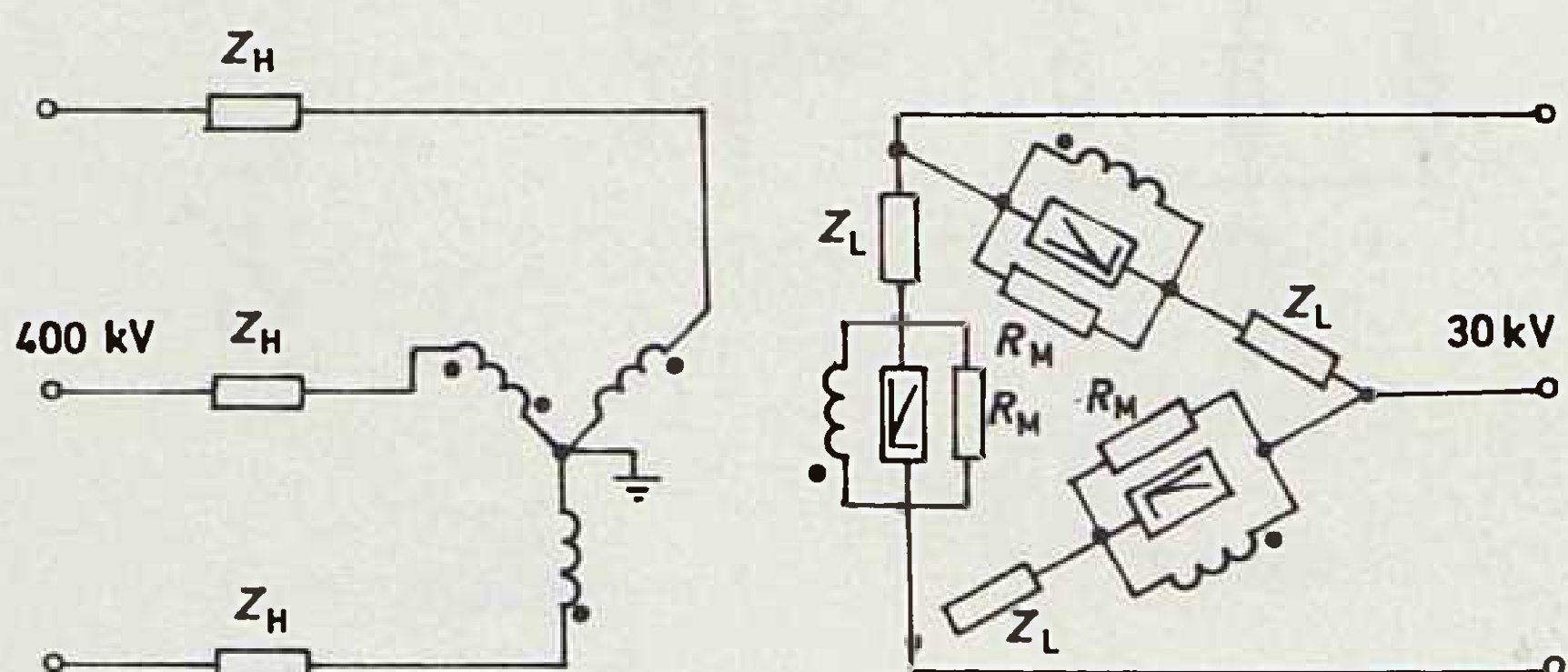
Prenaponi koji prelaze električnu izdržljivost izolacije opreme i pojave na strani nižeg napona autotransformatora mreže 400 kV bile su povezane s primjenom kondenzatora velikog kapaciteta i u vezi s time nastale ferorezonancije u mreži uzrokovane tim kondenzatorima i autotransformatorom i (ili) naponskim transformatorima.

Pretpostavljamo da ferorezonancija izaziva brze skokove napona nakon zemljospoja ili nakon komutacije s prigušnicom itd. Očito odstupanje jednoznačne predodžbe o mehanizmu nastajanja prenapona, bilo je predloženo nekoliko mjera kao: uključanje otpora (efikasnost je dokazana na modelu izrađenom na elektroničkom računalu), montažu ventilnih odvodnika, povećanje, gdje je to moguće, zračnih

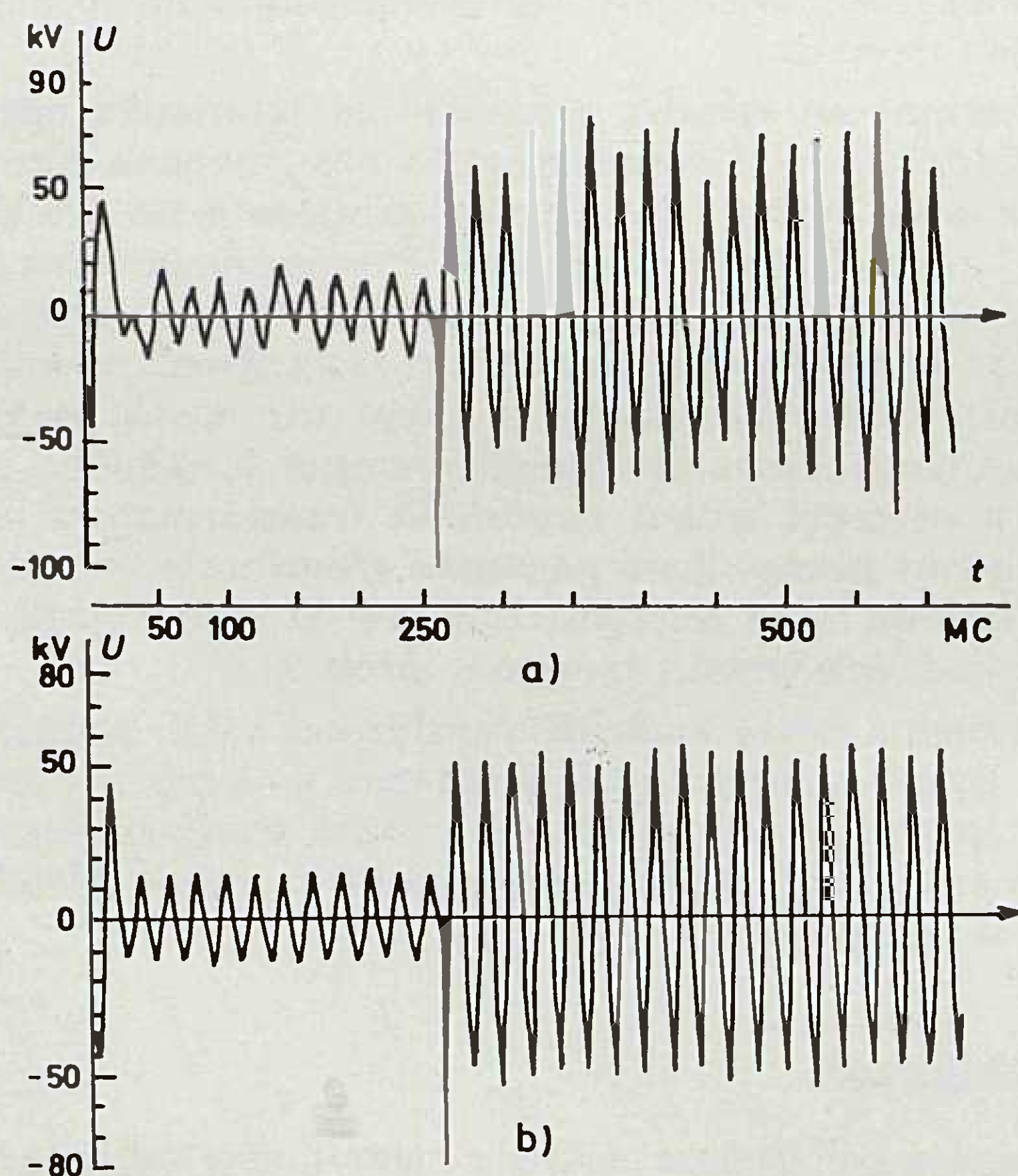
razmaka, promjena jednopolne sheme i parametara opreme u budućim transformatorskim stanicama. Procesi u sistemu modelirani su na elektroničkom računaru s korištenjem nadomjesne sheme prema sl. 4. Pritom je autotransformator predstavljen nadomjesnom shemom kako je to prikazano na sl. 5, a algoritam prema programu proračuna prelaznih pojava firme Bonneville Power Administraton.



Slika 4.



Slika 5.



a) bez dopunskih otpora, b) s dopunskim otporom 10 i 100Ω

Slika 6.

Na slici 4. prikazana je jedna od varijanata jednopolnog kratkog spoja na strani 150 kV. Dobiveni prenaponi kod toga slučaja prikazani su na sl. 6. Vidljivo je da prenaponi nastaju poslije isključenja kratkog spoja i dovoljno traju da se mogu objasniti slučajevi kada su pražnjenja trajala nekoliko sekundi ili čak minutu poslije nastanka procesa. U tim

malobrojnim slučajevima kada je autotransformator bio uključen samo na strani 400 kV prenaponi poslije jednopolnog kratkog spoja na strani 400 kV i jednopolni APU prelazi prikazane na sl. 6 za 20 — 30%. Bila je također analizirana shema s niskofrekventnim izvorom struje (cca »A) u zvjezdištu mreže 400 kV, što odgovara prikazanom (L. 9) slučaju. Pritom je bio postignut napon među fazama 180 kV.

Priredio
Andrija Miličević

TOPLINSKE PUMPE U SR NJEMAČKOJ

Koncem godine 1985. u SR Njemačkoj bilo je 54 381 uređaja s toplinskim pumpama. Oko 90% od njih je radilo u jedno i dvoobiteljskim kućama. Tokom 1985. godine porast takvih uređaja iznosio je oko 3 000, što je tek polovica od porasta prethodne godine. Razlog je tome, sigurno, u sniženoj cijeni nafte.

Prema tome iz kojeg se medija uzima toplina, toplinske pumpe rade na principu oduzimanja topline i zagrijavanja: zrak-zrak, zrak-voda i voda-voda. Najraširenije su toplinske pumpe zrak-voda. No kako pri jakoj zimi padne temperatura okoliša vrlo nisko, treba predvidjeti i dodatnu mogućnost grijanja /bivalentni pogon/. Upotreba podzemne vode, kao medija za oduzimanje topline vrlo je prikladna jer je temperatura takve vode prilično konstantna.

Štednja energije u SR Njemačkoj stimulira se posebnim olakšicama, a i sniženom tarifom električne energije, npr. za pogon toplinskih pumpi.

Tvrtka Siemens je razvila mali toplinsko-pumpni agregat namijenjen za pripremu tople vode za kućanstva koja godišnje troše manje od 4 000 litara loživog ulja. Snaga uređaja je 1,4 kW pa se jednostavno može priključiti na utičnicu. Priključak na vodu je također jednostavan jer se izvodi gumenim crijevom. Treba istaknuti da je toplinski efekt triput veći od utrošene električne energije.

Priprema tople vode može se izvesti vrlo štedljivo ako se koristi otpadna toplina strojeva za pranje rublja, strojeva za sušenje, sanduka za zamrzivanje i slično. Takav uređaj proizvodi npr. tvrtka Vaillant. Pri temperaturi okolnog medija od samo 15 °C 1 kWh pogonske električne energije daje triput toliko korisne energije za pripremu tople vode do 55 °C: Uređaj ima spremnik od 300 l, pa je pogodan za kućanstva od 6 članova. Upotreba mu je naročito prikladna u obrtničkim radionicama gdje ima mnogo otpadne topline, npr. pekara, slastičarnicama, praonicama rublja i sl.

Energie 39/1987/, br.3

Mrk.

NAKON 1991. GODINE AUSTRIJA ĆE IZ SSSR-a UVOZITI DODATNE KOLIČINE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Prema izvještaju austrijske Savezne elektroprivrede, postoji mogućnost da Austrija iz Sovjetskog Saveza uveza dodatne količine jeftine noćne električne energije. Ta bi se energija oplemenila akumuliranjem u hidroelektranama. Do tog vremena izgradila bi se druga istosmjerna veza /usmjerivačko-presmjerivačka stanica, tzv. leđa uz leđa/ s elektroenergetskim sistemom SEV-a u stanici Wien-Südost /prva takva stanica u Austriji je Dürnrrohr u pogonu od 1983/ i time povećala mogućnost razmjene električne energije između zemalja SEV-a i UCPTA.

Da ipak Austrija ne bude suviše ovisna o uvozu električne energije, treba u sljedećih 10 godina nastaviti s gradnjom novih energetskih izvora. To vrijedi za termoelektrane, a također i za hidroelektrane, jer su vodne snage Austrije iskorištene tek 64%.

Zbog otpora stanovništva realizaciji elektroprivrednih objekata blokiran je sada investicioni potencijal od 50 milijardi šilinga.

Domaći hidroenergetski izvori još su uvijek ekonomski povoljni. Dok 1 kWh iz nove HE Hainburg stoji 45 groša iz TE Dürnrrohr, koja spaljuje uvozni poljski ugljen, iznosi 1,30 šilinga.

Nužna je, nadalje, izgradnja, tzv. dunavske sabirnice 380 kV od granice SR Njemačke do Beča, a zatim i južne sabirnice od Beča prema Štajerskoj, Koruškoj i Vorarlbergu.

Gubitak koji je nastao što nije u pogon ušla nuklearna elektrana Zwentendorf procjenjuje se na okruglo 15 milijardi šilinga.

ÖZE 40/1987/, br.3

Mrk.

NAJVEĆE HIDROELEKTRANE SVIJETA

U poznatom engleskom časopisu koji se bavi hidroelektrama Water Power and Dam Construction, od srpnja 1986. izašao je opširan popis najvećih hidroelektrana svijeta sa stanjem 1986. godine. Iz toga je popisa izvađeno po 10 najvećih hidroelektrana gledajući po instaliranoj snazi, visinu brane i sadržaju akumuliranog jezera.

Tablica 1.

Najveće hidroelektrane svrstane prema instaliranoj snazi

Br.	Hidroelektrana	Država	Rijeka	Snaga	MW	Početak
				1986. g.	konačno	pogodna
1	Itaipu	Brazil-Paragvaj	Paramá	4 900	12 600	1983.
2	Guri	Venezuela	Caroni	2 800	10 000	1986.
3	Tucurui	Brazil	Tocantis	3 960	8 000	1984.
4	Grand Coulee	SAD	Columbia	6 494	6 494	1942.
5	Sajano-Sušensk	SSSR	Jenisej	6 400	6 400	1980.
6	Corpus Pasadas	Argentina-Paragvaj	Paraná	—	6 000	(1990)
7	Krasnojarsk	SSSR	Jenisej	6 000	6 000	1968.
8	La Grande 2	Kanada	La Grande	2 000	5 328	1979.
9	Churchill-Falls	Kanada	Churchill	5 225	5 225	1971.
10	Bratsk	SSSR	Angara	4 500	4 500	1961.

U tablici 1. navedene su hidroelektrane redom po instaliranoj snazi konačne izgradnje. Uzme li se pak 25 najvećih hidroelektrana, ona posljednja u popisu ima snagu 2 400 MW. Dakle, popis još ne obuhvaća cijeli Đerdap /jugoslavenski i rumunjski/ snage 2 100 MW.

U tablici 2. dan je pregled hidroelektrana s najvišom branom. Najviša brana u Jugoslaviji izgrađena je na hidroelektrani Mratinje, a u svijetu tek na dvadesetom mjestu. Jednako tako visoke brane imaju još hidroelektrane Contra kraj Lokarna u Švicarskoj i Dabaklamm u Tirolu u Austriji.

Treća tablica sadrži pregled hidroelektrana s najvećim akumulacijama. Prva je navedena hidroelektrana Owen Falls u Ugandi s golemom akumulacijom, no treba spomenuti da se najveći dio odnosi na prirodnu akumulaciju u jezeru. Ni jedna od jugoslavenskih akumulacija nije ni približne veličine onima iz popisa.

Tablica 2.

Hidroelektrane s najvišom branom

Br.	Hidroelektrana	Država	Rijeka	Visina brane m	Snaga MW	Primjedba
1	Rogun	SSSR	Vakš	335	3 600	
2	Nurek	SSSR	Vakš	300	2 700	
3	Grand Dixence	Švicarska	Dixence	285	1 300	
4	Inguri	SSSR	Inguri	272	1 300	
5	Bornca	Kostarika	Terraba	267	...	u gradnji
6	Vaiont	Italija	Vaiont	262	...	
7	Chicoasen	Meksiko	Grijalva	261	2 400	
8	Tehri	Indija	Bhagirathi	261	2 000	u gradnji
9	Kichan	Indija	Tons	253	...	
10	Sajano-Sušensk	SSSR	Jenisej	245	6 400	
20	Mratinje	Jugoslavija	Piva	220	...	

Tablica 3.

Hidroelektrane s najvećim akumulacijama

Br.	Hidroelektrana	Država	Rijeka	Akumulacija m x 10 ⁶	Snaga MW
1	Owen Falls	Uganda	Jezero Viktorija-Nil	2 700 000	...
2	Bratsk	SSSR	Angara	169 270	4 500
3	Aswan	Egipat	Nil	168 900	2 100
4	Kariba	Zimbabve	Zambezi	160 368	1 500
5	Akosomba	Gana	Volta	148 000	882
6	Danil Johnson	Kanada	Manicogan	141 852	1 292
7	Guri	Venezuela	Caroni	138 000	2 800
8	Krasnojarsk	SSSR	Jenisej	73 300	6 000
9	Bennett W. A. C.	Kanada	Peace	70 309	2 416
10	Zeja	SSSR	Zeja	68 400	1 260

Interesantno je spomenuti da postoje tri brane u svijetu čija je zapremina iznad 100 milijuna m³. To su brane na elektranama:

Chapeton	Argentina	296,2	10 ⁶ m ³
New Cornelia	SAD	209,5	"
Tarbela	Pakistan	148,5	"

Mrk.

PROJEKT SOLARNE ELEKTRANE U SR NJEMAČKOJ

Bavarsko elektroprivredno poduzeće /Bayernwerk AG/ uz financijsku pomoć Saveznog ministarstva za istraživanje i tehnologiju namjerava izgraditi u području Oberpfalz solarne elektranu koja bi služila za proizvodnju vodika. Osim te tzv. pilot-elektrane sagradili bi se uređaji za elektrolizu vodika, njegovo spremanje, rukovanje i upotrebu. Površina solarnih električnih ćelija iznosila bi 5 000 m². U optimalnim bi prilikama imala vršnu snagu 500 kW s godišnjom proizvodnjom od oko 500 000 kWh. Glavni cilj ovog pokusnog uređaja nije proizvodnja električne energije već proizvodnja vodika. Smatra se da bi godišnja proizvodnja od oko 100.000 m³ omogućila da se 10 do 15 kuća opskrbi energijom za grijanje prostorija vode i posebnom električnom energijom. Pri upotrebi vodika praktički će se ispitati različite tehnologije. U sklopu elektrane bit će ugrađeni različiti tipovi solarnih ćelija i korišteni različiti postupci pri elek-

trolizi. Cilj su, dakle, tehnološke usporedbe. Na taj bi se način razradio u praksi vodikov energetska sistem, čist za okoliš, i dobili novi porivi za njegovu upotrebu. Troškovi cijelog projekta cijene se na 50 milijuna njemačkih maraka, od

čega bi uz elektroprivredu 35% dalo savezno ministarstvo a 15% bavarska zemaljska vlada.

Elektrizitätswirtschaft 86/1987/, br. 6

Mrk.



elektrolux-rijeka

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

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

U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

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

RO ELEKTROLUX

IZDAVAČI

Godište 36 (1987)

Zagreb 1987

Br. 5

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

SADRŽAJ

Okrugli stol »Energije«	395
<i>Putanec I.</i> : Cijene električne energije iz nuklearnih elektrana i termoelektrana na ugljen (Stručni rad)	409
<i>Mužek Z. — Kunaj H.</i> : Usporedba specifičnih izdataka proizvodnje električne energije u termoelektranama (Prethodno priopćenje)	413
<i>Kovačević P.</i> : Neke metode analize baza podataka programskog paketa proza-11D/R u centru daljinskog upravljanja Osijek (Stručni rad)	425
<i>Alerić S.</i> : Ovisnost moguće proizvodnje hidroelektrana o dužini trajanja osnovne vremenske jedinice (mjesec, tjedan, dan) (Originalni znanstveni rad)	429
<i>Mesić M.</i> : Neka iskustva u pripremi izgradnje transformatorskih stanica 110/x kV Elektroprenosa Zagreb (Stručni rad)	435
<i>Tropin A. K.</i> : Procena dejstva vrlo visokih i najviših napona na organizam čovjeka (Stručni rad)	439
Vijesti iz elektroprivrede	443
Širom svijeta	446
Savjetovanja i konferencije	449
Nove knjige	449
Oglasi	451

IZDAVAČKI SAVJET

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

UREDNIČKI ODBOR

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

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

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

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

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

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 3000 dinara, a za poduzeća i ustanove 8000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 1500 (za studente 200) dinara.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec

ENERGETIKA

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

Evo nekoliko podataka:

Parni kotlovi i izmjenjivači topline

Više jednocjevnih parnih kotlova za pet termoelektrana u Jugoslaviji.

Dizel motori

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

Plinske turbine

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

Proizvodnja električne i toplinske energije

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

Toplinske pumpe

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

Vodne turbine

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

Komponente za nuklearne elektrane

④ Završni radovi u jednoj od švicarskih nuklearnih centrala.

Ventili

⑤ Visokotlačni sigurnosni ventili za termocentralu.

Pumpe

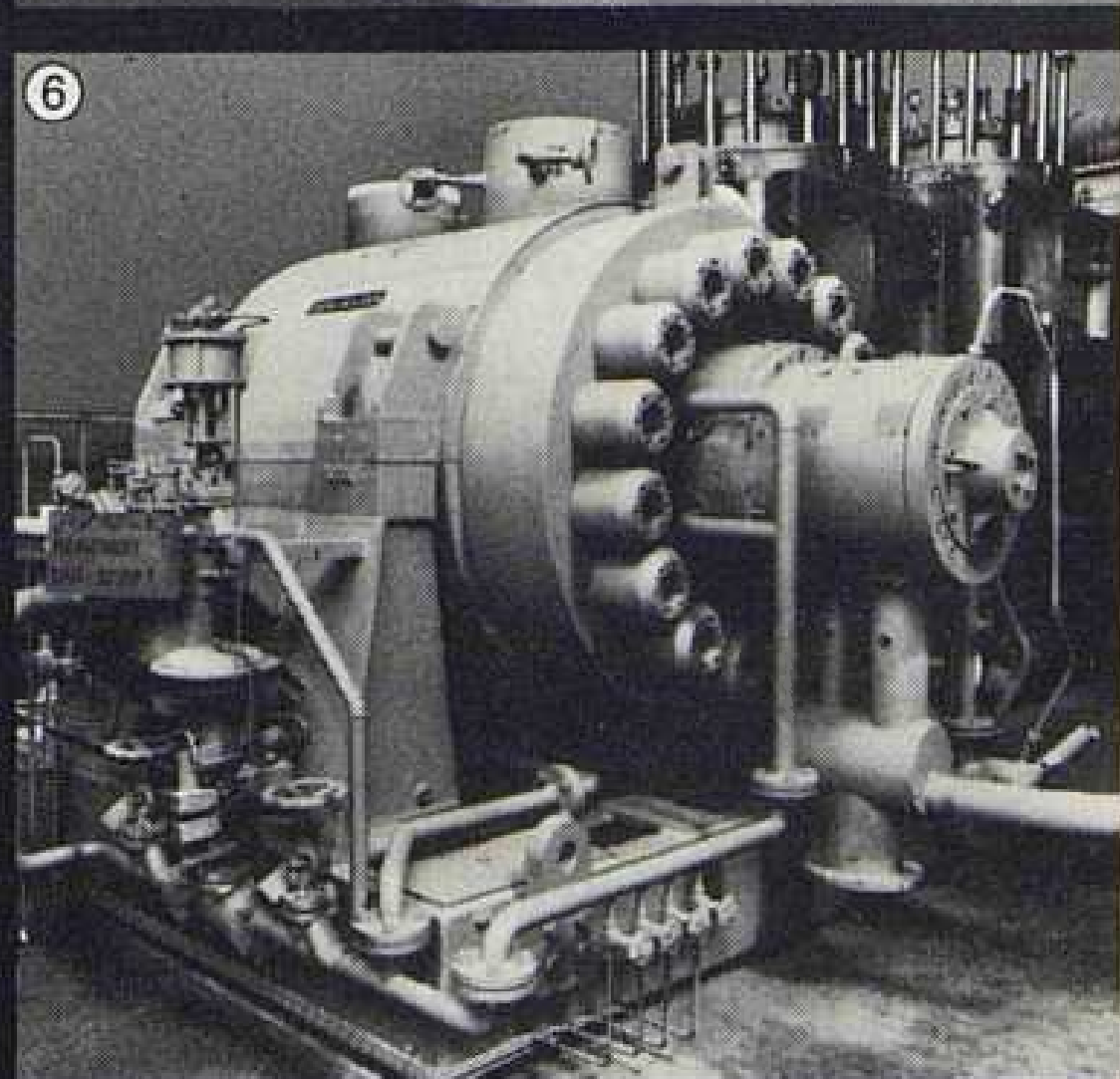
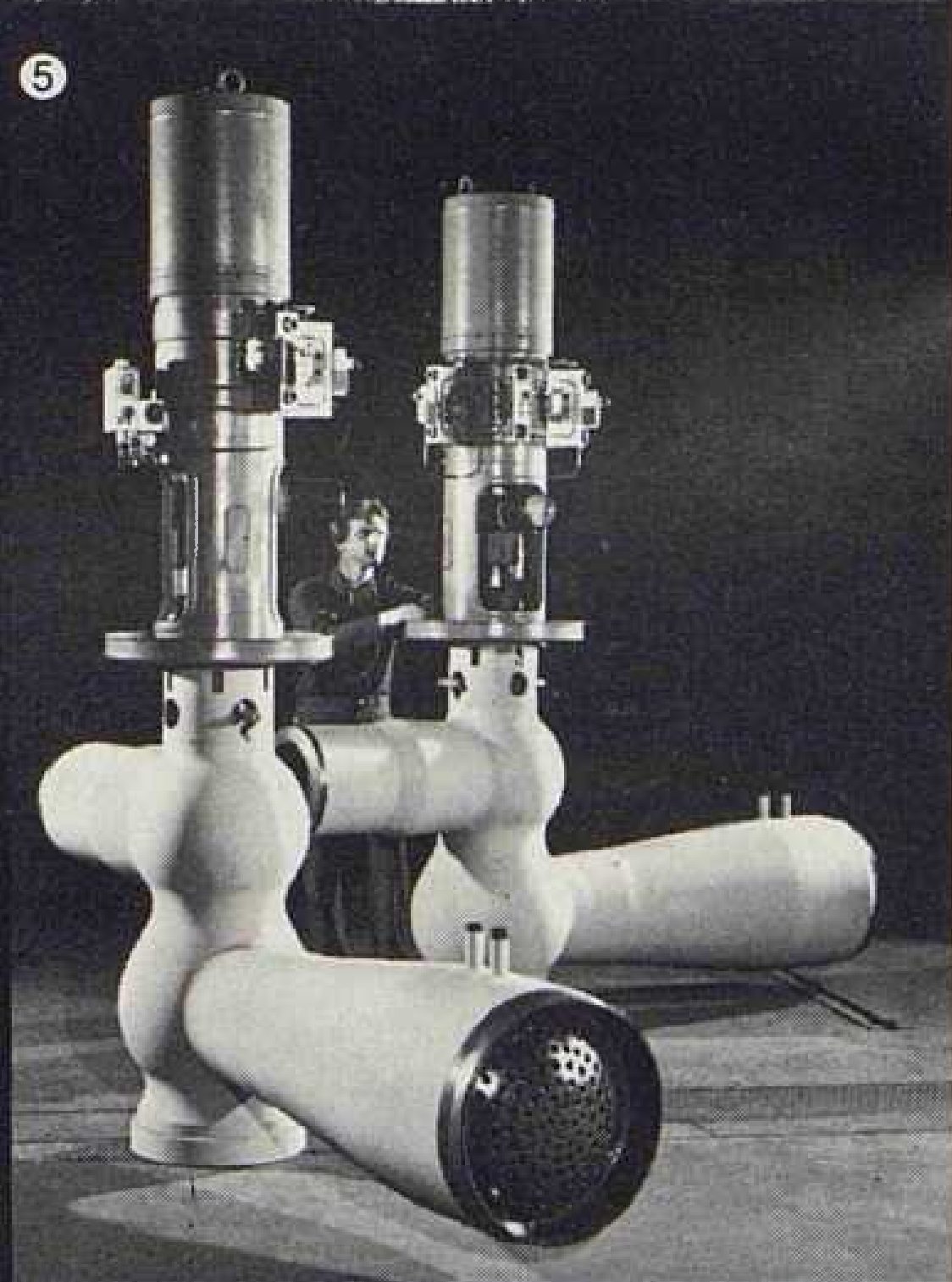
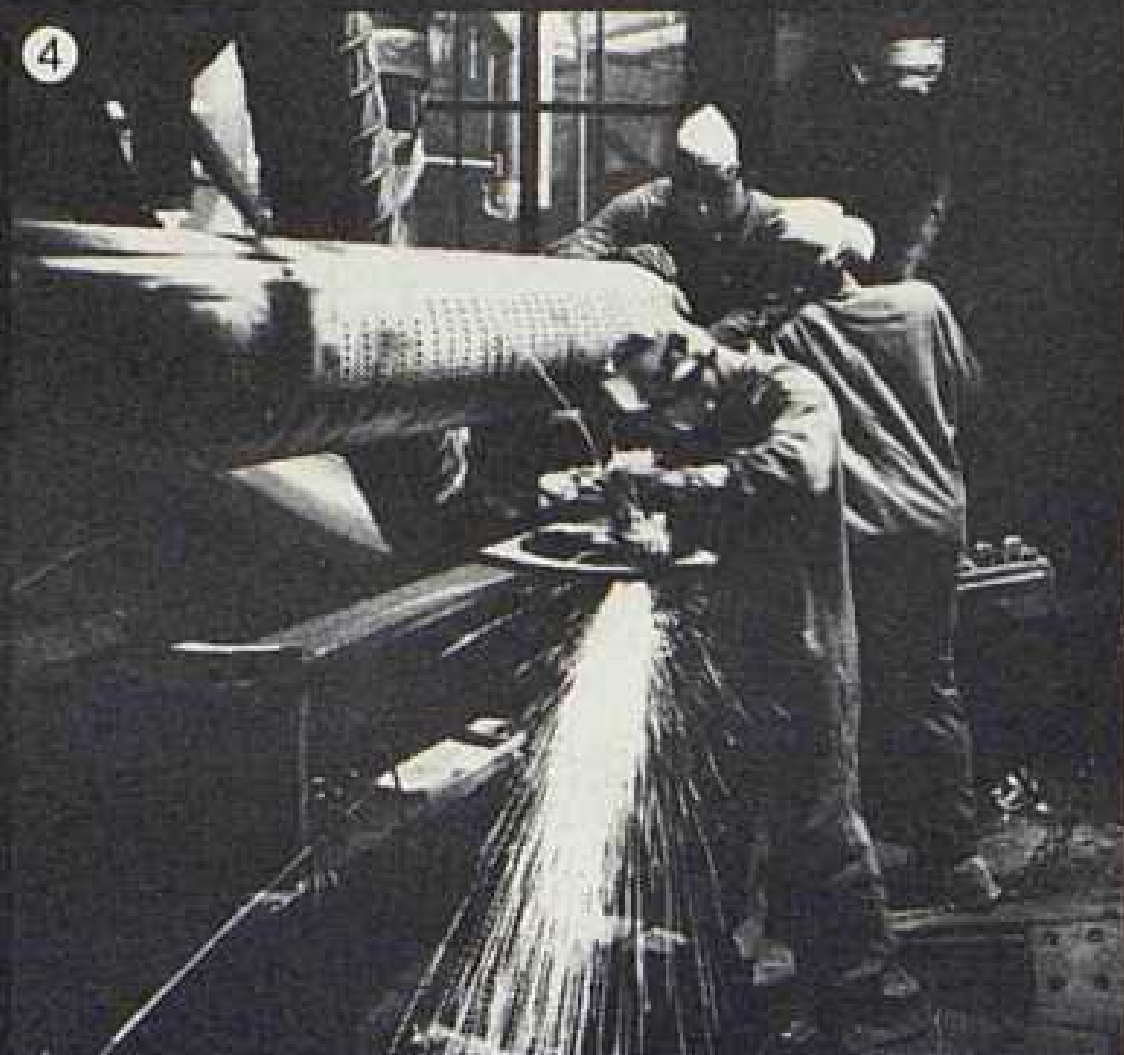
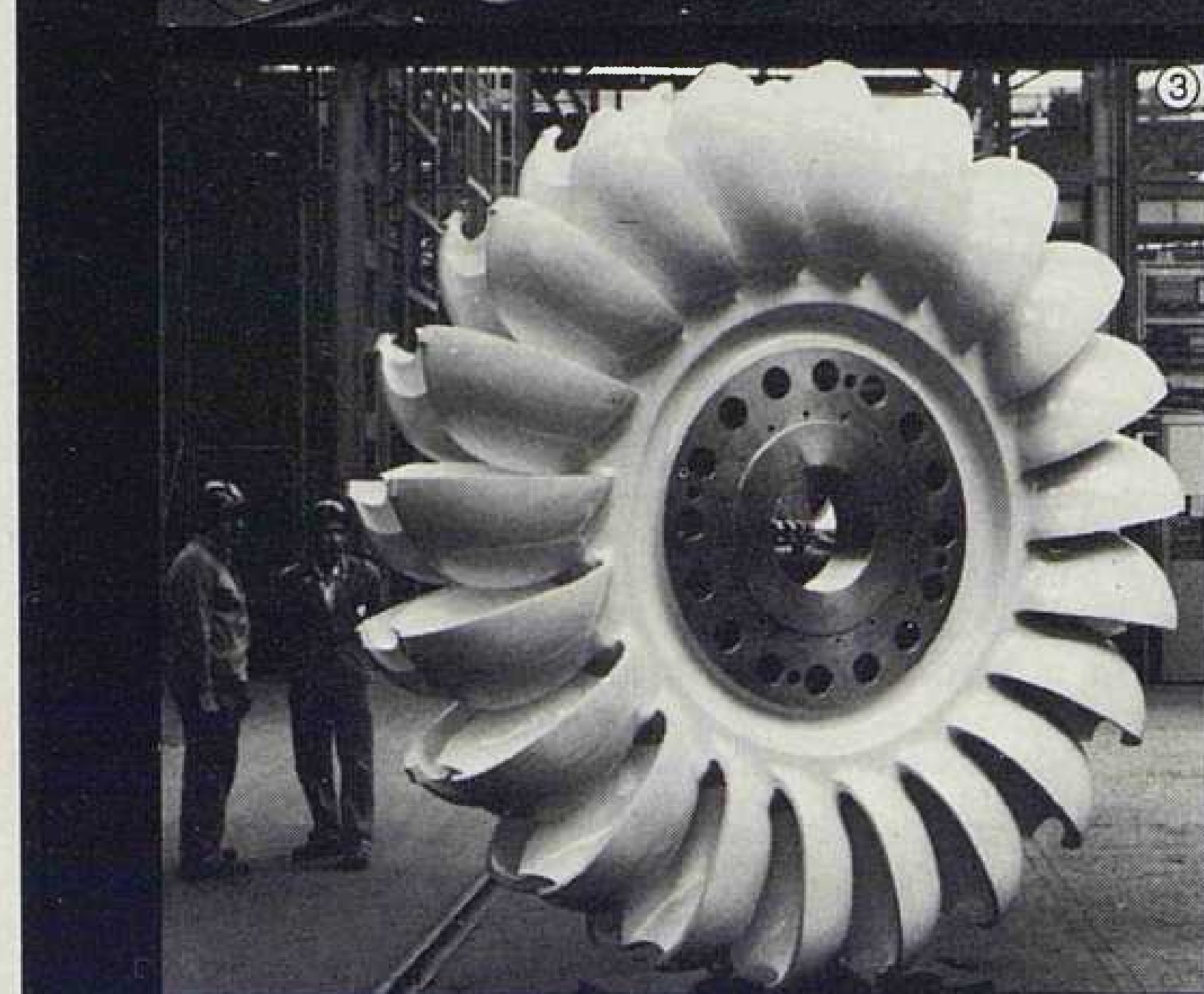
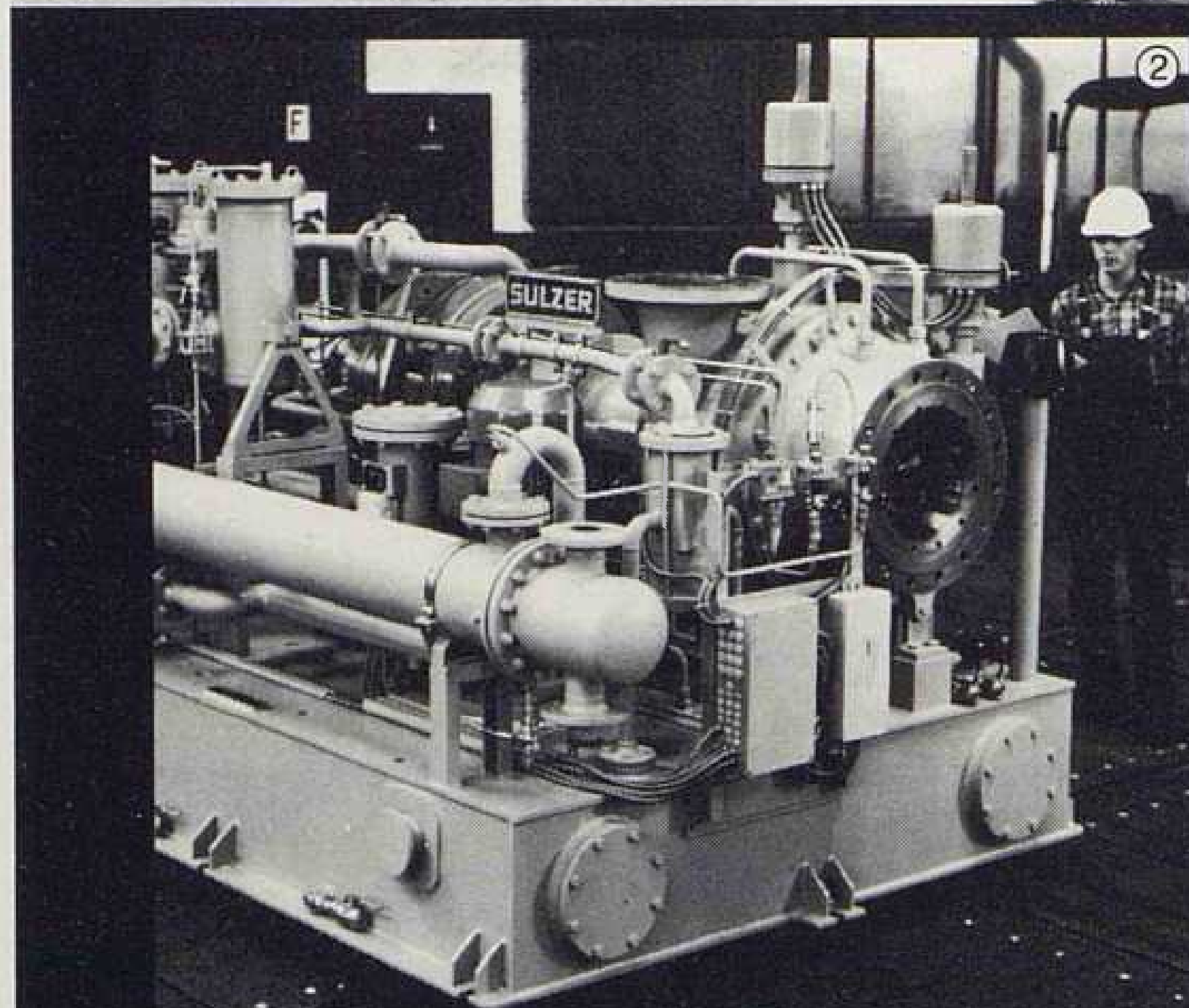
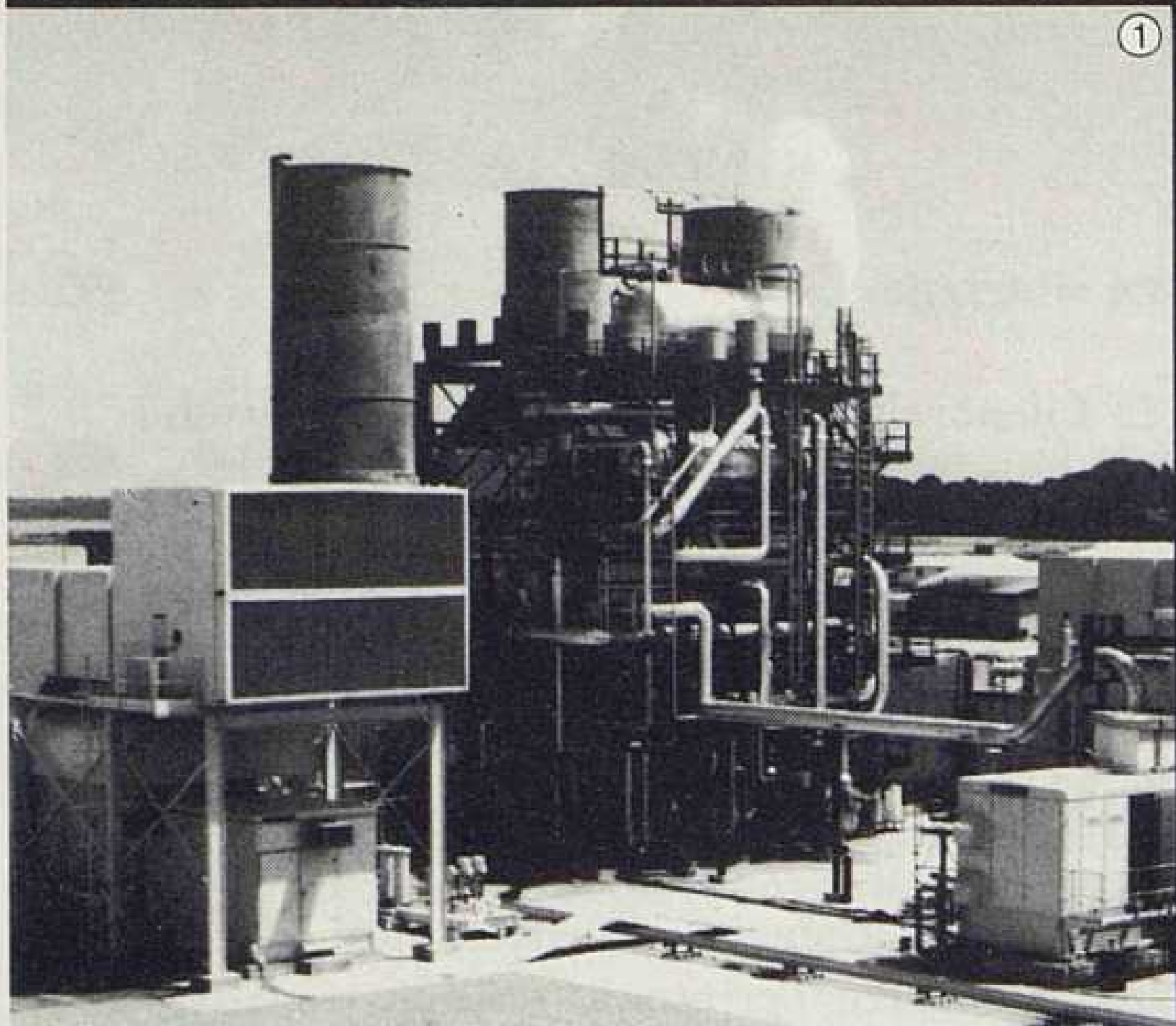
⑥ Kotlovska napojna pumpa za 600 MW-termoelektranu u Nizozemskoj.

Sistemi za upravljanje i reguliranje

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

SULZER®

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft
8401 Winterthur
Telefon 052-81 11 22
Telex 896 060





HRS: Poštovani kolege, drugarice i drugovi, pozdravljam vas u ime Izdavačkog savjeta časopisa »Energija« i u ime Instituta za elektroprivredu koji je domaćin časopisu »Energija«.

Izdavački savjet časopisa »Energija« odlučio je da važne stručne radove i važne događaje u elektroprivrednoj praksi izloži ne samo na stranicama svoga časopisa nego i povremeno kritici eminentnih stručnjaka iz odgovarajućih područja, a i da se o tim događajima ili o tim radovima informira i šira javnost.

Zbog toga je zamišljeno da se povremeno održavaju ovakve stručne rasprave kao što je ova danas, pod nazivom Okrugli stol časopisa »Energija«, te da se na te rasprave pozovu vodeći stručnjaci i predstavnici javnih glasila, osobito zbog u posljednje vrijeme vrlo čestih nesporazuma između elektroprivrede i javnosti.

Mi smo već održali jedan takav okrugli stol pod nazivom Neposredna elektroenergetska budućnost na kojem su naši vodeći energetičari izložili svoja gledanja o toj temi. Taj okrugli stol je, u dogovornu s televizijom, snimljen za emitiranje. To je bila snimka u trajanju od oko 60 minuta, koja je kasnije na zahtjev televizije skraćena na oko 45 minuta. Međutim, eto, i tu je bilo nesporazuma između nas i televizije i ta snimljena rasprava nije nikada prikazana.

Stenogram rasprave objavljen je samo u časopisu »Energija« broj 1 od ove godine. Dakle, s prvim okruglim stolom u pogledu informiranja javnosti nismo imali puno sreće.

Ovo je drugi takav okrugli stol na kojem želimo raspravljati o isto tako zanimljivoj problematici pod nazivom Raspadi elektroenergetskog sistema jučer — danas — sutra.

Raspravu za okruglim stolom vodit će glavni urednik časopisa »Energija« Cvetković, pa vam ja, kolega Cvetkoviću, dajem riječ.

CVETKOVIĆ: Najprije bih u uvodu dao nekoliko praktičnih informacija radi daljnjeg toka sastanka. Prvo želim reći da su stručnjaci koji su pozvani na ovaj okrugli stol najiskusniji ljudi iz toga područja. Međutim, na okruglom stolu nitko ne predstavlja svoju organizaciju, nego sebe osobno i ono što govori govori u svoje vlastito ime. Zaključci ovog okruglog stola također nikoga ne obavezuju, ali svako može to koristiti na način koji smatra da mu odgovara.

Još bih rekao da ćemo temu Raspad EES jučer — danas — sutra, promatrati na pragu prijenosa, tj. nećemo uključiti distributivnu mrežu.

Inače, sastanak će se odvijati na sljedeći način: najprije će kolega Tonković dati vrlo kratak osvrt na svoj članak, a nakon njega ću ja dati osvrt na svoj članak koji čini s prvim člankom sadržaj naše buduće diskusije. Nakon toga se prelazi na diskusiju.

Da bi diskusija bila što efikasnija, analizirat ćemo sljedeća područja: najprije bismo govorili o izgrađenosti sistema, nakon toga o vođenju elektroenergetskog sistema, a treća je tema održavanje. Četvrta tema je pitanje kadrovske politike u elektroprivredi, a na kraju bismo nešto govorili o tome kuda idemo u sljedećim godinama. Kada kažem sljedećim godinama, onda bi bilo dobro da to bude limitirano na razdoblje od danas do 1995. godine, uz napomenu da su za situaciju nakon 1990. godine bitne odluke koje se **danas** donose na svim nivoima odlučivanja od ZE-OH-a i RSIZ-a do Sabora.

Prema tome, predlažem da prijedemo na dnevni red i molim kolegu Tonkovića da počne sa svojim izlaganjem.

TONKOVIĆ: U izlaganjima ove vrste problema teško se striktno držati zadane teme. Iz uvoda koji su dali moji predgovornici vidite da analiza raspada sistema otvara kritičkoj reviziji sve aspekte elektroenergetskog sistema, recimo globalno: planiranje, izgradnju, održavanje, eksploataciju i organizaciju. Pokušat ću se maksimalno koncentrirati samo na dopunu analize dane u »Energiji« koja je, prema pozivu, jedan od uvodnih materijala za ovaj Stol.

Stjecanjem okolnosti na naslovnoj strani ovog broja »Energije«, u kojem je glavna tema naš raspad, reproducirana je fotografija jednog upravljačkog centra. Ta slučajnost kao da zorno simbolizira novu kvalitetu naših problema. Nakon mnogih godina po-

jednostavljeno bih rekao elektrifikacije — a u tom smislu koristim priliku da vam prezentiram drugu knjigu njene povijesti koja je upravo objavljena i naglasim značenje ovog završenog projekta — poteškoće koje nam se događaju pa i ovaj raspad pokazuju da smo ušli u područje pravih pitanja karakterističnih za razvijene sisteme.

Želio bih sažeti stručno, a koliko je to moguće i popularno, pozadinu događaja od 1. kolovoza.

Pretpostavimo da se između dva podsistema jednim vodom prenosi djelatna energija (snaga). Dobro je poznato da je veličina snage koja se može prenijeti direktno proporcionalna produktu modula napona na krajevima voda i sinusa kuta između njih, a obrnuto impedanciji (reaktanciji) voda: $P = U_1 U_2 \sin \varphi / X$. Očito da se maksimalna snaga prijenosa postiže kada je električni kut između oba modula napona 90° . No to je samo dio istine! Jer za ovaj ekstrem treba injektirati na oba kraja voda vrlo značajne količine jalove snage, direktno ovisne o kvadratu napona a obrnuto reaktanciji voda: U_1^2/X i U_2^2/X — dakle ukupno približno dvostruko više jalove od prenošene maksimalne djelatne! Naravno da je ovaj uvjet vrlo teško ostvariti, pa je tako prijenos djelatne snage ograničen mogućnošću podrške u jalovoj. Zbog toga su realni kutovi između modula napona na krajevima voda daleko ispod 90° , a potrebna je jalova snaga $Q = U_1 U_{IX} \cos \varphi / X - U_2^2 / X$.

O ovim ovisnostima detaljnu i vrlo zornu sliku daje kružni dijagram za »predajni« kraj voda. Anvelopa na kružnici koje pokazuju odnos djelatne i jalove snage ovisno o $U_1 U_2$, u koordinatnom sustavu s apsorpcijom ili generiranom jalovom snagom na »predajnom« kraju voda kao apcisonom i djelatnom snagom koja se prenosi kao ordinatom, daje apsolutnu granicu prijenosa snage. Ona, kako vidite, značajno ovisi o raspoloživoj jalovoj snazi na »predajnom« kraju voda. Svaki pokušaj da se izađe iz ovog okvira u konačnici će rezultirati naponskim slomom i raspadom sistema — čiju ću kauzalnost prikazati na sljedećem kvalitativnom primjeru.

Prebacimo sada ove fizikalne zakonitosti u realnost sistema. Ono što su na našem jednostavnom prikazu bila dva podsistema povezana vodom u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu jesu »Centar« i »Zapad« povezani sa pet vodova superponirane mreže (dva 400 kV i tri 220 kV), od kojih je jedan promatranog dana bio u remontu.

Tok energije bio je iz »Centra« na »Zapad«, a potrebnu jalovu snagu za »prijemni« kraj vodova incidentih sa »Zapadom« trebalo je osigurati iz angažiranih izvora. No najveći izvor (jalove, naglašavam) dan prije stavljen je izvan pogona zbog remenota, tako da je 400 kV mrežu podržavala jedino TE Šošanj V. I drugi veliki oslonac »Zapada« u jalovoj — što je realnost, iako se to protivi dobrim običajima u međunarodnoj razmjeni prema kojima treba svesti protjecanje jalove energije na minimum — bio je oslabljen remontom jedinog 400 kV voda koji povezuje »Zapad« sa UCPTÉ.

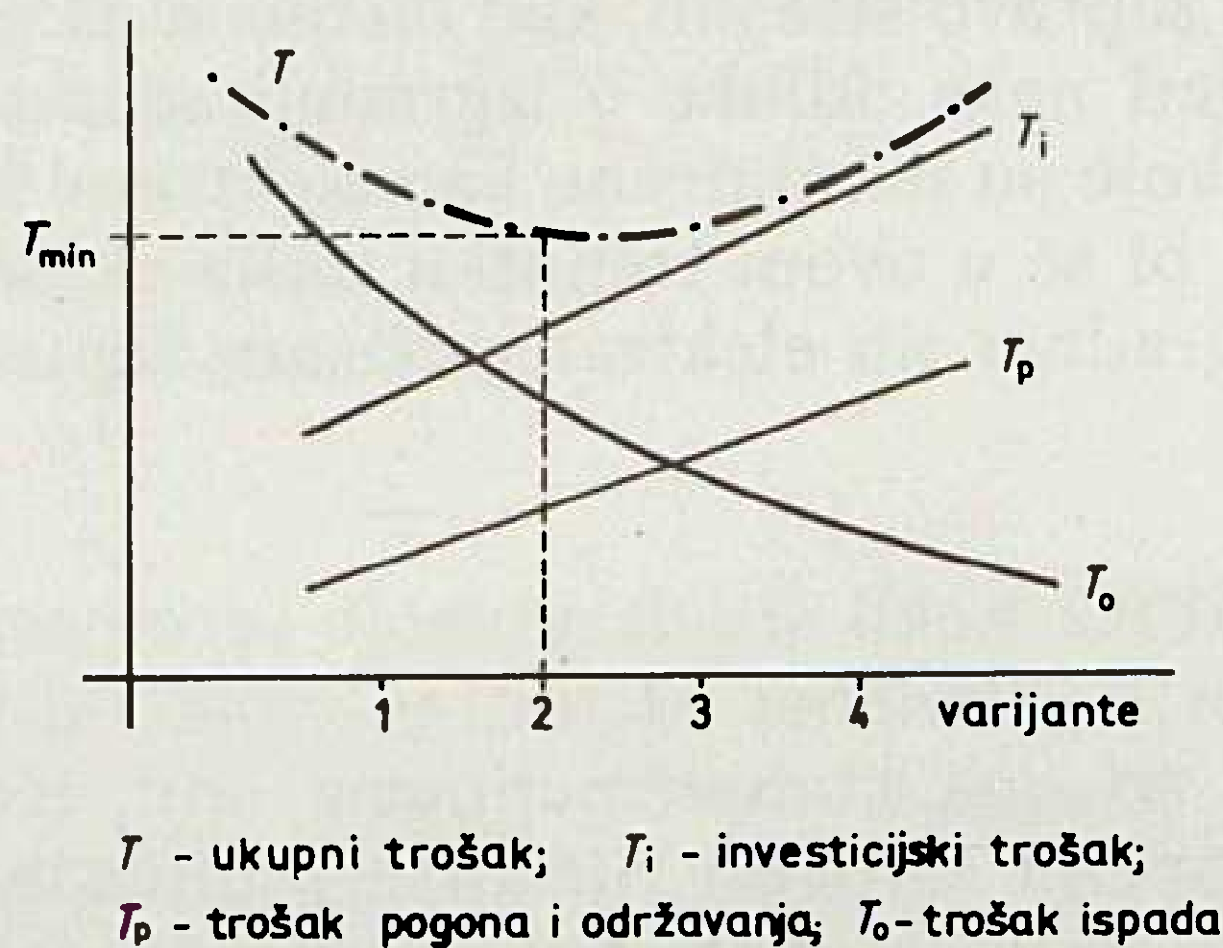
Budući da je mreža bila podopterećena, generirala je jalovu snagu, a postojale su uz to i 220 kV veze s Italijom i Austrijom, pogon je bio normalan. Nije bilo simptoma njegove velike »unutrašnje slabosti«, to više što je konzum »Zapada« tendirao svojoj sistoli. No ispadom jednog 400 kV voda između »Centra« i »Zapada« situacija je postala napeta bez obzira na jedva zamjetne vanjske manifestacije u tom smislu (pad napona, povećana apsorpcija jalove snage iz UCPTÉ).

U »Energiji« je dan dalji tok događaja sa posljedicama. Prividno još zdravu situaciju »Zapada«, usprkos gubitku jednog značajnog interkonektivnog voda, dalje su ugrozili događaji u »Centru«. Spletom okolnosti i uvijek prisutnih nepredvidivosti pogonskih događanja, ovaj put izrazito negativno usmjerenih u smislu sigurnosti sistema, kaskadom ispada razdvojili su se podsistemi i »Zapad« je ostao visjeti samo na dva 220 kV voda iz UCPTÉ. Oni se termički preopterećuju i potonuće »Zapada« u mrak bilo je neminovno. Kroz prikazane etape (s folija) i iscrpnim obrazloženjima u članku evidentiran je tok degradacije po poznatom scenariju: pogoršavanje napona, pertubacije proizvodnje i promjene impedancije prijenosa, gubitak statičke (i dinamičke) stabilnosti.

CVETKOVIĆ: Htio bih reći nekoliko riječi o mojem izvještaju. Počeo bih s konstatacijom koja piše u članku: električna energija je roba. Smatramo da je ta roba na jugoslavenskom tržištu dobra roba. Zašto je dobra roba? U prvom redu zato što je ona kvalitetna. Ta energija se prodaje konkurentno svakoj drugoj evropskoj energiji na evropskom tržištu. Ona se ne razlikuje od te energije ni cijenom, a ni kvalitetom, gdje ponajprije mislim na njenu stalnost na tržištu. Raspad sistema o kojem danas govorimo samo je dokaz brige za stalnost te robe. Taj raspad od 1. 8. 1986. trajao je 45 minuta. Za razliku, zna li netko reći koliko dugo nema npr. limuna ili nekog drugog proizvoda na jugoslavenskom tržištu, čak bez ikakvog objašnjenja.

Iznio sam u članku neke stvari za koje smatram da ih treba i ovdje ponoviti. Naime, naveo sam statistiku raspada EES iz 168 elektroprivrednih poduzeća iz 29 zemalja. Tu se vidi da jednostavno nema zemlje gdje nije zabilježen raspad sistema. Nema sistema koji se ne može raspasti. Izgraditi takav sistem za koji bi se moglo reći da se neće raspasti bilo bi toliko skupo da nitko ne bi mogao plaćati energiju iz tog sistema. Međutim, razlika između nas i svjetskog prosjeka jest u tome što je frekvencija tih raspada kod nas veća nego što je svjetski prosjek. Ovo se naročito odnosi na sjeverozapadni dio Hrvatske jer svaki raspad u jugoslavenskom sistemu pogađa sjeverozapadni dio Hrvatske. Razlog tome je u činjenici što u tom području nema značajnijih elektrana, osim TE Sisak, a ona je zbog štednje tekućeg goriva većinu godine izvan pogona. Treća karakteristika koju treba reći jest to da se raspad sistema redovito događa zbog kolapsa napona, zbog manjka jalove energije, a ta jalova energija nije dobila značenje koji bi trebala imati u sistemu.

Na sl. 1. vidite klasičan dijagram troškova s četiri varijante izgradnje EES. Ukupni troškovi EES sastoje se od investicionih troškova T_i , od troškova pogona i održavanja T_p i od troškova ispada (valorizacija neisporučene energije) T_o . Minimalni troškovi odgovaraju varijanti izgradnje 2.



Slika 1.

Uložimo li više u izgradnju i pogon sistema (varijante 3 i 4) sigurnost raste, ali i ukupni troškovi T . Procijenimo li više vrijednost neisporučene energije (varijanta 1), ukupni troškovi također rastu.

Raspad sistema u svakoj tehnički razvijenoj zemlji jest, prema tome, ekonomska kategorija.

Pojedine zemlje valoriziraju neisporučenu energiju. Cijena neisporučenog kWh kreće se od jednog dolara, tri dolara, pa do tri funte itd. Naravno, i mi možemo izgraditi sistem koji je jako siguran, ali moramo više ulagati u njega. Možemo, naprotiv, manje investirati i izgraditi sistem koji je manje siguran pa ćemo imati više raspada. Tu jasnu ekonomsku kategoriju mi smo, na žalost, u praksi skloni pretvoriti maltene u krivično djelo pojedinca. To ne znači da pri raspadu EES nema ljudskih grešaka, ali, s druge strane ne pamtiti se raspad sistema u svjetskoj praksi gdje nije bilo ljudske greške. Ona je normalna i sastavni dio toga posla.

Ne treba zaboraviti da ljudi rade u uvjetima koji nisu normalni kad god se sistem raspada. Što je još gore, naši sistem često radi dulje vrijeme u alarmantnom stanju i u kritičnom stanju. Mnogo puta je on zapravo spašen dobrim intervencijama ali to nitko ne zna.

Sada bismo prešli na diskusiju. Prva točka diskusije je pitanje izgrađenosti sistema. Iz tablice 1. vidljivi su manjkovi snage u elektroprivredi Hrvatske za razdoblje 1990-1995. godine. Pretpostavljen je porast konzuma od 3,9%, puštanje u pogon TE Plomin 2 u 1990. godini i izlazak iz pogona TE Plomin 1 TE Sisak 1 i TE Tuzla 4 u 1994. godini. Moguće je navesti i optimističkije varijante, ali u svakom slučaju manjak se penje na nekoliko stotina MW u 1995. godini.

Za pokriće tog manjka trebalo je, prema planu elektroprivrede Hrvatske, izgraditi NE Prevlaka, termoelektrane snage 700 MW u drugim republikama, TE Plomin 2 i još dio preostalog hidropotencijala na području Hrvatske koji, na žalost, nije atraktivan. Od svega toga znamo danas da se ne realizira ništa ili vrlo, vrlo malo.

Spomenut ću još 400 kV mrežu »Nikola Tesla«. Prva etapa je završena, a druga nije još realizirana. Nije izgrađen dalekovod Zagreb — Rijeka, Zagreb — Banja Luka i Ljubljana — Krško. Dakle, tri dalekovoda baš ovdje na zapadu nisu izgrađena. To je današnja situacija što se tiče mreže i izvora.

Treba dodati da problemi jalove energije na zapadu i odgovarajuća izgradnja kondenzatorskih uređaja nisu u pravilu dobili nikakav tretman. U bilanci elektroprivrede Hrvatske ni u bilanci jugoslavenske elektroprivrede ne postoji bilanca jalove energije, a baš je jalova energija ta koja narušava sigurnost i stabilnost sistema. Čini mi se da iz toga nismo svi skupa izvukli pouke.

Pitanje za diskusiju koje se nameće jest što nam je u ovoj situaciji činiti.

GRANIĆ: Budući da ste počeli brojkama koje su vezane za razvoj, ja bih prokomentirao ove brojke više u smislu onoga što se ovog trenutka očekuje.

Mi u ovom trenutku nemamo definitivne stavove u elektroprivredi Hrvatske oko tretmana objekata koji završavaju svoj životni vijek, a upravo u tim kritičnim godinama, 1994. i 1995. godine, »Plomin I« i Sisak I navršavaju 25 godina pogona. Po mom mišljenju vjerojatno će doći do revitalizacije, u prvom redu Sisak, dok će se sudbina »Plomina I« riješiti u sklopu »Plomina II«. Tu je također i pitanje da li će biti uvoznog ugljena ili neće. U spomenutim brojkama je također i »Tuzla IV« jer u travnju 1994. godine ističe ugovor o korištenju energije iz toga objekta.

Prema analizama koje su rađene u Institutu za elektroprivredu, ako pretpostavimo da će do 1995. godine Sisak i Plomin biti u pogonu, onda pored elektrana kontinuiteta /sedam hidroelektrana sa ukupnom godišnjom proizvodnjom 1200 Gwh/trebat će 600-700 megavata novih elektrana. U tu snagu uključeno je i zamjensko postrojenje za Tuzlu IV.

Doktor Cvetković je svoja razmišljanja započeo konstatacijom da je električna energija roba. Ona jest roba i možda više nego bilo koja druga roba putuje po Jugoslaviji. Ona ima, ja bih rekao, tretman jugoslavenske robe i često mimo volje političkih struktura ona putuje žicama preko republičkih granica prema svojim zakonima.

Međutim, repromaterijal za proizvodnju električne energije ugljen, koji bi također trebao biti roba, nije roba i upravo otuda i najveći problemi u razvoju elektroprivrede Hrvatske. Ona u ovom trenutku ne može definirati svoje planove razvoja i svi pokušaji koji su bili u proteklom razdoblju više-manje su završili neuspješno. Oni koji su imali prilike vidjeti plan razvoja elektroprivrede na nivou Jugoslavije i dugoročni program razvoja energetike Jugoslavije mogli su zapaziti da u tim planovima za područje Hrvatske postoji obješnjenje: izgradit će se izvan područja Hrvatske, a za neke objekte za koje mi reflektiramo postoje zvjezdice: izgradit će se ili razgovarat će se, itd. Dakle neke neodređene definicije koje se, jasno, mogu, ali i ne moraju ostvariti. A iskustvo

nam govori da je ta neizvjesnost dosta nezgodna i neugodna stvar.

Drugi osnovni pravac razvoja koji smo zacrtali kada so definirali plan razvoja prije 4-5 godina jest nuklearni program. Danas on doživljava vrhunac u negativnom smislu. U prvom redu, tu su savezni dokumenti, dugoročni program razvoja energetike Jugoslavije i potom stavovi Predsjedništva SFRJ koji su potpuno nedefinirani i iz kojih barem ja, kao čovjek koji se bavi područjem razvoja, ne mogu prepoznati ništa određeno. Tu su zatim aktivnosti koje se događaju u Sloveniji. Svjedoci smo njihovih aktivnosti preko SSRN gdje se traži moratorij za izgradnju nuklearnih elektrana. U ovom trenutku mi nemamo plan razvoja, a ne možemo ga s onime što imamo na području Hrvatske niti imati. Situacija je vrlo kritična jer su se rokovi za izgradnju proizvodnih objekata ne samo približili nego smo ih već prošli i posljedice onoga što se događalo u posljednje dvije do tri godine, danas sigurno možemo tvrditi, osjetit ćemo u razdoblju nakon 1990. godine, pa čak i uz pretpostavku da se »Plominom 2« ne bude problema i da sve to zajedno završi na zadovoljavajući način.

Prema nekim podacima, koje smo istražujući probleme razvoja do 2000. godine dobili, za razvoj sistema, samo za proizvodna postrojenja trebalo bi do 2000. godine investirati negdje oko 2 500 milijardi novih dinara ili po tečaju dolara na početku ove godine oko 5,5 milijardi dolara.

U daljnjem razvoju dakle, nisu samo problemi u vezi s osiguranjem dovoljnih količina energije i dobivanje lokacija ključni problemi elektroprivrede već i financijski problemi koje možemo očekivati mogu biti jedna od kočnica ostvarenja brojki koje su ovdje navedene.

U posljednjih nekoliko mjeseci više nego do sada intenzivno se razgovara o uvozu ugljena kao jednoj od mogućih varijanti. Ona je nužna. Ako gledamo dugoročni razvoj elektroprivrede Hrvatske, praktički bismo morali paralelno gurati sva četiri programa razvoja koji se odnose na iskorištavanje preostalog hidropotencijala, na izgradnju termoelektrana izvan područja Hrvatske, na uvoz ugljena i na nuklearne elektrane. Nijedan od tih programa nije jedan drugome suprotstavljen. Oni se, po mom mišljenju, dopunjavaju. Pitanje je samo dinamike kako će se oni ostvarivati.

Ove brojke su vama svima manje-više poznate. Ja sam samo ponovio one činjenice koje govore o jednoj vrlo crnoj slici neposredne budućnosti.

O ekonomskim zakonitostima u planiranju ne bih ovdje govorio jer uz ovakav način rješavanja problema nema ekonomskih zakonitosti. Mi nemamo alternativa, a ekonomija je jedino moguća onda kada se može između alternativnih programa odabrati onaj koji je s obzirom na tehničke i ekonomske karakteristike najprihvatljiviji. Posljedice ovoga neće biti samo u tome da li ćemo raspolagati s dovoljno energije ili ne, nego se danas sa sigurnošću može tvrditi da ćemo tu energiju vrlo skupo plaćati.

Na kraju bih rekao još nešto o problemu kadrova u elektroprivredi. Nije pitanje samo osposobljavanje kadrova u srednjim školama i na fakultetima već o osposobljavanju kadrova od onoga trenutka kada dođu raditi u elektroprivredu. Glavninu svoga znanja oni ipak trebaju tu steći. Mislim da se tom aspektu u neposrednoj budućnosti trebamo posvetiti više pažnje. Ja se zapravo strašim, kad bismo sada bili u stanju donijeti neke odluke o izgradnji sedam hidroelektrana koje su nominirane kao elektrane kontinuiteta da li bi se u ovom trenutku našle ekipe koje bi vodile izgradnju tih elektrana. Nisam siguran da bi ih našli.

CVETKOVIĆ: Rekli ste da postoje četiri pravca rješavanja ovih problema. Međutim, svako od tih rješenja, iako su ona komplementarna, ima jednu vremensku opciju. Drugim riječima, pretpostavimo da ćemo sutra sklopiti ugovor za izgradnju jednog bloka od 600 megavata na Kosovu i da su svi tehnički, ekonomski i kadrovski problemi riješeni. Koliko godina treba da izgradimo takav blok od 600 megavata na Kosovu odnosno da ga počnemo redovito eksploatirati?

GRANIĆ: Mi moramo govoriti realno. Danas je 29. svibnja 1987, a s obzirom na pripremljenost i dokumentacije i svega ostaloga o Kosovu možemo reći da bi blok na lokaciji »B«, blok III i IV, uz dobru organizaciju mogao biti u funkciji potkraj 1995. godine.

CVETKOVIĆ: A da nema nikakvih problema?

GRANIĆ: Ovo pretpostavlja da su riješeni svi problemi u pogledu eksploatacije rudnika i da se radi o pripremljenoj dokumentaciji i izgradnji na onoj lokaciji koja ima gotovo svu potrebnu infrastrukturu. Međutim, svaka druga lokacija na Kosovu znači vremensku dimenziju koja vjerojatno ne može biti kraća od 10 godina s obzirom na sve aktivnosti oko projektiranja i uvođenja rudnika u redovitu proizvodnju.

To su te vremenske dimenzije ako govorimo o lokacijama koje nisu pripremljene. Prema nekim spoznajama to se čak produžava i do 12 godina.

CVETKOVIĆ: Da li biste mogli reći još dva podatka. Pretpostavimo da nema nikakvih dilema s gradnjom nuklearne elektrane, nego da su u pitanju samo tehnički i ekonomski problemi. S obzirom na sve predradnje koje su napravljene na Prevlaci, kada bi ona mogla ući u pogon?

GRANIĆ: Reći ću svoje osobno mišljenje. Prije 1998. godine ona svakako ne bi mogla ući u pogon.

CVETKOVIĆ: I treće pitanje: Pretpostavimo da se danas donese odluka o uvozu ugljena na primjer za elektranu na lokaciji Plomina. Kada bi blok od 600 megavata ili dva bloka od 300 megavata mogli ući u pogon.

GRANIĆ: To pitanje trebalo bi postaviti »Jugoturbinu«, »Rade Končaru« i ostalima. Pretpostavlja se da se može izgraditi za četiri godine. A što znače četiri godine u našoj praksi, mislim da smo toga svjesni.

CVETKOVIĆ: Ako uzmemo u obzir ove činjenice, očito je da dolaze crne godine. Što se može napraviti za premoštenje tih crnih godina, jasno uz optimističke pretpostavke da će problemi nakon 1995. godine biti na vrijeme riješeni.

Danas su mnoge zemlje suočene s nepredvidivim poteškoćama bilo u vezi s procjenom rasta potrošnje, bilo u vezi s lokacijom i dinamikom izgradnje novih izvora električne energije. Današnja evropska praksa je npr. apsolutno usmjerenje na nuklearne elektrane, ali i znatno pojačanje interkonekcija da bi se optimalno iskoristilo ono što postoji kod susjeda.

Mi se u razdoblju 1990-1995 godine nemamo čime pokriti dok Francuska raspolaže sa 45 milijardi kilovatsati viškova, a to je otprilike pola potrošnje Jugoslavije. Da li se i ta varijanta uzima u obzir. U tom slučaju energija se doduše uvozi, ali nema ulaganja u izvore, nema ulaganja u rudnike, nego plaćamo energiju i to onda kad je potrošimo.

Radi usporedbe, konzum SR Njemačka na pr. ima 60% jaču interkonekciju od Jugoslavije. Samo Bavarska danas ima interkonekciju dimezioniranu na 150% vršnog opterećenja i kupuje energiju iz Francuske iako ima dovoljno vlastitih izvora.

Da li mi mislimo u našoj varijanti predložiti republičkim organima i takva rješenja?

GRANIĆ: Taj problem ima dvostruku dimenziju. Međusobno povezivanje sistema radi ostvarivanja zajedničkih koristi jest jedan problem. Dimenzioniranje vlastitog razvoja na temelju uvoza ili kupnje energije jest drugi problem. Ovdje je danas prisutan i direktor sektora za eksploataciju koji može reći da je ovaj problem prisutan i danas, samo se rješava bez buke zato što se na tržištu može naći energija. Jedan od pravaca može biti uvoz energije, ali se to onda mora riješiti kroz sistem sa garantiranim isporukama, i to može biti jedna od varijanti bilo za duže ili kraće razdoblje, za premoštavanje određenih problema ili jednostavno kao orijentacija na duže razdoblje.

TKALČEC: Teško je govoriti o dugoročnoj kupnji električne energije u inozemstvu zbog prilika kakve su danas kod nas, jer jednostavno rečeno mi to nismo u mogućnosti ugovoriti. Prošle zime, na primjer, elektroprivredi Jugoslavije odobreno je 10 milijuna dolara za kupnju električne energije u inozemstvu jer je elektroenergetska situacija bila loša i prijetilo je ograničenje potrošnje električne energije. Ova je uvezena iz Švicarske, ali je do danas još nismo platili zato što nema deviza. Ovo nije prvi takav slučaj i nije teško pretpostaviti da možemo ubuduće očekivati probleme oko uvoza kad nam energija bude nužno potrebna, a danas se može momentano naručiti jednim telefonskim pozivom.

Određeni plan dugoročnije orijentacije na uvoz električne energije ne postoji, ali je razmjena odnosno kupnja energije na kraći rok vrlo intenzivna. Ovdje treba zauzeti jasne stavove kako postupiti u perspektivi i elektroenergetski sistem treba pravovremenom izgradnjom pripremiti u tom smislu. U svakom slučaju, pojačavanje prijenosne mreže s inozemstvom omogućava i realizaciju ugovora za kupoprodaju električne energije i, što je posebno važno, daje u paralelnom radu veliku pogonsku sigurnost elektroenergetskog sistema.

Nadalje, jasno treba reći, s obzirom na temu o kojoj raspravljamo, da će u idućim godinama elektroenergetska situacija biti sve teža i da će raspada elektroenergetskog sistema biti sve više sa sve težim posljedicama zato što će potrošnja energije biti svake godine veća, a izgradnja elektrana i prijenosne mreže zaostaje za potrebama, što će se nakon 1990. godine odraziti tako da će nedostajati električne energije. Mi smo u Hrvatskoj prošle godine kupili oko 2 milijarde kWh izvanbilančne energije u zemlji i inozemstvu, a ove godine do danas već oko 800 milijuna kWh. Ako smo dosad imali potrebe za ovom kupnjom bilo iz razloga optimiranja proizvodnje ili da pokrijemo manjak energije, te će potrebe idućih godina biti veće. Pitanje je da li ćemo mi i ubuduće moći kupiti tu energiju, bez obzira na to kolika će biti njezina cijena. Ako problemu pristupimo odmah planski i dugoročno, možemo učiniti nešto, iako se propušteno dosada neće moći nadoknaditi.

Električnu energiju u inozemstvu kupujemo najvećim dijelom u Italiji, Švicarskoj i Austriji i činjenica je da je to zapravo francuska energija. Mi smo svojevremeno pokušali uraditi da nam npr. Italija vrši tranzit energije koju bismo sami mogli kupiti u Francuskoj, no nismo naišli na dovoljno razumijevanje partnera, pa je ostalo na tome da kupujemo od susjednih zemalja koje, mora se reći, ne iskorištavaju nekorektno svoje mogućnosti, ali ipak imaju korist od takvog posla.

Podacima o nedostajućim MW idućih godina, odnosno o nedovoljnoj proizvodnji električne energije pojedine godine, treba dodati i manjkove koji nastaju kad se uvažavaju mjesečne, tjedne i dnevne količine potrebne energije i moguće proizvodnje, pa konačno i satni raspored potrebne proizvodnje u toku dana, jer u globalnim planovima bilance daju više optimizma nego što se stvarno realizira.

Situacija o osiguranju električne energije potrošačima bit će sve teža iz godine u godinu i svako daljnje odgađanje izgradnje izvora električne energije s potrebnom prijenosnom mrežom u zemlji, kao i jače povezivanje s evropskim interkonekcijom uz rješenje dugoročne suradnje znači samo to: kad će početi ograničenje potrošnje električne energije i u kojem opsegu će se morati provoditi. Raspadi elektroenergetskog sistema prethode ovakvim događajima.

GRANIĆ: Još samo jedno objašnjenje koje povezuje ono što je rekao Tkalčec i probleme iza 1990. godine koji su ovdje navedeni. Ovih 300 MW ako prevedemo

nabavljenu energiju u potrebnu izgradnju sistema, nedostaju u prilikama kada s izgrađenim elektrana- ma možemo zadovoljiti ukupnu potrošnju. Ako bi tretman elektroprivrede u osiguranju tekućih goriva bio takav u razdoblju nakon 1990. godine kakav je bi u posljednjih nekoliko godina, onda onim brojkama potrebnoj izgradnji treba dodati još 300 MW.

CVETKOVIĆ: Rekli ste da se i danas realizira uvoz, a čuli smo i koliki je. Međutim, taj uvoz se ne planira za pokriće konzuma iz čega slijedi povećana vjerojatnost raspada sistema budući da mreža nije dimenzionirana za takav uvoz. Kao jedan od bitnih faktora koji se pojavljuje kod raspada EES jest manjak jalove energije. Ne bi li bilo potrebno ako ne za stalnu orijentaciju, a ono bar za premoštenje teškog perioda, dimenzionirati mrežu i izvore jalove energije na način koji bi omogućio nabavu energije bilo u Evropi, bilo u Jugoslaviji. To su relativno male investicije. Da li se to nalazi u našim planovima?

GRANIĆ: U uvjetima kada se elektroenergetski sistem planira i realizira na način kao što je to kod nas, onda se očito nameće rješenje da bi se mreža morala dimenzionirati s jednim većim stupnjem pouzdanosti nego u normalnim uvjetima planiranja i izgradnje. Tada se mreža nameće kao bitan faktor sigurnosti na tom području. Mislim da bi to mogla biti određena logika (princip) u onoj mjeri u kojoj se to može realizirati. Očito je da se mrežom može ublažiti dio poteškoća koje se pojavljuju s obzirom na nepouzdanost proizvodnih postrojenja, neodgovarajuću dinamiku ili kašnjenja u izgradnji. Mislim da to nije karakteristično za mrežu, nego je uvijek prisutno. Kad je veća neizvjesnost u jednom segmentu sistema, potrebno je težih povećanja sigurnosti u drugome segmentu sistema. Dakle, ako uzmemo faktor naizvjesti u pogledu izgradnje proizvodnih postrojenja, onda moramo adekvatno razmišljati kako pomiriti zahtjeve i potrebe kroz mrežu, ali u okviru raspoloživih sredstava. Jer, ponovno naglašavam, osnovni problem razvoja neće biti samo potrebna izgradnja MW nego i financiranje takve izgradnje. Toga moramo biti svjesni.

CUKROV: Raspada sistema je bilo. Ovaj od prošle godine je karakterističan. Po meni raspada će i dalje biti. Međutim, ono čega se bojim jest to da ćemo nakon 1990. g. imati mrak, redukciju potrošnje električne energije i učestalije raspade. Kada se energija mora reducirati, onda nastaju i problemi u vođenju sistema. Mi sistem ne gradimo za redukciju. Prema tome, problem je mrak koji će nastati nakon 1990. godine. Doktor Granić je ovdje iznio podatke i oni su korektni. Uza sve što imamo i što će do 1990. godine biti izgrađeno, i uz ono što Hrvatska kupuje u drugim republikama, već 1990. godine može se očekivati početak ozbiljnih redukcija a tu će onda nastati i problemi vezani za vođenje i raspade sistema.

Prvo moram reći da su oba članka vrlo korektno napisana i raspad sistema tretiraju korektno. To govo-

rim i zato što sam bio predsjednik komisije. Izvještaj o raspadu je dokraja stručno izrađen, obrazložen i ima stručnu podlogu.

Međutim, iza tog materijala stoje i određeni drugi zaključci koji nisu napisani, i o tim saznanjima treba danas više razgovarati. Kolega Cvetković je počeo time da je električna energija roba, ali kolegice i kolege iz sredstava informiranja trebaju razumjeti da sistem može funkcionirati ako je električna energija kvalitetna (frekvencija, napon). Mi možemo prodavati na tržištu, recimo, frižidere koji imaju određenih grešaka i koji nisu kvalitetni, možemo prodavati i druge aparate koji nisu visokokvalitetni, no električnu energiju ne možemo prodavati jer će sama sebe isključiti i dovesti do raspada sistema. Dakle, kvaliteta električne energije mora postojati u konkretnom slučaju na pragu prijenosa.

U prijenosu je potrebno da postoje potporne točke napona, a to znači jalova energija. Nije dovoljno graditi samo elektrane, nego je potrebno i povezivanje s drugim sistemima. Razvoj republike se ne može bazirati isključivo na uvozu električne energije, ali se s drugim sistemima izvan naše zemlje treba povezati. Često se govori o padu potrošnje energije. Treba konstatirati da potrošnja električne energije raste, a ukupna potrošnja energije pada u drugim zemljama. Mislim da se prijenosom električne energije u razvoju elektroprivrede treba više i ozbiljnije baviti.

Razmatrajući uzroke raspada 1.8.1986. došli smo do ove konstatacije: »Da je bila realizirana izgrađenost prijenosne mreže i njena povezanost ne bi bilo raspada.« Onome što je zacrtano treba dati prioritet da se izgradi i dovrši jer time smanjujemo gubitke, o čemu također elektroprivreda treba voditi brigu jer time povećavamo i stabilnost. Treba graditi međusobne veze. Prema podacima i saznanjima, Hrvatska nema dovoljno energije. Potrošnja električne energije raste pa će stoga biti potrebno uvoziti manjak.

Nuklearni program više nije stručno pitanje. On je postao političko pitanje, i to ozbiljno političko pitanje. Elektroprivredi je dužnost da kaže politici podatke: porast potrošnje će biti toliki i toliki, iz ovih i onih izvora može se namiriti toliko i toliko, a nedostatak treba kupiti izvan zemlje. Problemi koji će nastati u prijenosu su takvi i takvi ili ćemo se odlučiti na mrak ili na zaustavljanje razvoja industrije.

Prema tome, moj je zaključak da u elektroprivredi paralelno treba razvijati izgradnju objekata proizvodnje i povezivanje prijenosne mreže prema susjedima i unutar Republike. To nameće izgradnju voda Rijeka – Zagreb i Zagreb – Banja Luka. Moramo se povezivati i prema Zapadu, jer istočnim elektroenergetskim sistemom ne možemo raditi paralelno.

Još bi upozorio da i elektroprivreda sama treba napraviti određene napore. U prvome redu postrojenja treba održavati, modernizirati i poboljšati upravljanje tim postrojenjima. Samo izgradnja novih prijenosnih vodova ili proizvodnih objekata neće riješiti pitanje stabilnosti sistema. Najlakše je sve staviti u paralelu, pa imati manje briga. Sistem treba voditi optimalno zbog troškova, jer troškovi nisu mali. Znamo

da svako pokretanje termoelektrane košta milijune. Dakle, treba misliti i na upravljanje tim sistemom i na vođenje tog sistema. Daljnji skok je centralizirano daljinsko upravljanje. Aako se gradi dispečerski centar, on mora doći u svoju funkciju, ali ne u funkciju tako da se bavi sitnicama, nego da se iz njega vodi sistem.

I da zaključim, ono što mene brine u elektroprivredi jest rasipanje kadrova, stručnih kadrova, i broj kadrova, a mogućnosti školovanja i razvoja tih i novih kadrova postaje kritična. Nema vođenja sistema bez kadrova i opreme. I u to elektroprivreda mora uložiti dodatna sredstva. Ne može se voditi sistem ako onaj tko ga vodi ne zna kako izgledaju ti objekti. Znači, elektroprivreda treba školovati svoje kadrove, ulagati u njih, provjeravati njihovo znanje i adekvatno ih platiti za taj rad. **Sistem neće biti održan i neće biti stabilan s onima koji rade u računovodstvu**, ali ako ne ulažemo u nauku i službe koje vode taj sistem i, sasvim jasno, ako ne platimo te ljude, onda je sasvim sigurno da će taj sistem biti nestabilan ili će nastajati češći raspadi.

KALEA: Iz iskustava svjetskih i naših raspada sistema uvijek su evidentni: dugoročni, načelni, uzroci za raspad, neposredni povod raspadu i stanovite posljedice raspada. Do sada smo očito razgovarali o općim uzrocima, koji vjerojatnost raspada čine većom ili manjom.

Prethodni govornici, okrećući se bližem razdoblju, od sljedećih pet ili sedam godina, zapravo zaključuju da više uopće nismo u prilici da bitno utječemo na te načelne uzroke zbog kojih je vjerojatnost raspada sistema povećana. Stoga se moramo usmjeravati na mjere za smanjivanje vjerojatnosti da dođe do neposrednog povoda, te da posljedice takvog raspada budu prostornim i vremenskim obuhvatom te izgubljenom energijom što manje.

Smatram da zato imamo hardverske i softverske mogućnosti. Morali bismo moći stručno predložiti što se može učiniti u hardveru, a s obzirom na vremenske, fizičke i financijske dimenzije naglašeno bismo se morali posvetiti tome što možemo i moramo napraviti u softveru; da znanjem izvučemo najviše.

U hardverskom pogledu četiri mogućnosti izgradnje izvora radne energije dopunio bih, ravnopravno, odgovarajućim kapacitiranjem prijenosne mreže i izvora jalove energije. Što se tiče izvora jalove energije, to vremenski, fizički i financijski nije nesavladivo.

Dakle, odgovarajuće dimenzioniranje i strukturiranje prijenosne mreže i s tim u vezi, ili zajedno i u neraskidivoj vezi, osiguranje izvora jalove energije trebale bi biti ravnopravne alternative izgradnji izvora radne energije u situaciji u kojoj jesmo. Ne kao jedino rješenje, već za prevladavanje situacije koju imamo.

U pogledu podešavanja neposredno predstojeće izgradnje, pa čak i na zatečenom stanju, radi smanjenja vjerojatnosti kvarova i smanjenja posljedica raspada, moramo planirati život u situaciji u kakvoj ćemo biti. Struktura mreže treba biti sa što više rezerva.

Pritom trebamo poticati osiguranje rezerva u širem smislu i izvan elektroprivrede. Naprosto, moramo izgraditi stav da se visoka pojedinačna sigurnost potrošača ne može riješiti bez rezervnih izvora elektrirčne energije (dizel-agregati).

Smišljena sekcioniranja u mreži, čak postojeće mreže, ili uz vrlo male dogradnje, smišljena selektivnost, pa i smišljeno planiranje rasterećivanja, što automatski a što dogovoreno prema prioritetima, mjere su na kojima moramo ponajprije softverski raditi. Treba prilagođavati mrežu u pogledu njene osnovne i pomoćne fizičke strukture, te načina vođenja njezina pogona, kako bi ona u tom pogledu bila što bolje pripremljena.

Vjerojatnost kvarova i obuhvat raspadom sistema smanjuje i posvemašnja kontrola kvalitete, a to je nešto što praktično ne košta novaca, jer za to ima kadrovskih i organskih rezerva koje treba bolje iskoristiti kako u elektroprivredi, tako i kod svih koji sudjeluju u lancu konačnog oblikovanja našeg proizvoda.

Uz manje dogradnje i adaptacije treba kritične elektroenergetske objekte pripremiti za lakše uspostavljanje njihova pogona nakon raspada.

I, na kraju: kada se raspad dogodi — sveobuhvatna i iskreno iznesena obavještenost morala bi biti organizirana, a provedba proizašlih mjera realizirana bez odlaganja.

BRUKETA: Raspad elektroenergetskog sistema, odnosno bolje reći učestalost raspada elektroenergetskog sistema, krajnja je konzekvenca ukupnog događaja u elektroprivredi i u vezi s elektroprivredom. Članci koji su objavljeni u časopisu »Energija« vrlo stručno i hrabro pokušavaju da iz toga neugodnog događaja izvuku što veću korist za budućnost, da bi neke probleme s kojima se susrećemo izvukli na površinu, da bi se s njima ozbiljnije bavili na dobrobit ukupnog funkcioniranja elektroprivrede. Iznio bih neka zapažanja koje možda neće zvučati prijatno, ali mislim da je prilika da se ta razmišljanja iznesu.

U vezi s elektroenergetskim sistemom normalno bi bilo da imamo precizna strateška opredjeljenja u operativnoj provedbi. Umjesto toga imamo vrlo nejasnu situaciju, lutanja i neizvjesnosti, i ne znamo kojim ćemo pravcem krenuti. Ukupna klima za definiranje i realizaciju planova elektroprivrede dosta je nepovoljna. Naime, imamo situaciju da se najširi krug ljudi interesira za ovu problematiku, što je povoljno i poželjno. Međutim, nepovoljno je da ljudi raspravljaju o toj problematici s nedovoljnom razinom poznavanja problema, opterećeni predrasudama (NE-program) i vrlo se brzo opredjeljuju, i to dozvolite mi to da kažem kao čovjek koji se bavim tim problemima loše opredjeljuju.

Tu situaciju imamo u opredjeljivanju najšireg javnog mnijenja, a u to uključujem i većinu sredstava javnog informiranja, što se u određenoj mjeri održava nepovoljno. Međutim, vrlo je opasno da se tako ponašaju organi i strukture koji odlučuju i dovode u pitanje rješenja koja predlaže elektroprivreda, ne sagledava-

jući ukupne vrlo nepovoljne i štetne konzekvence takvih opredjeljenja.

Zatim, tu je vrlo velik problem jugoslavenskog nedogovaranja na rješavanju energetske, a u sklopu toga i elektroenergetskih problema. Ta su dogovaranja blokirana praksom teškog dogovaranja o ukupnim temama od pojedinačnog i zajedničkog jugoslavenskog interesa.

Taj se segment ne može riješiti bez šireg zahvata u domeni realizacije zajedničkih ulaganja koji je nužna pretpostavka za dogovaranje u sektoru elektroenergetike. Ova pitanja prelaze nadležnost elektroprivrede i zahtijevaju angažiranje odgovarajućih republičkih organa. Tu je i problem da se izgradnja elektroenergetskih objekata opterećuje zahtjevima i potrebama koje nisu u užem smislu dio energetske objekata i, pojednostavljamo rečeno, imamo prebacivanje neispunjenih očekivanja društveno-političke zajednice, ostalih društvenih struktura i privrednih subjekata na troškove izgradnje objekata. Ono što se nije riješilo u normalnoj proceduri zbog opće nestašice sredstava pokušava se riješiti preko elektroenergetskih objekata, a to stvara velike teškoće u izgradnji novih elektroenergetskih objekata.

Sljedeći krupni problem jest situacija da nam dnevno-problematika trajno potiskuje teme iz područja dugoročnog razvoja. Nametanje dnevne problematike pred drugim temama uvjetovano je ekonomskim položajem i tretmanom elektroprivrede. Bilo bi vrlo korisno napraviti analizu, čime se bave naša samoupravna stručnjaka nanivou sistema, i iz jedne takve statistike bi se precizno vidjelo da nam grupa tema o dnevnom preživljavanju potiskuje jedno vrlo značajno područje, po meni neopravdano i nerazumno.

Tu postoje i subjektivne slabosti u elektroprivredi. Mi u načelu priznajemo neminovnost zajedničkih rješenja koja predstavljaju nekakav tehnički i ekonomski optimum. Međutim, u praktičnom ponašanju elektroprivredne organizacije i pojedinci iz elektroprivrede ipak su nedopustivo opterećeni problemima i aspektima lokalnoga. Ta praksa bi se morala što prije riješiti jer nam stvara poprilično problema u izboru najpovoljnijih rješenja.

Tu je i značajno stručno pitanje da se stupanj sigurnosti planira isključivo na pragu proizvodnje električne energije. Mi smo vjerojatno u poziciji nakon ovih iskustava oko raspada da što hitnije prijedemo na planiranje sigurnost snabdijevanja potrošača najmanje na pragu preuzimanja energije iz 110 kV mreže. Pomicanjem granice planiranja sigurnosti snabdijevanja potrošača uključili bismo u proračune i problem dostatnosti prijenosnog sistema, problem jalove energije, pitanje iz domene vođenja sistema i dr. To je jedna od najvećih pouka događaja o kojem danas razgovaramo.

Društvo je elektroprivredi delegiralo problem razvoja elektroenergetskog sistema, i to je zadatak koji se bezuvjetno mora realizirati. Mislim da će elektroprivreda vrlo brzo izaći pred republičke organe s novim prijedlogom strategije razvoja i operativnim pla-

novima, respektirajući realnu mogućnost ostvarenja pojedinih varijanti.

Mislim da ćemo morati ići nužno na rješenja koja se mogu brzo realizirati, jer ćemo u protivnom imati razdoblje od nekoliko godina nakon 1990. godine u kojem će se pojaviti vrlo ozbiljni manjkovi električne energije. Jedina realna i brzo ostvariva rješenja za navedeno razdoblje jesu izgradnja termoelektrane na uvozni ugljen uz postojeće termoelektrane (Pločin, Sisak, Zagreb) i pojačanje superponirane 400 kV mreže.

CVETKOVIĆ: Mislim da smo iscrpili pitanje izgrađenosti, pa prijedimo na segment vođenja sistema. Kakvi su današnji principi vođenja u odnosu na ekonomičnost i u odnosu na sigurnost?

SINOVIĆ: Poznata je današnja konstrukcija hijerarhijskog upravljanja u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije. Svaka elektroprivreda republike odnosno pokrajine odgovorna je za vođenje svojih elektroenergetskih sistema. Naime, samo zbir bilanci pojedinih elektroprivreda čini elektroenergetsku bilancu Jugoslavije.

Od 1974. godine jugoslavenski elektroenergetski sistem je u paralelnom radu sa zapadnoevropskom interkonekcijom UCPT. Ovaj paralelan rad donio je niz prednosti jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu, kao što su kvalitetna frekvencija, povećana sigurnost pri ispadu većih proizvodnih jedinica u zemlji i veliku razmjenu električne energije u vrijeme manjkova odnosno viškova u našem elektroenergetskom sistemu.

Već godinama elektroenergetska bilanca naše Republike ima znatne manjkove unatoč dovoljnoj izgrađenosti elektroenergetskog sistema Hrvatske. Znamo da je uzrok tome nedostatak dovoljnih količina tekućeg goriva za rad termoelektrana koje se planiraju sa svega 60% raspoloživih kapaciteta. Manjak električne energije podmirujemo kupnjom znatnih količina energije u zemlji (prijašnjih godina je bilo, a narednih sve manje) ili iz inozemstva (klirinško tržište). Električna energija u pravilu je skuplja u zemlji nego u inozemstvu. Mislim pritom na konvertibilno tržište. Najveća konzumno područje u Republici je sjeverozapadno, a istovremeno s najmanje raspoloživih kapaciteta, s najslabije izgrađenom interkonektivnom mrežom. Upravo zbog toga je ovaj dio elektroenergetskog sistema najviše ugrožen, pa je neka-ko logično da su raspadi u tom dijelu sistema najčešći. Ako bismo samo gledali tehničku stranu vođenja elektroenergetskog sistema, onda bi neminovno na području sjeverozapadne Hrvatske morali raditi TE Sisak i TE Rijeka. Supstitucija tih elektrana dosada je bila moguća bilo kupnjom električne energije u zemlji ili s klirinškog tržišta, ali odmah da napomenem da će u narednom razdoblju morati raditi punim kapacitetom. No postavlja se pitanje odakle gorivo.

Rečeno je prije da nakon 1992. godine nastaju veliki manjkovi električne energije u Hrvatskoj. Iz toga on-

da proizlazi jasno da će biti još teže voditi elektroenergetski sistem, a naročito ako budemo morali provoditi ograničenja potrošnje električne energije.

Mislím da već kasnimo s gradnjom elektroenergetskih objekata ili zakupom snage i energije iz drugih elektroenergetskih sistema u zemlji. Tu mislim reći na izgrađenost izvora i prijenosne mreže.

Pred eksploataciju se postavljaju vrlo veliki zadaci, a da bismo im mogli odgovoriti, moramo biti adekvatno tehnički i kadrovski ekipirani.

CVETKOVIĆ: Istakao bih tri karakteristične stvari vezane za raspad EES, o kojima je bilo riječi danas ili u uvodnim člancima.

Kao prvo, svaki raspad sistema posljednjih godina pogodio je sjeverozapadnu Hrvatsku, tj. šire zagrebačko područje, dok su se ostali dijelovi sistema spašavali vlastitim izvorima. TE Sisak kao jedini značajni izvor na zagrebačkom području u pravilu je izvan pogona radi štednje goriva.

Drugi moment je iskustvo s radom tehničkog sistema upravljanja (TSU). Realizacija tog sistema u elektroprivredi Jugoslavije znatno kasni, a raspad je pokazao, što je i svjetsko iskustvo, da samo jedan funkcionalni sistem koji je u pogonu, konkretno dispečing ZEOH, nije dovoljan ako nisu raspoložive informacije iz ostalih dijelova EES, a pogotovo ako dispečer JUGEL-a nema dovoljno informacija.

Treći moment je vezan za mogućnost velikih termoblokova da ostanu u pogonu za vrijeme raspada kako bi se povratak u normalno stanje realizirao što prije. Kakav je vaš komentar vezan za ovu problematiku?

KOLEGA: U nastavku diskusije i na temelju pitanja dr. Cvetkovića treba naglasiti da su se do sada uglavnom kupovali i gradili termoblokovi jeftinije izvedbe s visokim tehničkim minimumom i slabim mogućnostima regulacije. Izbor je prioritetno uvjetovala cijena blokova, pa onda tehničke karakteristike koje bi EES-u omogućavale veću elastičnost. Rekonstrukcije postojećih velikih termoblokova za rad na vlastitoj potrošnji bile bi preskupe, pa i nemoguće.

Za spašavanje EE sistema kod velikih poremećaja veću ulogu bi trebala odigrati podfrekventna zaštita, pa joj treba posvetiti više pažnje pri instaliranju i održavanju. Kod raspada 1. kolovoza i onih ranijih podfrekventna zaštita nije proradila u očekivanom opsegu.

Da li dežurni dispečeri mogu brzom intervencijom spasiti EES kod većih poremećaja?

Uglavnom mogu ako imaju na raspolaganju dobro i dovoljne informacije iz EES-a i, svakako, dobre i pouzdane telekomunikacijske veze. Npr., dispečeri su brzom intervencijom u pretekle dvije godine nekoliko puta spasili i održali EES kod zaista katasrofalnih prilika u EES-u (visoko opterećenje DV-a i naponske prilike oko 330 kV) a da to nitko sastrane nije primijetio niti komentirao. Kad govorimo o vodenju EES-a, uvijek moramo imati na umu da u Jugoslaviji imamo osam elektroprivreda plus JUGEL, s osam jedna-

ko važnih dispečerskih centara i dispečerskim centrom JUGEL-a koji nema dovoljno izraženu izvršnu vlast.

Svaka elektroprivreda vodi svoju politiku iz koje nisu izuzeti dispečeri. Dispečeri, koliko god imali na umu koordinaciju u vodenju EES-a, imaju iza sebe svoju elektroprivredu koja mu nalaže kako se mora ponašati, tako da često u kriznim situacijama dispečer JUGEL-a nema snage poduzeti valjane mjere za održavanje normalnih prilika u EES-u.

Opremljenost dispečerskih centara u funkciji vodenja u Jugoslaviji slaba je i nedovoljna. Mi u Hrvatskoj na putu smo da u skoroj budućnosti imamo najbolje opremljeni dispečerski centar sa svim važnim informacijama iz EES Hrvatske.

O prilikama i događajima u EES-ima susjednih republika i dalje nećemo imati informacije. Opremljenost ostalih centara u Jugoslaviji obično je takva da dispečeri imaju informaciju samo s graničnih republičkih vodova, a o stanju i konfiguraciji sistema unutar republike nemaju nikakvih informacija.

Pri posljednjem raspadu prilike na međurepubličkim vodoovima nisu upućivale na kritičnost situacije u EES-u. Početkom dublje krize i raspada izazvali su ispad DV 220 kV u centralnom dijelu EES B i H. O prilikama na tim dalekovodima dispečer B i H, a pogotovo dispečeri Hrvatske i JUGEL-a nisu imali nikakvih informacija, pa nisu ni mogli pravovremeno intervenirati. Možemo reći da dispečer JUGEL-a koji bi trebao koordinirati rad u EES-u Jugoslavije ima najmanje uvida u stanje i događaje u EES-u Jugoslavije.

Drugi veliki problem kod vodenja EES-a u kriznim situacijama jesu telekomunikacijske veze, kojih ili nemamo dovoljno u rezervi ili su na nekim pravcima prestare. Tako dok s računalima ulazimo u 21. stoljeće, sa TK-vezama zaostajemo u razvoju. Znamo da je rad računala I EES uvjetovan dobrim TK-vezama.

Posljednja dva raspada dogodila su se ljeti! Zašto? Naš 400 kV prsten »Nikola Tesla« otvoren je u toku godine 80% vremena zbog popravka ili rekonstrukcije dalekovoda i postrojenja iako su ona novijeg datuma.

Možemo li govoriti o lošoj opremi ili o lošem izvode-nju pri gradnji i održavanju? Vjerojatno ima jednog i drugog, ali je činjenica da je navedeni prsten često otvoren na više mjesta i često neopravdano dugo.

Navodno zbog nemogućnosti uvođenja prekovremenog rada radovi na dalekovodima i postrojenjima izvode se svakodnevno od 7 do 14 sati umjesto od 7 do 19 sati, pa se dalekovodi isključuju mnogo veći broj dana od potrebnog.

Kako se radovi izvode uglavnom za lijepog vremena, prsten »Nikola Tesla« obično je otvoren ljeti. Kako su ljeti i mnoge TV izvan pogona zbog remonta, EES je tada znatno oslabljen i mogućnost djelomičnih raspada EES-a su veće.

Sreća je da se raspadi događaju ljeti kad se TE manje koriste, a sa HE je moguće pokriti potrošnju, pa su zastoji u opskrbi potrošnje relativno kratki. Zimi, kad su TE nosioci u EES-u, raspadi bi trajali mnogo

duže zbog dugog i teškog ponovnog pokretanja TE, a sa HE nismo u mogućnosti zadovoljiti sve potrebe za električnom energijom.

OŽEGOVIĆ: Oslonit ću se u svojem izlaganju na vlastite spoznaje, ali dobrim dijelom na uvodno izlaganje i izlaganje prethodnih govornika.

U procjeni situacije, a pogotovo u definiranju strateških ciljeva treba proći od činjenice da elektroprivredna djelatnost djeluje i posluje, tehnološki uvjetovano, kao veliki sistem.

Strateške ciljeve ću sistematizirati, prema svojem profesionalnom viđenju, u 5 programa. Ti su programi, po meni, ravnopravni, makar nisu po cijeni koštanja jednako intenzivni.

Prvi program ću nazvati »program P«, a pod P razumijevam, statički gledano, instaliranu snagu u elektranama po veličini i lokaciji, a dinamički, dispečerski gledano trenutno angažiranu snagu tih elektrana. U tom smo pogledu, čuli smo, a i inače znamo, suočeni sa stagnacijom građenja, koja će nam se grubo osvetiti u zadnjoj deceniji ovog stoljeća. O uzrocima tog trenda možda ću nešto kasnije reći. »Program P«, utoliko zaostaje u svom razvoju, može se do stanovitih granica kompenzirati intenzivnijim razvojem drugih programa. Za djelatnost prijenosa električne energije bitna je konstatacija da su postojeći i budući potencijalni izvori (P) koncentrirani na istočnoj polovini SFRJ, a značajan dio potrošnje je na zapadu. Suočeni smo, dakle, s prijenosom električne energije od istoka prema zapadu na prosječnoj udaljenosti od više stotina kilometara, a to je već područje veleprijenosa sa svim specifičnim zahtjevima. Podrška sa zapada, od zemalja UCPT, donekle ublažava ovaj problem, ali upravo događaj 1.8.1986. prošle godine dokazuje da se na tom ne možemo osloniti ako želimo biti **uvijek** stabilni.

Drugi program ću nazvati »program Q«, a pod Q razumijevam reaktivnu snagu. Na svim sastancima i savjetovanjima desetljećima govorimo i slušamo o manjku reaktivne snage u zapadnom dijelu sistema. Krajnje je vrijeme da se u tom pogledu prijeđe s riječi na djela, a to znači da se investiraju odgovarajući novci u kompenzacijske uređaje. Regulacijske karakteristike tih uređaja moraju odgovarati dinamici očekivanih procesa, a oni su u kritičnim situacijama vrlo brzi. Današnja tehnika nudi dobra i pouzdana rješenja, samo je pitanje koliko ih prati domaća industrija.

Treći program ću nazvati »program Z«, a pod Z razumijevam reaktanciju mreže i njezinih elemenata. Da bi mreža bila sposobna za svoju tehnološku funkciju, a to je prijenos električne energije, njezina reaktancija mora biti što manja, drugim riječima treba graditi nove prijenosne objekte. To ne znači da se problem rješava gradnjom vodova i stanice bilo gdje. Gradnja objekata mreže prijenosa mora biti usklađena s konstatacijama »program P«, iz čega slijedi da treba, barem u zapadnom dijelu SFRJ, dovršiti takozvanu drugu etapu 400 kV mreže, s posebnim naglaskom i prioritetom na veze s mrežom UCPT. Ti razmjerno

jeftini (manje skupi) investicijski zahvati povećavaju stabilnost mreže, smanjuju rizik od budućih raspada sistema i ublažuju posljedice očiglednog zaostajanja na realizaciji »programa P«.

Četvrti program je »program TSU«, a znamo da je TSU kratica za tehnički sistem upravljanja. To proizlazi i iz uvodnog referata. Lako ćemo se složiti da 1.8.1986. ne bi došlo do raspada da je postojala odgovarajuća brza razmjena informacija među regijama SRH i sa susjednim dispečerom BiH. Učešće dispečera ZJE, upravo zbog neizgrađenosti TSU, nije se moglo ni očekivati.

Peti program je »program održavanja«. I taj program je u zaostatku, kao i svi prethodni. »Socijalizirana« cijena električne energije ne daje nam dovoljne prihode da efikasno održavamo postrojenja u punoj pogonskoj spremnosti. Na razini Stručnog savjeta za prijenos ZEOH-a godinama pokušavamo na to utjecati, ali bez uspjeha. Zaboravlja se da se razmjerno malim ulaganjima u održavanje može donekle kompenzirati zaostajanje u realizaciji prethodnih programa.

Bez ambicije da sam kroz izloženih »pet programa« obuhvatio sve naše probleme, još bih jednom istakao da nijedan od navedenih programa (P, Q, Z, TSU, održavanje) ne smijemo preferirati, a o omjerima troškova u uskim granicama, možemo diskutirati, ali ne predugo.

MILEUSNIĆ: Nekoliko riječi o problematici telekomunikacijskih veza.

Ne mogu se dobro voditi elektroenergetski sistemi ako ne postoje podaci. Ako npr. svi podaci iz sliva Drave stižu preko jedne zakupljene PTT veze i preko samo jedne naše VF veze, onda znamo kako to može funkcionirati i da će po svim računima vjerojatnosti jedne od tih veza u toku mjeseca biti najmanje jedanput izvan pogona, i to ne samo nekoliko minuta već i mnogo duže.

Zbog toga bi bilo nužno i hitno da »Elektroprivreda« nađe rješenja, da se izradi program izgradnje novih veza koji ne bi čekao realizaciju Tehničkog sistema upravljanja, već koji bi se mogao u njega uklopiti. Veze postaju sve više usko grlo u normalnom funkcioniranju vođenja elektroenergetskog sistema.

A sada nešto o održavanju postrojenja, i to ne o opremi i organizaciji, s kojima nema kakvih posebnih poteškoća, već su značajna triju drugih problema: novčanih sredstava za održavanje, položaja djelatnosti održavanja u društvu i načinu odlučivanja o sredstvima.

U »Elektroprenosu« Zagreb izradili smo 1978. godine elaborat o stanju postrojenja i srednjoročni program održavanja postrojenja od 1978. do 1985. godine. Nakon toga su slični programi izrađeni i u drugim elektroprivrednim organizacijama.

Za prijenosnu djelatnost na nivou ZEOH dobili smo prosječne stope za potrebe investicijskog održavanja koje su iznosile 1,5% od nabavne vrijednosti osnovnih sredstava.

Uz valorizaciju osnovnih sredstava i korekcije vrijednosti osnovnih sredstava prema tržišnim cijenama opreme stopa bi iznosila 0,8% od tako ispravljenih vrijednosti osnovnih sredstava.

Ako promatramo unazad ostvarenja utrošenih sredstava za investicijsko održavanje od 1978. godine, utvrditi ćemo da smo u tom periodu dobivali i trošili oko 50-60% od potrebnih izračunatih sredstava.

Ako je realno sagledana potreba, a smatramo da jest, a dobivali smo svega 50%, onda se može lako zamisliti u kakvom stanju mogu biti postrojenja.

Zadnje dvije godine stanje se nešto popravilo u pogledu investicijskog održavanja, ali ostaje gorući problem zamjena i rekonstrukcija postrojenja.

Za ovakvo stanje postoje određeni razlozi. Ima in nekoliko. Prvi je sigurno ekonomski položaj elektroprivrede, o kome ne bi trebalo posebno govoriti, ali je pitanje da li se baš mora štedjeti na tih 1 ili 2% za investicijsko održavanje i za zamjene i rekonstrukcije. Očito da štedimo na pogrešnom mjestu.

Drugi uzrok je društvena klima. Ovo društvo u cjelini ne posvećuje dovoljno pažnje održavanju svojih dobara. Pogledajte samo stubište naših zgrada, fasade, ceste i sportske objekte. Mi se kao zemlja, kao društvo ne borimo da očuvamo ono što imamo. Mi smo kao društvo skloniji da puštamo u upotrebu nove objekte. Ne kažemo da novi objekti nisu potrebni, potrebni su i te kako, ali smo skloniji da to više cijesimo. Održavanje postrojenja i objekata mukotrpan je svakodnevni posao koji se vidi uglavnom kada nije napravljen. Međutim kada je neki raspad sistema ili eksplozija opreme, onda se vidi i spominje održavanje.

Taj rad u društvenom smislu ne vrednuje se dovoljno.

Za to ima dva lijepa dokaza. Pogledajte sada Zagreb. Najedanput se uređuju fasade, parkovi i drugo nakon 10-15 godina. Trebala nam je Univerzijada da bismo počeli uređivati fasade, i sada ih uređujemo ne zato što te fasade treba održavati već se to radi jedne sportske manifestacije. To je društvena klima. Uzmite kao drugi dokaz odlikovanja. Napravite popis koliko je radnika u ovoj elektroprivredi dobilo odlikovanje ili slična društvena priznanja zbog dobrog rada na održavanju, a koliko zbog izgradnje objekata pa ćete doći do vrlo poučnih podataka.

CVETKOVIĆ: Na ovom prikazu (tablica) prikazao sam vam planske veličine ukupnog prihoda elektroprivrede Hrvatske (bez distribucije) za 1986. godinu. Iz toga prikaza mogu se izvesti vrlo interesantni zaključci:

Nabava električne energije i goriva za termoelektrane — I. grupa troškova — iznosi 58% ukupnih troškova.

II. grupa troškova koju čine tečajne razlike, amortizacija i kamate na kredite čini 26% ukupnih troškova.

III. grupa troškova, gdje je sve ostalo, čini 16% ukupnih troškova.

UKUPAN PRIHOD ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE ZA 1986. GODINU (bez distribucije)

Planske veličine	
I. grupa	
— nabava električne energije	33 %
— nabava goriva	25 %
	<hr/> 58 %
II. grupa	
— tečajne razlike	5 %
— amortizacija	9 %
— kamate na kredite za osnovna sredstva	6 %
— kamate na kredite za obrtna sredstva	6 %
	<hr/> 26 %
III. grupa	
— obaveze po kamatama	3 %
— doprinosi	2,7 %
— bruto osobni dohoci	2,6 %
— materijalni troškovi	1 %
— investiciono održavanje	1,2 %
— hidroenergetska renta	1,2 %
— ostalo	4,3 %
	<hr/> 16 %
	<hr/> <hr/> 100 %

U tu treću grupu uključeni su investiciono održavanje u iznosu 1,2%, ostali materijalni troškovi u iznosu 1% i bruto osobni dohoci u iznosu 2,6%.

Mislim da će osjećaj reda veličine pojedinih troškova dobro poslužiti u daljnoj diskusiji.

KALEA: U Slavoniji smo u pogledu sječe šuma sasvim netipični, kako za Hrvatsku tako i za Jugoslaviju. Mi imamo samo 6,5 posto trase dalekovoda pod šumom. Međutim, od takvog skromnog investicijskog održavanja, da bismo donekle držali situaciju na zadovoljavajućoj razini, primjerice 1981. godine izdvojili smo 40 posto za sječu šuma, a 1984. godine čak 50 posto. U ostalim godinama udio je bio nešto manji, ali prigušuje ostatak potreban za investicijsko održavanje izvorne elektroenergetske strukture.

Međutim, susrećemo se s još jednim velikim problemom u području sigurnosti dalekovodnih trasa, a to je otuđivanje dijelova čeličnih rešetkastih stupova dalekovoda. U Jugoslaviji smo već imali slučajeva da je došlo zbog toga do rušenja dijela dalekovoda. U mreži Elektroprijenosa — Osijek koja čini oko 15 posto prijenosne mreže u Hrvatskoj, a u šest zadnjih godina otuđeno je oko 500 dijagonalnih elemenata, za što su podnesene krivične prijave! Tu čovjek ne zna točno kako bi bilo najbolje raditi. Išli smo u akciju s lokalnim organima unutrašnjih poslova, s mjesnim zajednicama, obavještavanjem putem štampe. Pomišljamo čak da davanje negativnog publiciteta u štampi ima zapravo suprotan efekt.

PAVLOVIĆ: Samo kratko na temu održavanja. Prije dva dana imali smo sastanak tehničkih rukovodilaca upravo zbog investicijskog održavanja i plana za 1987. godinu. Upozoreni smo da reduciramo iz plana

sve što nije isključivo vezano za proizvodnju i prijenos. Kada tako saberemo nužne zahvate, onda to još uvijek traži 25 posto više financijskih sredstava od predviđenih. Uputili smo i pismo Odboru za ekonomske odnose. Upozorili smo ih na situaciju i dodali da to nije sve, jer se u toku godine pojavljuju neki zahvati koji nisu predviđeni planom, a koji se moraju napraviti.

CUKROV: Nisam namjeravao drugi put govoriti, ali me kolega Kalea podsjetio na neke stvari. Kad se radi o održavanju, rekao bih da se u elektroprivredi radi kampanjski, kao i u drugim sistemima oko održavanja. Ovo nije prigovor elektroprivredi. Tehnika i propisi traže svoje, ali nikada nema dovoljno novca po ekonomistima. Međutim, ono zbog čega se brinem jest to da i stanovit broj tehničara radije radi u izgradnji na novim stvarima nego u održavanju postojećeg.

Ako krenemo sistematskim održavanjem, rekonstrukcijom i modernizacijom, onda će sasvim sigurno ulaganja biti ravnomjernija. Kolega Kalea već je iznio problem u vezi sa sječom šuma. Međutim, treba reći i ovo: ako budemo svake godine sjekli grančicu po grančicu, onda će se to svesti u okvire manjih zahvata.

Drugi problem su dijagonale stupova. Otudivanje dijagonala poprimilo je takve razmjere da je prošle godine na vodovima napona 110 kV i više u Hrvatskoj otuđeno 763 dijagonala, a ove je godine stanje isto. Ono što smo napravili jest da smo preporučili da se dvaput godišnje obavlja pregled. Na kraju znamo gdje se ti dalekovodi grade i gdje se otuđuju dijagonale. Na sastanku Odbora za upravu i pravosuđe na vijećima Sabora smo zaključili, da se SUP treba više angažirati na tom problemu, jer je to poprimilo jeziwe razmjere. Meni se čini da njihova akcija jenjava, a možda se i varam jer nemamo povratnih informacija.

To je vezano i za lokalne interese. To je vrlo ozbiljan problem. Ja ne znam što treba činiti. Ono što sam učinio u ime inspekcije jest da smo angažirali Republički SUP, ali će trebati možda više pregleda godišnje da bi se sačuvala sigurnost, i to jedan uoči zime i jedan u proljeće.

Treće što sam htio reći jest pitanje kvalitete postrojenja. Posebno bih skrenuo pažnju na, kako vi to zovete, a čime se ne slažem, pomoćne napone. Nisu to pomoćni naponi, već su to vitalni dijelovi postrojenja, zaštita, upravljanje itd. Prema tome, njima treba na adekvatan način posvećivati pažnju. Vi znate što smo pokrenuli poslije Jaruna. A znamo da se nije to poštivalo i u Jugoslaviji je šest trafostanica zbog toga izgorjelo.

Stoga mislim da vi kao tehničari morate posvetiti više pažnje ovom segmentu sigurnosti. Zadnje pitanje je pitanje kvalitete proizvoda. Skrećem pažnju na to da elektroprivreda treba napraviti sistem osiguranja kvalitete. Dakle, i pri preuzimanju i pri definiranju i pri kontroli treba postojati sistem. To nije samo ekonomsko pitanje već je to i pitanje razvoja. Podrža-

vam i kolegu Kalea i ostale u tome da moramo voditi brigu o kvaliteti, i to ozbiljno, jer o tome ovisi i sigurnost. Nemojte očekivati da to radi inspekcija. Vi imate Institut i vrlo stručne kapacitete.

Prije šest do sedam godina konstatirali smo da se problematikom, o čemu je ovdje govoreno, prijenosa električne energije, sigurnošću, stabilnošću i opremom osim dva do tri čovjeka u elektroprivredi Hrvatske nitko ne bavi ozbiljno. Ovo nemojte smatrati kritikom niti prigovorom, već upozorenjem za akciju da svi zajedno kao tehničko osoblje sagledamo sve probleme kako bi se povećala sigurnost cijelog elektroprivrednog sistema.

FILIPOVIĆ: Ovdje je rečeno niz novih stvari i šteta je da to nije čulo više ljudi izvan i unutar elektroprivrede. Treba pohvaliti oba izvještaja u »Energiji« i organizaciju ovog okruglog stola, gdje se prvi put svestrano zahvatio problem raspada sistema. Međutim, jedna je bitna stvar koja je po mom mišljenju samo natuknuta, a to je pitanje relejne zaštite. Tu bi svakako trebalo nešto reći kako bi ljudima koji se direktno ne bave zaštitom te stvari bile bliže.

Zaštita je jedan od uzroka da unatoč relativno dovoljnom broju vodova ipak dolazi do raspada sistema. Ako se pogledaju raspadi sistema kod nas i vani, nema nijednog slučaja da zaštita na ovaj ili onaj način nije sudjelovala u tome. To vrijedi čak i kod korektnog isklopa kvara kada na preostalim vodovima dolazi do sukcesivnog (»lavinskog«) ispada, da i ne spominjemo slučajeve zatajenja ili pogrešnog isklapanja releja.

U našem EES narušen je princip daljinskog rezervnog šticećenja oko svih bitnih TS i elektrana koje su u većini slučajeva neadekvatno zaštićene, tj. bez sabirničke zaštite, zaštite od otkaza prekidača i lokalne rezervne zaštite na vodovima. Na nekim bitnim vodovima (220 kV) imamo starije tipove releja s karakteristikom osjetljivom na niske pogonske impedancije, bez protunjihajnog zapora, bez VF — koordinacije releja na krajevima voda i sl. Nije razvijena sistemaska zaštita, osim potfrekventne, a i tu jedni dijelom imamo starije tipove releja koji su nepouzdan i netočni tako da je efekt rasterećenja često daleko od dogovorenog. O nekim sistemskim zaštitama koje bi koristile postojeći SDV, mogućnostima restauracije sistema, protuhavarijskoj automatici i sličnom nema ni govore.

Sva ova poboljšanja ne koštaju mnogo, i ljudima koji se bave zaštitom treba izići u susret u zahtjevima za studiranje tih problema, zamjenu opreme i sl.

Drugo pitanje je statistika, koja se ne vodi tako da bismo mogli doći do nekih valjanijih zaključaka. To se odnosi i na raspade sistema. Kada bismo analizirali duže vremensko razdoblje, npr. 15-godišnje, uvjeren sam da bismo mogli izvući određene zaključke jer do sada na bazi ovih pojedinačnih slučajeva nismo ništa bitno otkrili niti mijenjali u sistemu. Većina provedenih analiza ostala je u krugu ljudi koji se bave relejnom zaštitom i koji najviše osjećaju te pro-

bleme jer su u ovakvim situacijama oni prvi prozvani.

Ovi problemi zahtijevaju znatno širi pristup od donošenja odluka, vođenja sistema, kvalitetne opreme, ljudi itd., i to u što kraćem roku s obzirom na to da raspadi u našem EES ostaju latentna prijetnja.

CVETKOVIĆ: Mislim da se možemo složiti da u sistemu ima otvorenih problema u domeni relejne zaštite. Akcija koja je u toku, barem što se tiče mojih saznanja, trebala bi dovesti do poboljšanja te situacije.

Prije nego prijedemo na kadrovsku problematiku spomenuo bih neke stvari vezane na Sigurnost EES, a načeli su ih kolege Cukrov i Kolega. To je pitanje domaće opreme. Ne smijemo zanemariti činjenicu da smo prisiljeni kupovati domaću opremu, i to bez obzira na njezinu cijenu i njezinu kvalitetu. Reći ću jedan primjer. Kada je riječ o 400 kilovoltnoj mreži, ugradili smo oko 99 posto domaće opreme, a svega jedan posto uvozne. Da smo mogli birati, vjerojatno bi taj postotak bio oko 90 posto domaće, a 10 posto uvozne. Ta činjenica, međutim, ima direktan odraz na dužinu i frekvenciju održavanja, na cijenu održavanja i, naravno, na broj defekata.

Sljedeće što bih spomenuo jest radno vrijeme u toku remonta. Bilo bi korisno da to vrijeme, kad je riječ o remontu ključnih postrojenja, traje od 6 do 18 sati, no to nije moguće provesti. Prvi razlog je taj što nam je zabranjeno raditi prekovremeno. Međutim, kad bismo i mogli raditi prekovremeno, kako to platiti? Prema važećim propisima za svakog radnika koji radi prekovremeno treba odgovarajuće sniziti osobni dohodak svim ostalim radnicima. To nitko neće prihvatiti jer ljudi normalno rezoniraju: ako nešto treba hitno raditi onda, to treba i platiti bez negativnih posljedica za one koji nisu angažirani na tom poslu.

Okrenimo se sada problemu kadrovske politike, o čemu je nešto rekao i inženjer Cukrov.

Rekao bih u uvodu dvije do tri stvari prije diskusije. Prvo je pitanje školovanja kadrova. Znamo da je tradicionalno elektroprivreda popunjavala svoje kadrovske potrebe iz tri izvora: iz elektroprivredne škole koja je davala dobre kvalificirane radnike, zatim iz srednje tehničke škole koja je davala tehničare, te bazne kadrove za elektroprivredu, i treće, iz elektrotehničkog fakulteta koji je davao inženjerski kadar.

Međutim, današnja situacija je drugačija. Elektroprivredne škole više nema i kvalificirani monter se više ne školuju. Srednje tehničke škole su ukinute, a umjesto tih dviju škola imamo usmjereno obrazovanje. Kao rezultat dobivamo kadar, ne znam kako bih ga nazvao, koji se ne može ubrojiti ni u tehničare, ni u montere, ni u činovnike.

Što se tiče elektrotehničkog fakulteta o, čemu se u posljednje vrijeme monogo govori, situacija je više nego alarmantna. Sve više se smanjuje broj studenata na elektrotehničkom fakultetu na smjeru energetike, pa ih sada imamo u Zagrebu 17, u Ljubljani četiri i u Splitu četiri.

Konačno, u radnoj organizaciji gdje ja radim situacija je takva da nam je zadnjih godina otišlo sedam perspektivnih mladih inženjera. Na naše oglase u novinama ne javlja se nitko, a ako se netko i javi, taj odustaje kad čuje za osobne dohotke i mogućnost rješenja stambenih problema.

Ovo neka posluži kao uvod u diskusiju o kadrovskih problemima.

MILEUSNIĆ: Za poteškoće koje imamo s kadrovima više je razloga, a jedan od njih je očito loš ekonomski položaj elektroprivrede.

Mi imamo starateljstvo nad našim osobnim dohocima, i to Izvršnog vijeća Sabora, sa Sindikatom i Koordinacionim odborom, a to nas je starateljstvo dovelo do toga da gotovo svako povećanje osobnih dohodaka ne može uslijediti bez suglasnosti Izvršnog vijeća Sabora.

Ne moramo ništa govoriti o pravima samoupravljača. Takova politika je imala za posljedicu da smo zadnjih pet do šest godina pali za oko 30 % ispod prosjeka privrede što smo imali prije.

Radnici su veoma nezadovoljni osobnim dohocima. Kod nas, možemo reći, neće biti štrajka, zbog značenja postrojenja za privredu, ali postoji onaj tzv. bijeli štrajk koji je još gori. Danas se ne napravi ovo, sutra se ne napravi ono, i osjeća se da radnici gube interes i volju za posao.

U situaciji smo da nam odlaze mladi stručni radnici. Na oglas ne možemo dobiti ni čistačicu. Kada čuje kolike su plaće u elektroprivredi, okrene se i ode.

Ako se sjećate, prije 10 ili 15 godina mogli smo doći npr. u »Rade Končar« ili neku drugu organizaciju i mogli izbirati radnika kojega smo željeli. Elektroprivreda je tada mogla birati kadar. Nije to zbog toga što bi ona morala biti nešto posebno, ali zemlja koja nema dobru elektroprivredu, neće imati ni dobru privredu. Elektroprivreda mora imati dobar stručni kadar. Taj kadar mora biti stručniji od poslovnih partnera. Elektroprivreda mora imati takav stručni kadar da se može ravnopravno nositi s industrijom i da može svoja postrojenja kvalitetno održavati. Mi, nažalost, to više nemamo.

Danas primamo bilo koga u radni odnos. Sretni smo ako se bilo koga primi na rad. Osjetno se snizio kriterij u odabiranju radnika.

Već danas osjećamo posljedice takve kadrovske situacije. Naprosto nemamo dobro stručnog kadra za poslovođe, brigadire, a za nekoliko godina će posljedice biti još i teže.

OŽEGOVIĆ: Dodao bih nešto što sam ranije zanemario, a to je kadrovska problematika. Već su drugi govornici o tome nešto rekli, pa ne bih ponovio, na primjer, pitanje niskih plaća. Taj problem nije toliko izražen u »provinciji« koliko u industrijskim centrima, gdje fluktuacija radne snage postaje zabrinjavajuća. Već spomenuto negativističko raspoloženje javnosti prema elektroprivredi još pogoršava to stanje. Današnji nastavi programi na papiru nisu loši, ali se

ne provode. Dobivamo montere za dalekovode koji se u toku školovanja nikad nisu popeli na stup. Slično je i s kadrom za naše specijalističke službe. Inženjera odgovarajućih usmjerenja ima sve manje. Moji osobni naponi u tom pogledu ostali su bez uspjeha; prijedlozi su ostali u ladicama rukovodilaca.

CVETKOVIĆ: Rekao bih samo nešto. Uza sve probleme o kojima smo danas čuli, a čuli smo dosta toga o eksploataciji i izgradnji objekata, baš kadrovski problemi će dovesti do toga da će raspasti sistema biti češći. To je neminovnost koja će uslijediti kao prosta matematička operacija. Kadrovska situacija je veoma ozbiljna. Bit ću indiskretan, a možete i ne morate odgovoriti, inženjeru Sinovčić, koliko je vama kao šefu dispečerske službe elektroprivrede Hrvatske bio lanjski mjesečni prosjek plaća?

SINOVIĆ: Bio je 198 000 dinara.

CVETKOVIĆ: Samo usporedbe radi, vozač tramvaja je lani, prema novinskim informacijama, imao prosjek 170 000 dinara. U takvim uvjetima nema kadrovske politike.

Zbrojmo sada činjenice gledane sa stanovišta sigurnosti rada EES. S jedne strane potreba za visoko specijaliziranim stručnjacima, a s druge strane destimuliranje i fluktacija. S jedne strane potreba za permanentnim školovanjem uz korištenje simulatora, sukcesivnim testiranjem i selekcijom uz izdavanje licenci o sposobnosti vršenja rada, a s druge strane sretan si da ti se na oglas bilo tko javi, a kamoli da praviš selekciju. To su faktori koji direktno utječu na sigurnost rada i vjerojatnost raspada EES.

Želi li još netko sudjelovati u diskusiji?

KALEA: Imam dva konkretna prijedloga za stalno održanje ljudi ažurnima u snalaženju i znanju koje je potrebno u operativnim situacijama.

Iskoristimo obvezu donošenja planova mjera za sprečavanje izvanrednih prilika, tako da tim planovima obuhvatimo raspad elektroenergetskog sistema kao jednu od nezaobilaznih mogućnosti za nastanak izvanrednih prilika. To isto trebalo bi da svojim planovima obuhvate i potrošači električne energije, uz poticaj i savjete iz elektroprivrede. Svakogodišnje vježbe »Ništa nas ne smije iznenaditi« trebale bi se koristiti i za provjere funkcioniranja i dotjerivanja tih planova.

CVETKOVIĆ: Ako više nema diskutanta, odzvolite mi da sažmem ono što smo danas čuli. Čuli smo na bazi analize raspada sistema od 1. 8. 1986. i na bazi svjetske prakse da je takvih raspada bilo, da ih ima i da će ih biti. Ima ih kod nas i u svijetu. Frekvencija tih raspada EES kod nas je veća nego u svijetu, a to naročito vrijedi za područje sjeverozapadne Hrvatske. Ono čega se treba više bojati, kako reče kolega Cukrov, jest prijetnja redukcija potrošnje nakon 1990. godine, jer se praktički ništa ne gradi od izvora koji bi trebali zadovoljiti porast konzuma.

Jedan od naših zaključaka mogao bi biti sažeti prijedlog kolege Ožegovića o realizaciji pet programa,

tj. radne energije, jalove energije, prijenosne mreže, tehničkog sistema upravljanja i održavanja.

Pri tome smo konstatirali da se nuklearni program ispolitizirao, da je izgradnja elektrana u drugim republikama sasvim problematična i da su mali izgledi da ćemo pokriti konzum u periodu 1990. do 1995. Složili smo se da treba spasavati što se daje spasiti, a to znači treba razmišljati i o uvozu ugljena i o uvozu električne energije, ako ne kao trajnim rješenjima a ono barem za premoštenje kritičnih godina. Uz to treba izgraditi odgovarajuću prijenosnu mrežu. Nadalje smo se složili da raspad sistema treba gledati kao na ekonomsku kategoriju, jer vjerojatnost raspada je obrnuto proporcionalna ulaganjima u EES, tj. u njegovu izgradnju i održavanje.

Konačno smo konstatirali da kadrovski problem postaje dominantnim problemom sigurnosti sistema.

TONKOVIĆ: U vezi sa svim aktualnim diskusijama o energiji, u kojima je, nažalost, elektroprivreda u velikoj defenzivi i u situaciji u kojoj se oteže s odgovorima, stvara se klima o mogućnosti bez konfliktnog razvoja osloncem na tzv. alternativne izvore energije. Inherentno toj logici suprotstavljenih strana događa se obrat: prijedlozi elektroprivrede postaju alternativa!

CVETKOVIĆ: Čuli smo također o »nultoj varijanti« porasta energije. Ta pojava je već prisutna u svijetu, no pritome valja naglasiti da se odnosi na ukupnu energiju, a ne na električnu energiju čiji se porast potrošnje po stanovniku nastavlja u svim zemljama zahvaljujući poznatim svojstvima te vrste energije.

Treba reći, radi onih koji to ne znaju, da je Jugoslavija na pretposljednem mjestu, ispred Portugala, po specifičnoj potrošnji električne energije u Evropi.

Ta činjenica nam daje dovoljno razloga za razmišljanje o našoj energetskej budućnosti.

OŽEGOVIĆ: Još bih se osvrnuo na društveno-političku klimu u kojoj se odvija ova rasprava, a to se odnosi i na prvi »okrugli stol« »Energije.«. Ta je klima posve nepovoljna. Djelovanje takozvanih alternativnih pokreta, ne ulazeći u političke konzekvence, blokira napore nas elektroenergetičara da obavljamo svoj posao, a to je da po mogućnosti odgovorimo rastućim zahtjevima potrošača. Za taj samo posao mi odgovorni, a alternativci s parolama »Nulti rast« i »NE, ne hvala« neće biti odgovorni za predstojeći mrak.

U koncepciji mraka i štrktog razvoja moramo misliti i na brzinu uspostave sistema po raspadu, a to znači energetskej autonomiju većine elektrana i svih transformatorskih stanica, odnosno njihovu pripremljenost za »crni start«.

CVETKOVIĆ: Mislim da smo iscrpili sve predviđene teme za današnju raspravu. Zahvaljujem vam u ime redakcije časopisa »Energija«. Diskusija s današnjeg okruglog stola izaći će u jednom od sljedećih brojeva našeg časopisa.

Časopis »Energija« će i dalje nastojati stavljati vruće teme na dnevni red.

CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA I TERMOELEKTRANA NA UGLJEN

Mr. Ivan Putanec, Zagreb

UDK 621.311.25 : 621.311.22

STRUČNI RAD

Uspoređuju se cijene proizvodnje električne energije iz nuklearnih elektrana i termoelektrana na ugljen. Rad se temelji na referatu objavljenom na simpoziju »Tehnologija, ekonomija i ekologija nuklearnih elektrana« u Opatiji ožujka 1987. godine.

Ključne riječi: cijena električne energije, nuklearna elektrana, termoelektrana na ugljen.

UVOD

U jeku diskusija o strategiji razvoja Jugoslavije, o strategiji izgradnje energetske kapaciteta, za i protiv nuklearnih elektrana, svrsishodno je razmotriti jedan od najvažnijih aspekata izgradnje energetske kapaciteta — cijenu proizvedene električne energije. U ovom radu rezultati usporedbe cijena električne energije iz nuklearnih elektrana i termoelektrana na ugljen prikazani su vrlo koncizno, ali se zato ovaj rad može smatrati poticajem da se u Jugoslaviji, odnosno u Hrvatskoj napravi studija usporedbe cijena električne energije iz naznačenih izvora. Usporedba cijena električne energije koja se ovdje razmatra prije svega se odnosi na rezultate Izvještaja Agencije za nuklearnu energiju — NEA (Nuclear Energy Agency)* iz 1983. godine lit. (1).

Važnost i značenje tog izvještaja je ne samo u tome koliko je eksperata i organizacija angažirano na njegovoj izradi nego i u činjenici da su među OECD članicama ekonomski najsnažnije zemlje svijeta što su ujedno najveći potrošači primarne energije i najveća područja investiranja u energetske kapacitete, koja su brižno ocijenjena na bazi tehničkih vrijednosti, osiguranja isporuke energije, političke prihvatljivosti i ekonomskih faktora.

METODE OCJENA TROŠKOVA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Iako se u Jugoslaviji značenje i vrijednost nove elektrane prosuđuju kroz njenu energetske-ekonomsku vrijednost, dakle kroz jednu kompleksnu kategoriju,

* NEA je osnovana 1972. g. od OECD-a (Organizacija za ekonomsku kooperaciju i razvoj). Na izradi spomenutog Izvještaja NEA je organizirala grupu od 40 eksperata iz Internacionalne agencije za energiju (IEA), iz Komisije evropske zajednice (CEC), iz Internacionalne agencije za nuklearnu energiju (IAEA) te iz Internacionalne unije proizvođača i distributera električne energije (UNIPED).

radi jednostavnosti i pristupačnosti u ovom radu razmotrit će se nuklearne i termoelektrane kroz trošak proizvodnje jedinice električne energije, tj. kroz cijenu proizvedenog kWh-a.

U izvještaju su razmatrane tri metode uspoređivanja proizvodnih troškova: godišnji troškovi proizvodnje, nivelirani troškovi proizvodnje i sistemska analiza troškova. Kao najpogodnija pokazala se metoda niveliranih troškova proizvodnje.

Iako je to poznato, podsjetimo se da je taj nivelirani trošak prosječna cijena u konstantnoj novčanoj jedinici za jedinicu proizvodnje 1 kWh predanu mreži, pri čemu se ukupna proizvodnja za vrijeme životne dobi raspoređuje na troškove izgradnje i zatvaranje elektrane, na troškove pogona, održavanja, goriva i odlaganje otpadaka za cijelu životnu dob elektrane, tj. ukupni troškovi dijele se s ukupno proizvedenom energijom.

Pri primjeni ove metode najviše poteškoća zadaje aktualizacija svih troškova i proizvodnje električne energije kroz cijelu životnu dob elektrane. Nivelirani trošak kWh definiran je izrazom:

$$C_n = \frac{\sum_0^D (i + o + g) / (1 + r/100)^t}{\sum_0^D W_g / (1 + r/100)^t}$$

pri čemu je:

- (D) — životna dob, (t) — vrijeme
- (i) — investicijski troškovi
- (o) — pogon i održavanje, (g) — gorivo
- (W_g) — godišnja proizvodnja (kWh)
- (r) — stopa aktualizacije.

Pri korištenju ovom metodom rezultati su ovisni o nizu činilaca: životna dob 15–40 godina, stopa aktualizacije 4–10%, godišnji proizvodni faktor 60–90%, vrijeme izgradnje 6–10 god., zavisnost investicijskih troškova o projektnim kriterijima, uvjetima gradilišta, načinu hlađenja (rashladni sistem) itd.

Da bi se dobili koliko-toliko usporedivi rezultati, moraju se uzeti iste osnovne veličine: životna dob, aktualizacija, godišnji faktor opterećenja elektrane, itd.

Budući da su troškovi investicija za nuklearnu elektranu relativno visoki, treba paziti da oni prebrzo ne rastu zbog produljenja izgradnje, kamata i promjene cijena opreme i građevinskih radova.

Kod termoelektrana na ugljen relativno najveći troškovi su za gorivo, pa treba obratiti naročitu pažnju na izvor i transport goriva.

Tablica 1.

Zemlja	10–2 ECU/kWh								Omjer TE NE
	nukl. elektrane				termoelektrane				
	inv.	odr.	gor.	zaj.	inv.	odr.	gor.	zaj.	
Belgija	1,26	0,57	0,6	2,51	0,59	0,32	2,59	3,50	1,39
Francuska	1,02	0,36	0,69	2,07	0,83	0,29	2,50	3,62	1,75
SR Njemačka	1,58	0,47	0,82	2,87	0,79	0,60	3,32	4,71	1,64
Italija	0,99	0,22	0,78	1,99	0,56	0,19	2,38	3,13	1,57
Japan	1,34	0,47	0,76	2,57	0,95	0,42	2,51	3,88	1,51
Velika Britanija	2,85	0,34	0,93	4,12	1,73	0,35	3,82	5,90	1,43
SAD	1,85	0,37	0,62	2,89	1,03	0,37	1,52	2,92	1,01

REZULTATI USPOREĐIVANJA CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Na osnovi navedene metodologije uzevši da je:

- životna dob (*D*) 20 g
- stopa aktualizacije 5%
- godišnji faktor opterećenja (*fg*) 70%
- puštanje u pogon 1990. g.
- novčana jedinica ECU* (koja je u ožujku o.g. vrijedila 1,27 USA \$ ili 586 dinara)

objelodanjena je u Izvještaju NEA (tablica 1).

Kako su računati investicijski troškovi ovisno o tipu elektrane za instalirani kW u ECU u siječnju 1981. g., prikazano je u tablici 2.

Ovim podacima bi se moglo prigovoriti da nisu najnoviji ili da su pretpostavljene premale vrijednosti za zatvaranje nuklearnih elektrana. Za sada nemamo i ne možemo dati novije vrijednosti, a što se tiče pretpostavljenih vrijednosti zatvaranja, slična pri-

mjedba vrijedi i za termoelektrane. Za termoelektrane nisu praktički predviđeni troškovi zatvaranja, iako prema novim saznanjima odnosno propisima (SR Njemačka) ti troškovi će biti veoma visoki. Osim toga, zemlje koje su predvidjele odsumporavanje već tada, nisu te troškove uključile u investicijskim troškovima!

* ECU — European currency unit

Tablica 2.

Zemlja	Referentna nuklearna elektrana			Invest.	Kamati	Zatvar.	Ukupno
	Tip	Hlad.	Podatak				
Belgija	PWR 2 x 1 000	kombin.	—	857	117	22	996
Francuska	PWR 2 x 1 275	zatvor. krug	—	686	92	33	811
SR Njemačka	PWR 2 x 1 285	zatvor. krug	—	1 058	173	27	1 258
Italija	PWR 2 x 1 000	morska voda	—	682	83	20	785
Japan	B/PWR 4 x 1 100	morska voda	elektr. u izgr.	915	130	21	1 066
Velika Britanija	PWR 2 x 1 110	morska voda	ponuda	1 705	487	69	2 261
SAD	PWR 2 x 1 200	kombin.	AE ref. elektr.	1 066	308	43	1 417
Referentna termoelektrana							
			Desulfur.				
Belgija	2 x 600	kombin.	ne	436	33	2	471
Francuska	2 x 580	morska voda	ne	592	63	0	655
SR Njemačka	2 x 675	zatvor. krug	da	566	50	7	623
Italija	4 x 640	morska voda	ne	423	17	0	440
Japan	4 x 600	morska voda	da	691	66	0	757
Velika Britanija	3 x 660	zatvor. krug	ne	1 097	275	0	1 372
SAD	2 x 600	kombin.	da	675	108	0	783

U spomenutom Izvještaju vrlo detaljno su obrađeni troškovi goriva, pri čemu su za nuklearno gorivo razmatrane ove faze: dobivanje uranova koncentrata, konverzija u UF₆, obogaćivanje, izrada goriva i troškovi trajnog odlaganja radioaktivnih otpadaka u znatnom iznosu većem od 50%.

Prema tablici 1 i unatoč svim poteškoćama proračuna niveliranih troškova energije, zaključak je spomenutog Izvještaja da će cijena električne energije u Evropi i Japanu oko 1990. god. iz termoelektrana na ugljen biti 30 do 75% viša od cijene energije iz nuklearnih elektrana.

Štoviše, cijena električne energije iz NE približno će biti jednaka dijelu cijene električne energije iz TE, i to onom koji se odnosi na gorivo.

Jedino je u SAD cijena električne energije iz TE kompetitivna cijeni električne energije iz NE, ali to je ovisno o lokacijama elektrana koje se uspoređuju.

Za ilustraciju, predvidive cijene električne energije iz termoelektrana kretat će se od 2,92 do 5,90 x 10⁻² ECU ili, prema navedenom tečaju 17,1 do 34,6 dinara/kWh, a iz nuklearnih elektrana 1,99 do 4,12 x 10⁻² ECU ili 12–24 dinara/kWh.

U cijeni električne energije iz nuklearnih elektrana investicijski troškovi čine oko 50% ukupne cijene. Stoga varijacije tih investicijskih troškova direktno i znatno utječu na cijenu električne energije. Prilikom evaluacije ponuda (koja je u toku) treba uz ispunjenje tehničkih i sigurnosnih aspekata i uz poštovanje područja isporuke predlagati jeftinija rješenja, s kraćim rokom izgradnje i povoljnijim kreditnim uvjetima.

Iako je to dobro poznato, plastičan primjer za ovisnost cijena kWh o životnoj dobi i faktoru opterećenja može se naći u materijalu ENEL-a (2) za cijenu kWh iz nuklearne elektrane 1 000 MW (tablica 3).

Moguće je prilično smanjenje investicijskog dijela proizvodne cijene električne energije odnosno smanjenje iste cijene znatno više, 40%, uz povećanje godišnjeg rada od 4 000 na 6 500 sati.

S obzirom na netom izneseno mogli bismo ustvrditi da je Poziv na nuđenje NE Prevlaka dobro postavljen jer je tražen životni vijek elektrane 40 godina i godišnji faktor opterećenja 7 000 sati.

Postavke oko odnosa cijena električne energije iz raznih izvora podvrgnute su zbog niza utjecajnih faktora stalnim promjenama, pa su zanimljivi najnoviji

francuski podaci, CEA (*) lit. (3) koji vrijede za početak ove godine.

Odnos između cijene električne energije iz termoelektrane na ugljen i nuklearnih elektrana je 1,12 do 1,40 ovisno o godišnjem faktoru opterećenja 4 000 h i 8 760 h.

O sličnim ekonomskih razmatranjima zemalja istočne Evrope nemamo odgovarajućih podataka, iako iz nastavka programa izgradnje nuklearnih elektrana i nakon Černobila zaključujemo da se i tamo smatra električna energija iz nuklearnih elektrana jeftinijom.

Dakle, prema navedenim podacima, električna energija iz nuklearnih elektrana jeftinija je od energije iz termoelektrana na ugljen u Zapadnoj Evropi.

Kako je u nas?

Za NE Prevlaka izrađen je početkom 1985. god. Preliminarni investicijski program.

Prema tom programu izračunata je nivelirana cijena kWh, od 6,61 dinara u srpnju 1984. god. odnosno 23,9 dinara/kWh u ožujku ove god. uz amortizaciju od 30 godina.

Ta cijena je očito usporediva s ranije komentiranim cijenama. Struktura te cijene dosta se razlikuje od cijene razmatrane u Izvještaju NEA.

Iz usporednih razmatranja može se zaključiti da bi u investicijskom programu za NE Prevlaku trebalo razmotriti relativno visok udio troškova održavanja i pogona te nisko učešće goriva u odnosu na evropska iskustva. Na taj način bi se mogla smanjiti cijena kWh električne energije iz NE Prevlaka, koja je prema iznesenim podacima viša od navedenih prema NEA Izvještaju, odnosno jednaka je najvišoj danoj cijeni; podatak za Veliku Britaniju.

Na kraju moglo bi se zaključiti da cijena električne energije iz nuklearnih elektrana u nas ne bi bila veća, odnosno kompetitivna je u odnosu na termoelektrane na ugljen, pogotovo ako bi nuklearna elektrana radila kao bazna, tj. 6 000 sati godišnje.

* CEA — Commissariat a l'Energie Atomique

Tablica 3.

Vrsta troškova	Životna dob 20 g. sati godišnje			Životna dob 25 g. sati godišnje		
	4 000	5 000	6 500	4 000	5 000	6 500
Investicijski pogon i održavanje gorivo	38,56 8,10 14,24	30,86 6,48 14,08	23,73 5,02 13,93	33,93 8,10 14,24	27,14 6,48 14,09	20,79 4,98 13,93
Ukupno L/kWh	60,91	51,42	42,68	56,26	47,70	39,70

LITERATURA

- [1] »The Costs of Generating Electricity in Nuclear and Coal Fired Power Stations«, A Report by an Expert Group, Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-Operation and Development, OECD, 1983.
- [2] »Costo del kW installato e del kWh prodotto per Centrali Termoelettriche, Nucleari, Turbogas« (Gennario 1984)
ENEL, Direzione Centrale delle Construzioni,
Direzione Centrale della Programmazione
- [3] F. BENDELL, J. CHARLES: »Cout de reference de la production d'electricite d'origine thermique«, CEA Notes d'information br. 6 11–12/1986.

ELECTRIC POWER COSTS FOR NPP AND TPP ON COAL

In the article are compared electric power production costs for NPP and TPP on coal. Study is based on paper presented on symposium »Tehnologija, ekonomija i ekologija nuklearnih elektrana«, Opatija, mart 1987.

PREISE DER ELEKTRISCHEN ENERGIE AUS KERNKRAFTWERKEN DIE MIT KOHLE BEHEIZT WERDEN

Es werden Herstellungspreise der elektrischen Energie aus Kernkraftwerken mit Kohle verglichen. Die Arbeit gründet auf einem Referat das am Symposium »Technologie, Ökonomie und Umweltschutz der Kernkraftwerke veröffentlicht wurde«.

ЦЕНЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ АТОМНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА УГОЛЬ

Сравниваются цены выработки электроэнергии на атомных и тепловых электростанциях на уголь. Работа основывается на докладе, зачитанном на симпозиуме »Технология, экономика и экология атомных электростанций«, состоявшемся в г. Опатия в марте 1987 года.

Naslov pisca:

**Mr. Ivan Putanec, dipl. inž.
Elektroprojekt, 41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis
1987-04-07

USPOREDBA SPECIFIČNIH IZDATAKA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U TERMoeLEKTRANAMA

Zdravko Mužek i mr. Hrvoje Kunaj, Zagreb

UDK 621.311.22.603

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Uspoređuju se alternativne mogućnosti izgradnje elektrana sa stanovništva specifičnih zadataka za proizvodnju električne energije. Osim elektrana na uvozu energiju (uranij, uvozni kameni ugljen, teško loživo ulje) analizira se i jedna termoelektrana na domaći ugljen (Tuzla B). Iznose se kriteriji za programiranje razvoja elektroprivrede i daju ograničenja u dosegu provedenih analiza zbog nevažavanja svih tih kriterija.

Ključne riječi: termoelektrane, električna energije

1. UVOD

Neizvjesnosti, dileme i suprotstavljanje u vezi s daljim razvojem elektroenergetskog sistema SFRJ čini se da su danas veće nego ikad u povijesti. Često ističane podjele izvora električne energije na obnovljive i neobnovljive, uvozne i domaće, »čiste i prljave«, one sa skupim i one s jeftinim gorivom, one s visokim i one s niskim investicijama itd. izazivaju u javnosti, ali i stručnim krugovima, brojne polemike o energetske budućnosti i zamagljuje i one spoznaje koje ne bi trebalo da budu sporne.

Koji je osnovni uzrok tim neizvjesnostima, dilemama i suprotstavljanjima?

Zanemare li se svjesne manipulacije radi postizanja određenih parcijalnih interesa i dezinformacije ili stremljenja uzrok kojima je neznanje, može se tvrditi da je to preusko odabran kriterij razvoja energetike Jugoslavije! »Maksimalni mogući razvoj domaćih izvora energije« — vrhovnih (i jedini), općeprihvaćeni kriterij prema kojem bi trebalo usmjeravati energetiku Jugoslavije ustoličen je još pri izradi »Strategije dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije« [1] i, eto, i danas ostaje osnovnom upravljačkom idejom, otvarajući vrata zanemarivanju ekonomske logike u programiranju energetske razvoja Jugoslavije.

Na osnovi zadnjih analiza dugoročnog razvoja proizvodnje električne energije u Jugoslaviji konvencionalnim energetske izvorima [2], nedvojbeno proizlazi da je u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije nužno i u hipotetskim (nerealno optimističkim) uvjetima potpunog iskorištavanja vodnih snaga i intenzivne gradnje termoelektrana loženih domaćih ugljenom graditi i elektrane koje će za konverziju koristiti uvozu energiju. Ograničenja pri gradnji hidroelektrana i termoelektrana na domaći ugljen (ekološka, tehnološka i u sferi ekonomskih odnosa), koja su tek manjim dijelom sagledana, znanstveno istražena i elaborirana, navode na dobrano utemeljen stav da tu gradnju elektrana na uvozu energiju nije više do-

zvoljeno odlagati. Praktično, mogući uvozni oblici energije za elektroprivredu jesu uranij i teško loživo ulje (koji se i danas uvoze) i energetske kameni ugljen.

Cilj analize koja se daje u nastavku jest ispitati uvjete preferencije korištenja pojedinog oblika energije u elektranama. Ističe se da su provedene analize aproksimativne i ograničenog dometa. Aproksimativnost analiza jest u tome što se elektrane ne promatraju kao elementi elektroenergetskog sistema Jugoslavije ili nekog od podsistema tog sistema (što bi pristup u skladu s općom teorijom sistema tražio), već se uvjeti tog sistema »zamjenjuju« brojem sati rada elektrane u toku godine. Korišteni podaci i metode proračuna dovoljno su, međutim, utemeljeni da se rezultati mogu koristiti »za stvaranje poprilično jasne slike« o ulozi pojedine elektrane u sistemu. Ograničenosti dometa analize posvećuje se u članku više prostora, pa se ovdje tek anticipira da je ona u tome što se analiza temelji samo na jednom od potrebnih kriterija (zadovoljenje potreba minimalnim utroškom resursa).

2. OSNOVNA POLAZIŠTA I KRITERIJI ZA PROGRAMIRANJE RAZVOJA ENERGETIKE

Problemi energetike i elektroenergetike nisu neki posebni problemi koje bi bilo moguće tretirati drugačije nego ostale segmente društveno-ekonomskog razvoja Jugoslavije ili sagledavati izvan totaliteta tog razvoja. U skladu s tim, ciljevima razvoja energetike treba da su suglasni ciljevima ukupnog društveno-ekonomskog razvoja, a kriteriji za njeno programiranje da proizlaze iz tih ciljeva. Razumljivo, razvojni ciljevi su po svojoj prirodi uvijek nužno međusobno konfliktni, a pri energetici, posebno elektroenergetici, zbog investicijske intenzivnosti ta je konfliktnost posebno izražena. Ona se iskazuje kako u odnosima energetike i ukupne privredne strukture, tako i u

smislu razvojnih aspiracija pojedinih energetske grana ili u smislu pluraliteta interesa pojedinih društveno-političkih zajednica.

Pri programiranju razvoja energetike zemlje treba poći od kriterija koji će maksimalno podržati realizaciju osnovnih ciljeva ukupnog društvenog-ekonomskog razvoja zemlje:

- sigurnost opskrbe korisnika potrebnom energijom uz minimalni utrošak resursa društvene zajednice
- racionalno korištenje domaćih energetske resursa, materijalnih i kadrovskih potencijala u vezi s razvojem energetike
- fleksibilnost energetske strukture u smislu što manje osjetljivosti na poremećaje koje može donijeti budućnost (ovaj kriterij implicira i potrebne strateške kvalitete energetske strukture)
- diverzifikacija korištenih energetske oblika radi doprinosa fleksibilnosti i radi sprečavanja monopolističkih područja u energetske sektoru
- adekvatan odnos energetike i zaštite okoline.

Prva dva od navedenih kriterija plediraju za ekonomsku racionalnost i u domeni energetike. S tim u vezi treba istaći da težnja maksimalnom korištenju domaćih energetske rezervi zasigurno može poticati materijalni i društveni razvoj i biti doprinos ekonomskoj neovisnosti zemlje, ali da, bez svake sumnje, i ovdje postoji određeni prag ekonomske racionalnosti iznad kojeg autarkični energetske razvoj zemlje po svaku cijenu postaje ponor akumulacije bez adekvatnog doprinosa rastu nacionalnog dohotka (samo za usporedbu, danas više nikom ne pada na pamet da u jednom drugom privrednom sektoru — reprodukcijom lancu domaće aluminijske industrije postavi kao kriterij razvoja maksimalno korištenje domaćih rezervi boksita). I u ovom segmentu privrednog razvoja treba stoga težiti jačanju materijalne osnovice društva izborom društveno-ekonomski najpovoljnijih pravaca razvoja koristeći i otvorenost prema svijetu. Tu otvorenost treba, dakle, shvatiti kao orijentir racionalnosti i u domeni energetike, orijentir koji pridonosi društvenim opredjeljenjima da se u procesu reprodukcije energija mora tretirati kao roba uz uvažavanje ekonomskih faktora pri formiranju njene cijene.

Treći i četvrti od prije navedenih kriterija jesu fleksibilnost i diverzifikacija energetske strukture. Oni izražavaju osnovnu stratešku kvalitetu svake dobre koncepcije dugoročnog razvoja energetike, a to je mogućnost prilagodbe energetske strukture novim uvjetima ako budući razvoj (posebno egzogenih faktora) pokaže odstupanja u odnosu na razvoj kojega danas smatramo najvjerojatnijim. Ta odstupanja mogu biti različita. Naprimjer, poremećaji međunarodnih političkih i ekonomskih odnosa, formiranje monopolističkih težnji u energetske sektoru, spoznaja da domaće energetske rezerve nisu te izdašnosti ili eksploataбилnosti kao što danas ocjenjujemo da jesu, spoznaja da su ograničenja (ekonomska, ekološka, tehnološka) u realizaciji određene koncepcije veća nego što se danas ocjenjuje da jesu itd. Ti kriteriji izražavaju i težnju da u svakom momentu postoji više

povoljnih alternativa razvoja od kojih će se, ovisno o ograničenjima i uvjetima spoznatim do trenutka odluke, prići realizaciji najpovoljnije alternative!

Kriterij o adekvatnosti odnosa energetike i okoline proizlazi iz ustavnih odredbi o pravu na zdravu životnu okolinu. Pri uvažavanju ovog kriterija nužno je objektivno sagledati rizike i utjecaj na okolinu pojedinih energetske postrojenja i osigurati potrebne uvjete zaštite. Važno je ovdje naglasiti da je veza između ekonomije i ekologije čvrsta i da njena simplifikacija može imati znatnih negativnih ekoloških, ali i ekonomskih posljedica (ekološka pitanja su uglavnom u biti ekonomska pitanja).

3. OPIS METODE ZA EKONOMSKO VREDNOVANJE ELEKTRANA

U svijetu je razvijen i koristi se veći broj metoda za ekonomsko vrednovanje investicijske mogućnosti (dakle, mogućnosti ulaganja novčanih sredstava u poslovne poduhvate). Prema tretmanu vremena dospjeća primitka i izdataka (dakle novčanih tokova) moguće ih je svrstati u dvije skupine: statičke metode i dinamičke metode. Danas se pri vrednovanju investicijske mogućnosti koriste isključivo suvremene dinamičke metode (metoda čiste sadašnje vrijednosti, metoda interne stope rentabilnosti, anuitetska metoda itd.).

Sušтина dinamičkih metoda za ekonomsko vrednovanje investicijske mogućnosti jest u obuhvaćanju vremenske preferencije novca, što znači da donosilac investicijske odluke više cijeni novčana sredstva u sadašnjosti nego u nominalno jednakom iznosu u budućnosti. Razlozi za to su razumljivi i proizlaze iz implikacija kružnog kretanja vrijednosti ili mogućnosti da se novac posuđuje uz određenu naknadu (kamate, udio u ostvarenom rezultatu iz zajedničkog posla i sl.) te rizici i neizvjesnosti koji su imanentni budućnosti. Karakteristika ulaganja sredstava u investicije jest različita vremenska dospjelost izdataka i primitaka u toku ekonomskog vijeka trajanja sistema. Njihovi apsolutni iznosi nisu stoga usporedivi. Ovi vremenski razmaci između momenata ulaganja novca i pritjecanja efekata tih ulaganja dinamičkim se metodama uzimaju u obzir.

Kao metoda osnovna za ekonomske analize koristit će se u daljim razmatranjima metoda čiste sadašnje vrijednosti. Ova metoda se najčešće primjenjuje, a adekvatna je predmetu razmatranja u ovom radu (metoda je preporučena i od IAEA kao osnova za evaluaciju ponuda za nuklearne elektrane [3]).

Prema metodi čiste sadašnje vrijednosti, svi izdaci i svi primici u toku ekonomskog vijeka trajanja analiziranog objekta svode se na isti, referentni vremenski trenutak (uobičajeno na godinu u kojoj se provodi analiza pa je po tome metoda i dobila ime). Izbor referentnog trenutka ne utječe na kvalitetu rezultata jer se uvijek promatraju samo relativni iznosi. Proces svodenja novčanih tokova na referentni trenutak (ili proces aktualizacije, drugačije rečeno) provodi se

korištenjem mjere vremenske preferencije novca — tzv. diskontne stope.

Ekonomске preferencije pojedine elektrane u određenim uvjetima definirat će se specifičnim troškovima proizvedenog MWh u toku ekonomskog vijeka trajanja elektrane. Posebno je važno istaći da se primici pojedine investicijske mogućnosti, tj. elektrane, neće vrednovati u novcu dobivenom realizacijom na tržištu, već u naturalnom pokazatelju: proizvedenim MWh. Budući da je taj naturalni pokazatelj ekvivalent novčanom izrazu primitka, potrebno ga je adekvatno tome i tretirati. Specifični troškovi proizvedenog MWh električne energije ili, uvjetno rečeno, cijena električne energije definiraju se stoga ovako: cijena električne energije jest kvocijent ukupnih aktualiziranih izdataka u elektranu i ukupne aktualizirane proizvodnje električne energije u toku ekonomskog vijeka trajanja elektrane.

Izbor metode za ekonomsko vrednovanje elektrane treba da obuhvati i definiranje subjekta investiranja, dakle subjekta s čijeg se stajališta ispituje investicijska mogućnost. Potreba definiranja subjekta investiranja proizlazi iz razlike između individualne efikasnosti objekta i njegove društvene efikasnosti. Razlika između individualne i društvene efikasnosti objekta proizlazi iz činjenice da u našem samoupravnom socijalističkom tržišno-planskom modelu narodne privrede postoje razlike između individualnog i društvenog interesa. Valja istaći da su individualni i društveni interesi, gledajući dugoročno, komplementarni, a tek kratkoročna sagledavanja mogu iskazivati kolizije.

Elektroprivredni objekti jesu privredna infrastruktura koju karakteriziraju i ova obilježja: nedjeljivost objekata i uređaja, dugi vijek upotrebe, međuovisnost sastavnih dijelova, heterogenost učinka, velik opseg i rizik investiranja, eksterni efekti i disperzija njene korisnosti, netransparentnost potreba na individualne korisnike, odsutnost perfektne konkurencije, nemogućnost korištenja tržišnog mehanizma, poimanje poduzetništva, sistemski karakter djelatnosti, centralističko planiranje, neravnomjernost u raspodjeli dohotka itd. [4].

Imajući navedeno pred očima, očito je da objekte infrastrukture treba redovito sagledavati s društvenog stajališta. Takav pristup usvaja se i u ovom radu, pa su time izravno definirani novčani tokovi koje je pri analizi potrebno uzeti u obzir. U skladu s navedenim financijske transakcije se ne uzimaju u račun, pa razlike u kreditnim uvjetima što se tiče dobivanja kredita, roka otplate, visine kamatne stope i drugih ugovornih obveza ne utječu tako na rezultate analize.

4. ULAZNI PODACI I POSTAVKE

4.1. Početne investicije u elektrane

Početnim investicijama obuhvaćena su sva ulaganja do trenutka puštanja elektrane u pogon (uključujući i inicijalna obrtna sredstva). Opće dileme koje su pri-

sutne u vezi s asolutnim iznosima investicija u elektroenergetske objekte, posebno u nuklearne elektrane u odnosu na one u termoelektrane na fosilno gorivo, velikim dijelom proizlaze iz razlike u snazi objekta. Naime, osim činjenice da su NE i specifično skupi objekti, one su u prosjeku barem dvostruko snažnije od klasičnih termoelektrana, pa su investicije po objektu nekoliko puta veće pri NE nego pri TE. Povećanje instalirane snage objekta bitno smanjuje specifične početne investicije, ali tehnološki razlozi omogućavaju povećanje dimenzija do razine adekvatne stupnju povjesnog razvoja društva, a ekonomski do razine adekvatne elektroenergetskom sistemu za koji se elektrana gradi. Tako današnje stanje tehnike ograničava povećanje snage blokova na ugljen iznad 600 MW jer povećanje ne donosi ekonomske koristi. Pri NE još uvijek su znatne mogućnosti ušteda u investicijama povećanjem snage bloka (povećanje snage od 1 000 MW na 1 3000 MW smanjuje prosječne specifične investicije oko 17%). No, i ovdje postoje ograničenja u tehničkoj, pravnoj i pogonskoj domeni, ali i financijskoj i ekonomskoj (npr. ekonomski rizik zbog znatnih investicija u jedan objekt). U SAD je, naprimjer, zakonom ograničena toplinska snaga NSSS-a na maksimalnih 3 800 MJ/s.

U tablici 1. dani su osnovni usporedni podaci nekih izvedenih nuklearnih elektrana i termoelektrana u svijetu [5]. Bez obzira na to o kojoj se zemlji radi (odnosno kakvi su modaliteti financiranja), vidljivo je da su nuklearne elektrane u prosjeku 1,3–2 puta specifično skuplje od termoelektrana na ugljen.

Drugi važan ekonomski pokazatelj jest vrijeme gradnje objekta jer interkalarne kamate pri dužoj izgradnji poskupljuju objekt, a period između trenutka ulaganja sredstava i povrata dodatno umanjuje njegove ekonomske efekte. Važno je istaći da u tablici 1. iskazano vrijeme gradnje nije funkcija isključivo tehničkih elemenata već i uvjeta ili taktike u sklopu sistema koji čine okruženje objekta (ekonomski, društveni, energetska sistem). Uočljivo je, međutim, da je vrijeme gradnje NE u prosjeku 2–3 godine duže od izgradnje TE na ugljen (tablicu 1. treba čitati horizontalno).

Na sličan način moguće je prikazati i investicije za određene planirane i građene elektrane u našoj zemlji. U tablici 2. dani su podaci za nuklearnu elektranu i termoelektrane (podaci za TE 500 MW na domaći lignit određeni su na osnovi investicijskog programa za termoelektranu Tuzla B), a u tablici 3, radi usporedbe, investicije u određene hidroelektrane na području SRH (podaci iz investicijskog programa) — svi podaci svedeni su na 1.1.1987.

Iz tablica je vidljivo da su specifične investicije u hidroelektrane (dio elektroprivredne djelatnosti) znatno više nego investicije u nuklearnu elektranu ili termoelektrane (bez obzira na gorivo).

Treba naglasiti da su dani podaci za termoelektranu na uvozni ugljen procijenjeni konzervativno, odnosno da je realno očekivati da razlika u specifičnim investicijama između termoelektrane na domaći lignit i one na uvozni, kameni ugljen bude i veća nego je

Tablica 1. Usporedni prikaz osnovnih ekonomskih parametara nuklearnih elektrana i termoelektrana građenih u svijetu (podaci na dan 1.1.1984, diskontna stopa 6 %) [9]

Zemlje	Nuklearne elektrane					Termoelektrane na ugljen				
	El. snaga MW	Br. god. gradnje*	Speci. troškovi gradnje \$/kW			El. snaga MW	Br. god. gradnje	Spec. troškovi gradnje \$/kW		
			Predračun	Eskalacija	Ukupno			Predračun	Eskalacija	Ukupno
Belgija	1 × 1 300	9/PWR	895	141	1 036	2 × 600	7	683	52	735
Kanada	4 × 881	11/HWR	1 067**	227	1 295	4 × 500	9	740	124	864
	1 × 635	7/HWR	2 009***	***	2 009	2 × 150	5	658	62	720
Finska	—	—	—	—	—	2 × 375	8	924	104	1 028
Francuska	1 × 1 000	9/PWR	1 022	262	1 303	2 × 500	7	655	107	762
	2 × 1 390	11/PWR	737	133	870	2 × 580	7	584	63	647
SR Njemačka	1 × 1 258	6/PWR	1 250	179	1 429	1 × 700	4	653	40	693
Italija	2 × 1 000	10/PWR	964	167	1 131	4 × 627	8	562	—	—
Japan	4 × 1 100	9/LWR	1 202	203	1 405	4 × 600	7	969	—	—
Nizozemska	2 × 1 000	8/PWR	1 017	247	1 264	2 × 600	6	597	—	—
Norveška	1 × 1 000	8/PWR	1 100	238	1 338	1 × 600	6	573	—	—
Portugal	—	—	—	—	—	4 × 552	11	721	109	830
	—	—	—	—	—	4 × 543	—	863	130	993
Španjolska	1 × 933	8/PWR	1 229	268	1 497	1 × 329	5	553	63	616
Švedska	—	—	—	—	—	2 × 600	6	563	78	641
Švicarska	1 × 950	7/BWR	1 739	317	2 084	—	—	—	—	—
Turska	1 × 665	7/HWR	1 650	315	1 965	—	—	—	—	—
	1 × 986	7/PWR	1 300	285	1 585	—	—	—	—	—
V. Britanija	1 × 1 155	10/PWR	1 565	513	2 080	3 × 625	11	952	177	1 129
	1 × 1 155	10/PWR	1 251	239	1 492	—	—	—	—	—
SAD	1 × 1 200	9/PWR	2 021	844	2 865	2 × 600	8	1 020	164	1 184
	1 × 1 200	9/PWR	1 415	445	1 860	2 × 600	8	1 036	167	1 203
	1 × 1 200	9/PWR	2 033	854	2 884	2 × 600	8	1 003	162	1 165
	1 × 1 200	9/PWR	1 967	824	2 791	—	—	—	—	—

* Broj godina gradnje je ukupni za sve blokove.

** Uračunati su i troškovi teške vode u investiciju.

*** U predračun su već uračunati troškovi interkalarnih kamata i troškovi osiguranja.

Tablica 2. Usporedni pregled investicija u NE i TE na dan 1.1.1987. (prema konkretnim ponudama i investicijskim programima za elektroenergetske objekte)

Tip elektrane (vrsta goriva)	El. snaga na pragu MW	Stupanj djelovanja		Spec. investicije		Broj god. izgradnje i udio god. investicija u %
		Max. %	Sred. god. %	U objekt \$/kW	Dodatne \$/kW	
NE PWR 1050 MW uran 3,2% investicije u objekt	1 000	0,35	0,33	2200	—	2 9 17 20 22 17 11 2
TE MW (domaći lignit) na osnovi investicijskog programa (Tuzla B) investicije u objekt rudnik i transport odsumporanje	465	0,385	0,34	1510	890	7 19 31 24 10 9
					0		18 15 7 9 16 24 11
TE 345 MW (uvozni ugljen) investicije u objekt rudnik i transport odsumporanje	320	0,385	0,340	1450	0	4 21 29 32 14
					500	
TE 320 MW (mazut) investicije u objekt odsumporanje	300	0,395 —(0,1-0,2)	0,350 —(0,1-0,2)	1100	0 500	19 26 32 23

dano u tablici 2. (od tri velika ugljena bazena u Jugoslaviji, dva — Kosovo, Tuzla — imat će problema s osiguranjem potrebnih količina vode pa primjena rashladnih tornjeva dodatno uvećava specifične investicije za oko 4—7%). Nadalje, valja uočiti da se ne predviđa investiranje u postrojenje za odsumporava-

nje pri termoelektrani na domaći lignit danoj u tablici 2. (s obzirom na specifičnost ovdje izabranog ugljena — Tuzla B), ali da se takav pristup ne može generalizirati na rudnike u Jugoslaviji s višim postotkom sumpora (odsumporavanje poskupljuje osnovnu specifičnu investiciju u elektranu i za 20—40%).

Tablica 3. Usporedni pregled investicija u HE objekte na dan 1.1.1987. god. (prema podacima iz investicionog programa iz ZEOH)

Naziv HE	El. snaga MW	Max. god. proizv. GWh	Max. faktor raspolož. %	Spec. inves. u objektu		Ukupna ** investic. 106/\$	Tempo ulaganja po godinama izgradnje					
				\$/MW	\$/GWh		1.	2.	3.	4.	5.	6.
Đurđevac	126*	677*	61,3	2 500	465	315*/360*	6,9	20,6	21,8	24,0	22,5	4,2
Dubrava	80,6	411	58,2	2 840	557	228/230	8,9	17,9	22,3	25,5	17,7	7,7
Podsused	47,6	203	48,7	2 500	586	119/141	5,8	16,9	27,3	34,6	15,4	
Lešće	18,4	92,6	57,4	3 430	680	634/63	4,7	17,5	45,0	25,9	6,9	
Lučice	21,0	92,1	50,7	4 030	924	85/100	8,5	19,0	20,7	30,0	21,8	
Valići	18,0	48,6	30,8	2 650	982	48/57	9,3	24,1	24,0	28,1	14,5	
Zrmanja	14,7	48,3	37,5	2 372	722	35/47	13,0	27,9	36,2	22,9		
Krčić	8,0	34,2	48,7	2 845	666	23/23	—	—	—	—	—	
Ukupno (prosjek)	334,3	1606,8	54,87	2 740	570	916/1 020	8,0	19,0	23,0	25,0	20,0	5,0

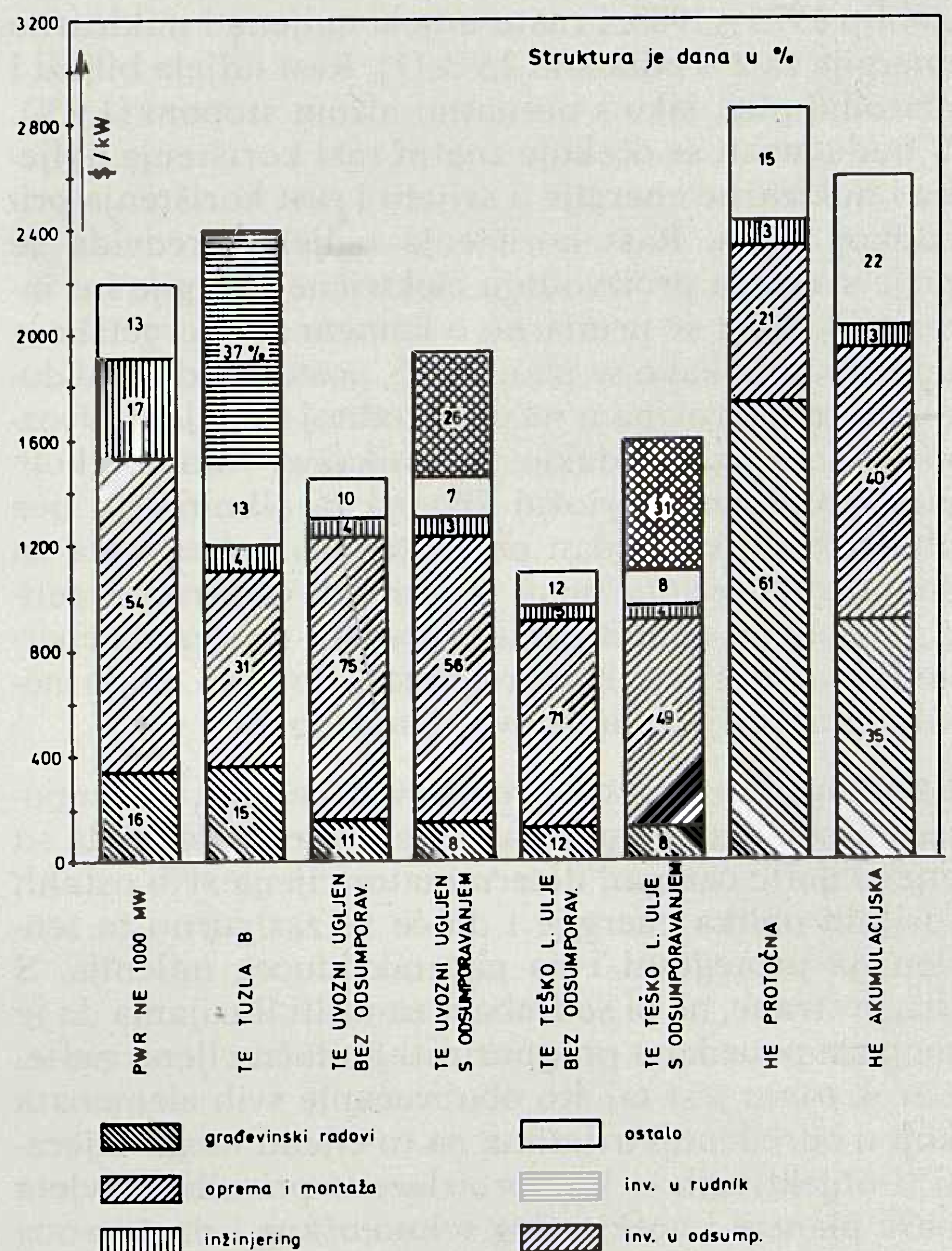
* Podaci vrijede samo za jugoslavenski dio u izgradnji.

** Ukupne investicije podijeljene su na udio elektroprivrede u investiciji/ukupnu vrijednost objekta zajedno s investicijskim dijelom vodoprivrede premda se u analizi cijene električne energije uzima u obzir samo investicijski dio elektroprivrede.

U uvjetima korištenja domaćeg ugljena još je jedan element posebno bitan, a to je investicija u otvaranje rudnika ugljena za koji društvena zajednica mora prije realizacije elektrane odvojiti dio akumulacije (kod uvoznog ugljena taj izdatak je, razumljivo, uključen u cijenu goriva koja se nudi u međunarodnoj razmjeni).

Specifična investicija u nuklearnu elektranu i termoelektre ovisi znatnim dijelom i o postojećoj izgrađenosti infrastrukture na lokaciji. Gradnja prvog bloka na lokaciji je uvijek 15 — 20% skuplja od izgradnje sljedećih blokova. Prema francuskom iskustvu, naprimjer, izgradnja četiri nuklearne elektrane na istoj lokaciji s optimalno razmaknutim tempom puštanja u pogon može smanjiti troškove izgradnje za 30 — 35%. Visina uštede koja bi se mogla postići dobrom organizacijom gradnje i u našim je uvjetima veća od potencijalne specifične uštede ostvarene prijelazom na blokove veće jedinične snage. U takvim, dakle, uvjetima tzv. subjektivni faktor posebno dolazi do izražaja.

Na slici 1. dana je struktura specifičnih investicija u nuklearnu elektranu (PWR, 1 000 MW), termoelektre na uvozni, kameni ugljen (varijantno, sa uređajima za odsumporavanje i bez njih), termoelektre na teško loživo ulje (sa uređajima i bez njih za odsumporavanje), termoelektre na domaći lignit (Tuzla B) i prosječnu (»preostalu u SRH«) protočnu i akumulacijsku hidroelektranu.



Slika 1.

4.2. Cijene goriva za elektrane

Potreba uvoza uranija, kamenog ugljena i teško loživog ulja (ili nafte) i stav o sagledavanju elektrana sa stajališta realnih troškova za društvenu zajednicu navode na račun sa svjetskim cijenama tih oblika energije (aktualne domaće cijene npr. teškog loživog ulja opterećene su i davanjima koja nisu stvarni trošak za društvenu zajednicu, već određena preraspodjela sredstava unutar te zajednice).

Cijena domaćeg ugljena treba odražavati realan utrošak resursa društvene zajednice, pa će se za promatranu termoelektre na domaći lignit (Tuzla B) računati s cijenom ugljena određenom prema investicijskom programu za termoelektre Tuzla B [10]: cijena ugljena (s transportom) 3,75 \$/GJ.

Analize radikalnih promjena na međunarodnom tržištu energije sedamdesetih godina pokazale su da uzrok navedenim događajima nije u nekoj iscrplje-

nosti rezervi fosilnih goriva, već u domeni ekonomsko-političke konstelacije interesa i snaga u svijetu [6]. Poznate rezerve fosilnih goriva svijeta veće su danas nego ikad u povijesti. Kao primjer se navodi da su pridobive rezerve nafte dostatne za narednih stotinjak godina, a da se dokazane rezerve ugljena — najobilnijeg fosilnog goriva svijeta — danas procjenjuju na oko 1 320 milijardi tona, što je pri postojećem nivou svjetske potrošnje dovoljno za sljedećih 350 godina [7]. Pri sagledavanju energetske rezervi svijeta uvijek se, dakle, radi tek o pitanju da li je struktura izvora koju čovječanstvo u određenom trenutku koristi primjerena strukturi korištenja tog oblika energije i nivou dostignutog tehnološkog i ekonomskog razvoja. U skladu s tim svijet je spoznao da su poruke događaja iz sedamdesetih isključivo ekonomske i strateške prirode i da upućuju na potrebu mijenjanja efikasnosti i strukture korištenih oblika energije u smislu njihove diverzifikacije. Takve tendencije dovele su do smanjenja udjela nafte u ukupno korištenoj energiji u svijetu za 7,8% u razdoblju 1975–1985. i rastu udjela ugljena i nuklearne energije za 2% odnosno 2,9% [7]. Rast udjela bilježi i prirodni plin, iako s neznatno nižom stopom (1,9%). U budućnosti se očekuje znatni rast korištenja ugljena i nuklearne energije u svijetu i rast korištenja prirodnog plina. Rast korištenja ugljena predviđa se prije svega za proizvodnju električne energije i u industriji. Radi se primarno o kamenom energetskom ugljenu koji, kako se planira [7], postaje jedna od dominantnih sirovina u međunarodnoj razmjeni. Uvozni kameni ugljen, dakle, nije nikakva »moda« (koji put spominjan a priori kriterij za eliminaciju ove alternative), već jedan od važnih komplementa za spašavanje recionalnosti u domaćoj elektroenergetici. Posebno se ističe da se u domeni nuklearne energetike ne očekuje komercijalna primjena nekih novih tehnologija u sagledivoj budućnosti!

Radi formiranja stava prema eventualnom uvozu pojedinih oblika energije važno je ovdje naglasiti da su cijene nafte osnovni determinator cijena svih ostalih fosilnih oblika energije i da će se zasigurno ta tendencija protegnuti i na početak idućeg milenija. S druge strane, ne bi se trebalo zanositi iluzijama da je moguće pouzdano prognozirati buduću cijenu nafte. Uzrok tomu jest taj što obuhvaćanje svih elemenata koji u određenim uvjetima na tu cijenu mogu utjecati (i objektivnih — koji proizlaze iz prirodnih uvjeta naše planete i očekivanog tehnološkog i društvenog razvoja čovječanstva — i subjektivnih — koji proizlaze iz interesa dominantnih ekonomskih i političkih asocijacija svijeta i protivrječnosti razvoja i težnji pojedinih svjetskih regija) premašuje mogućnost spoznaje. U vezi s budućim kretanjem cijene nafte ne postoji prirodnih prepreka da ona bude umjerena (iskoristive svjetske rezerve nafte eksploataбилne uz relativno niske troškove — ispod 90 \$/t jesu znatne). No, hipoteze koje polaze isključivo od sagledavanja tempa iscrpljenja rezervi pokazale su se u prošlosti nedovoljnom osnovicom za prognozu cijene nafte u međunarodnoj razmjeni. Naime, analiza industrijske povijesti svjetske naftne industrije [6] pokazuje da je

usprkos promjenama kvalitativnih karakteristika odnosa u toj oblasti cijena nafte uvijek bila pod utjecajem monopola (izuzetak je kratkotrajno razdoblje slobodne konkurencije od početka industrijske proizvodnje nafte do sedamdesetih godina prošlog stoljeća). Moglo bi se stoga zaključiti da će kvalitativni elementi diktirati buduću cijenu nafte (interesi dominantnih ekonomskih grupacija svijeta). Znatna je vjerojatnost da će buduće cijene nafte (u periodu ekonomskog vijeka u članku analiziranih elektrana) biti između 150 i 200 \$/t. Uputno je, međutim, ispitati ponašanje objekata i u nešto široj domeni: 150 do 250 \$/t. Donja granica (150 \$/t) odgovara današnjim marginalnim troškovima eksploatacije nafte u svijetu, a 250 \$/t maksimalno dosegnutoj cijeni nafte u prošlosti (ona se pokazala neodrživom pa zasigurno neće biti premašena u doglednoj budućnosti).

Cijena nafte nije neposredni ulazni podatak za analize u ovom radu, već su to cijena teškog loživog ulja i uvoznog energetske ugljena. Teško bi, međutim, bilo opravdati izvođenje odnosa cijena teškog loživog ulja i ugljena na osnovi analize njihovih odnosa u međunarodnoj razmjeni u prošlosti. Razlozi za to jesu sezonske fluktuacije cijena i snažni utjecaj ponude i traženje na cijene teškog loživog ulja (npr. štrajk rudara u Velikoj Britaniji u dobroj je mjeri prije koju godinu utjecao na skok cijena loživog ulja, usprkos stagnaciji ili padu cijena ostalih oblika energije) zbog čega su rasipanja podataka znatna, a koeficijenti korelacije daleko od onih koji bi se moglo nazvati signifikantnima.

S druge strane, valjani su razlozi da se problem riješi usporedbom cijene teškog loživog ulja i cijene nafte jer su te kapljevine tehnološki i troškovno u neposrednoj vezi. Treba pritom ipak upozoriti da takav pristup može u potpunosti zadovoljiti tek za dugoročnije analize, kao što je ovdje slučaj, dok je za kratkoročnija sagledavanja u dobroj mjeri manjak. U [8] su dani usporedni podaci o kretanju cijena arabijske lake nafte (34 °API) i cijena teškog loživog ulja u Rotterdamu za svaki kvartal od 1973–1984. godine (ukupno 46 podataka). Pokazano je da je aritmetička sredina odnosa cijene teškog loživog ulja i nafte 0,80 (odnos energetske ekvivalenata). Usvaja se da taj odnos odražava realni odnos troškova za društvenu zajednicu (franko rafinerija) bez obzira na to da li su nafta ili teško loživo ulje uvezene iz inozemstva ili ne! Odnos cijene teškog loživog ulja franko kotao i cijene franko rafinerija iznosi prema podacima ZEOH-a oko 1,03 (uključen je transport, zakup cisterni, aditivi, grijanje).

Pri određivanju cijene uvoznog kamenog ugljena treba imati pred očima da je ugljen zbog strukture i nivoa troškova znatno inertniji glede promjene cijena nego nafta. U [9] objavljene su prosječne uvozne cijene energetske ugljena CIF luka Zapadne Evrope i Japana u razdoblju 1978–1984. godine. Ti podaci dani su zajedno s cijenama nafte, a ovisnost je moguće aproksimirana ovim polinomom drugog stupnja:

$$Cu/Cn = 5,172 \cdot 10^{-6} \cdot Cn^2 - 3,509 \cdot 10^{-3} \cdot Cn + 0,888,$$

gdje je:

Cu — cijena ugljena, \$/toe.

Cn — cijena nafte, \$/toe.

Iz navedenog izraza (CIF cijena je, u principu, neovisna o lokaciji luke kupca) i prije postignutog odnosa između cijene teškog loživog ulja i nafte proizlaze odnosi cijena dani u tablici 4. Donja ogrjevna vrijednost uvoznog energetskeg ugljena računata je s 27,63 GJ/t (sadržaj sumpora iznosi 1%). Važno je uočiti da pri promjeni cijene nafte od, naprimjer, 150 na 300 \$/t, dakle za 2 puta, cijena kamenog ugljena poraste samo za 25%. Ova stabilnost cijene uvoznog kamenog ugljena bitna je strateška kvaliteta.

Tablica 4. Cijena teškog ulja i uvoznog kamenog ugljena u funkciji cijene nafte u svijetu

nafta	teško loživo ulje		uvozni energetski ugljen		
\$/toe	\$/toe	\$/t _{ce}	\$/toe	\$/t _{ce}	\$/t
150	120	115	72	50	47
200	160	154	79	55	52
250	200	192	84	58	55

t_{oe} — tona ekvivalentne nafte (41,87 GJ)

t_{ce} — tona ekvivalentnog ugljena (29,31 GJ)

t — tona uvoznog kamenog ugljena (27,63 GJ)

Troškovi manipulacije ugljenom u luci, transport do deponije, iskrcaj ugljena te transport i deponiranje šljake i pepela iznose oko 6—10 \$/t ugljena. Ova procjena odgovara troškovima za lokaciju u zaleđu, a pri pogodnoj lokaciji na obali moguće je da navedeni troškovi budu i nešto niži.

Pri nuklearnoj energiji cijena goriva nikad nije bila onaj faktor koji je određivao konkurentnost ovog oblika energije u odnosu na korištenje ostalih oblika. Ovo je posljedica niskog udjela troškova nuklearnog goriva u troškovima proizvedene električne energije u koje svrhe se nuklearna energija danas redovito koristi).

Iako su troškovi nuklearnog goriva promjenjivi troškovi, moraju se podijeliti u vremenske faze ovisno o trenutku nastanka. Gorivi ciklus nuklearne elektrane sadrži prerađivački i postređivački ciklus s velikim vremenskim razmakom, pa aktualizacija troškova dolazi do punog izražaja i za samo određivanje godišnjih troškova jednog punjenja reaktora. Osim velikih vremenskih razmaka u trenucima realizacije troškova i koristi, nuklearno gorivo ima i druge specifičnosti sa znatnim ekonomskim posljedicama. Strukturu troškova goriva čini više zasebnih elemenata, koji su čak međusobno konkurentni. Naprimjer, povećanje cijene uranijeve rude, ekonomski uvjetuje dodatno ulaganje u postupku obogaćivanja urana — više jedinica separatnog rada — i time smanjenje potrošnje prirodnog uranija). Iz istih razloga povećanje cijene rude uvjetuje da postupak reprocesinga istrošenog goriva postaje konkurentniji u odnosu na kupovinu novog goriva. S druge strane, velik broj sudionika u proizvodnji nuklearnog goriva daje veću sigurnost i stabilnost cijena na svjetskom tržištu.

Najvažniji činioci u formiranju cijene nuklearnog goriva za lakovodne nuklearne reaktore (elektrana tipa PWR će poslužiti kao model za analizu) jesu ovi:

- prerađivačka faza
 - proizvodnja žutog kolača (U₃O₈) iz uranijeve rude
 - konverzija žutog kolača (U₃O₈—UF₆)
 - obogaćivanje uranija
 - tvornička izrada gorivih elemenata
 - transport, osiguranje, provizija posrednika i sl.
- postređivačka faza
 - skladištenje goriva u bazenima pri nuklearnoj elektrani
 - transport ozračenog goriva
 - skladištenje ozračenog goriva (kao strateške rezerve za slučaj ekonomski opravdanog postupka reprocesinga).

Karakteristika današnjeg tržišta prirodnim uranijem (žuti kolač) u svijetu jest velik broj dugoročnih ugovora, tako da slobodno tržište (zbog minorne tražnje) ima manju ulogu. To je i razlog izrazito niske cijene prirodnog uranija na slobodnom tržištu (oko 36 \$/kg U₃O₈). U dugoročnim ugovorima (narednih deset godina) te cijene su oko 75 do 100 \$/kg U₃O₈. Na temelju analiza daljeg tempa izgradnje nuklearnih elektrana i postojećih kapaciteta rudnika ne bi trebalo očekivati bitniji rast cijene uranijeve rude u bližoj budućnosti. Sadašnje niske cijene i niski troškovi skladištenja potakli su, međutim, neke zemlje da kupuju uranij radi stvaranja strateške energetske rezerve. Preraspodjela te sirovine iz zemalja proizvođača u bogate industrijske zemlje mogla bi stoga rezultirati i povećanjem cijene uranija.

Konverzija žutog kolača u uranov heksafluorid ne može bitnije utjecati na ukupnu cijenu nuklearnog goriva. Iznos od 5 do 8,5 \$/kg relativno je mala stavka u ukupnoj cijeni, a tehnološki postupak nije kompliciran niti je od strateškog interesa. Ovu fazu je, u slučaju potrebe, moguće u potpunosti usvojiti i provesti i u našoj zemlji.

Tehnološki postupak obogaćivanja uranija danas je izuzetno složen postupak s visokim investicijama i velikom potrošnjom energije (često dio poslovnih i vojnih tajni zemlje) i stoga skup. Današnju situaciju karakterizira znatan višak punude usluga u odnosu na potražnju, iako samo četiri zemlje nude usluge obogaćivanja (još tri su najavile da će se uskoro uključiti u taj krug). Cijena obogaćivanja jest oko 115—140 \$/JSR, ali je prilična vjerojatnost da će ove cijene stagnirati (napredak u tehnologiji obogaćivanja se s velikom sigurnošću može očekivati već u skoroj budućnosti, pa je moguće da se cijene obogaćivanja i smanje).

Postupak izrade gorivih elemenata je dobro uhodana tehnologija i prisutna je tendencija osamostavljanja sve većeg broja zemalja u toj fazi gorivog ciklusa. S obzirom na poznatu tehnologiju i relativno visoki udio ove faze u cijeni goriva (oko 15%), javlja se i u našoj zemlji zainteresiranost za usvajanje proizvodnje.

Ostale usluge (transport, osiguranje, usluge posrednika) ne sudjeluju znatnije u cijeni nuklearnog goriva. Za grublje račune, može se, poprilično konzervativno, računati s troškom od otprilike 5 \$/kg U (bez opasnosti da se nešto na ovom području izmijeni u sagledivoj budućnosti).

Postreaktorska faza se kao primjetniji izdatak počinje vremenski realizirati nakon 5 — 15 godina ležanja istrošenog goriva u bazenima NE (u našim uvjetima planira se da kapaciteti bazena moraju dostajati za 15 godina rada elektrane).

Transport ozračenog goriva je, za razliku od prereaktorskih troškova gorivog ciklusa, faza za koju nisu dostupni obrađeni podaci o tržišnim cijenama. Ukupni troškovi ovise o mnogim faktorima (vrsti prijevoza, načinu zaštite, udaljenosti i uvjetima transporta itd.). Raspon cijena kreće se od 0 \$/kg za interno skladištenje u NE do 100 \$/kg za interkontinentalni transport (prema podacima IAEA). Za slučaj odlaganja goriva u našoj zemlji može se računati s iznosom od 20 \$/kg.

Troškovi odlaganja ozračenog goriva ovise uglavnom o strateškim energetske planovima zemlje (kapacitetu skladišta) i tretmanu razvoja nuklearnog programa u tim zemljama. Procjene tih troškova stoga su krajnje specifične (ovise o tome da li se gorivo trajno skladišti ili se predviđa za reprocesing). Današnje procjene tih troškova za gorivo od lakoobogaćenog urana su na nivou 50 — 100 \$/kg, za slučaj traj-

nog skladištenja suhim postupkom (nakon 10 — 15 godina ležanja u bazenu).

Ako se gorivo odmah nakon vađenja iz reaktora predviđa za reprocesing, mokro čuvanje u posebnim bazenima ili kontejnerima, takav postupak može predstavljati i bitno veći trošak u iznosu od 300 do 900 \$/kg, tablica 5. Takav postupak u svijetu planira gotovo sve zemlje, ali ekonomski razlozi za sada ne opravdavaju ovo rješenje i samo su neke zemlje ovo provele u komercijalnom obliku.

U tablici 5. dan je pregled troškova svih faza gorivog ciklusa PWR elektrane snage 1 000 MW, uz aktualizirane vrijednosti goriva na trenutak ulaganja u reaktor (diskontna stopa 6 %), [9].

4.3. Ostali elementi ekonomske obrade

Usporedba navedenih elektrana provest će se uz pretpostavku da cijene gradnje i eksploatacije (dolarski iznos) eskaliraju po prosječnoj godišnjoj stopi 4 %.

Usvojeno je da je diskontna stopa za osnovnu analizu 6 %.

Također je usvojeno da je ekonomski životni vijek termoelektrana i nuklearnih elektrana 25 godina, hidroelektrana 35 godina.

Troškovi održavanja i pogona pretpostavljaju se u skladu s obveznim zakonskom izdvajanjima u tu svrhu.

Tablica 5. Struktura cijena nuklearnog goriva (PWR, 1000 MW, 1.1.1986. god.)

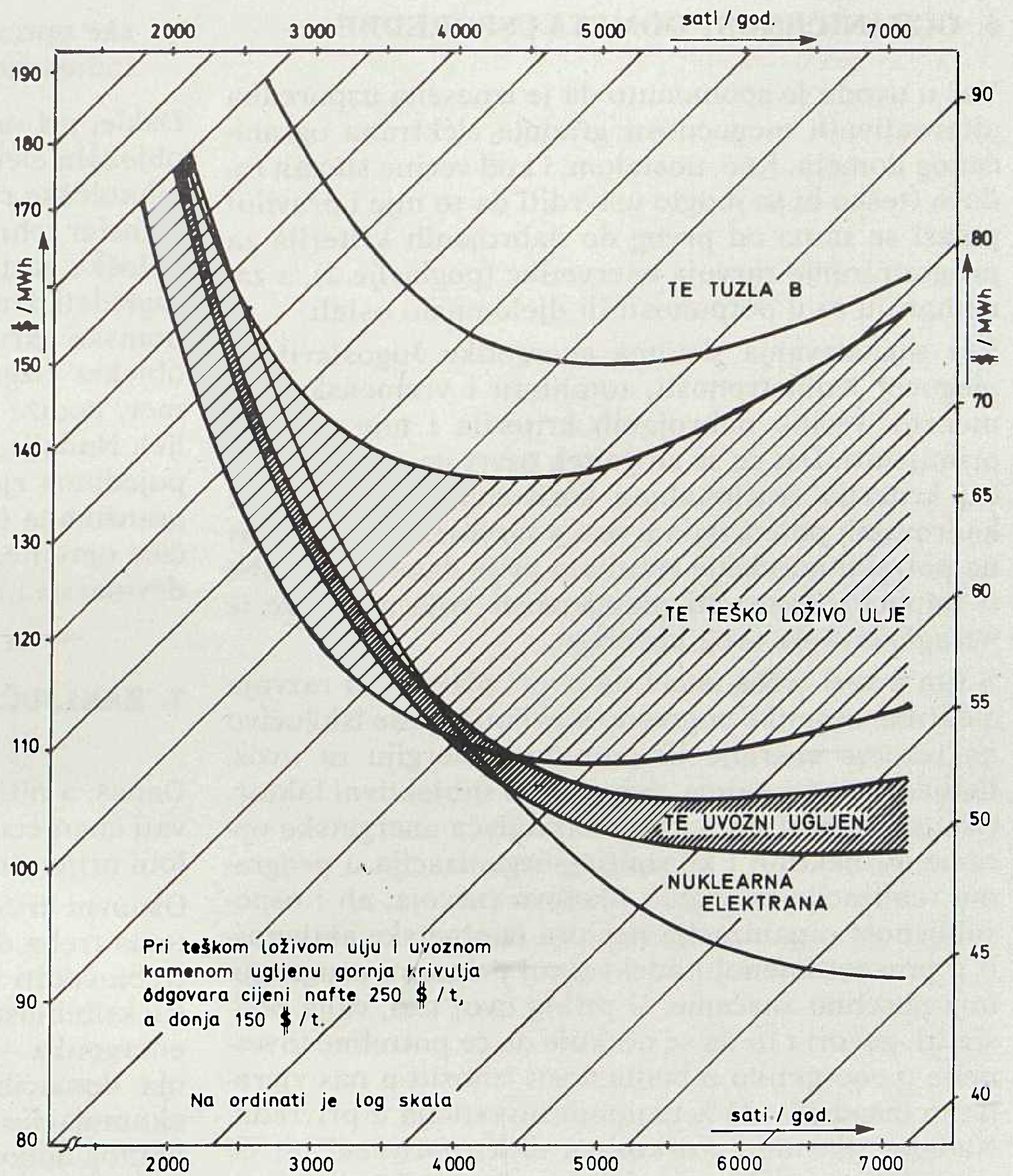
10³ \$

Tip nuklearne elektrane		A	B	C	D	E*	
Predreaktorska faza		Referentna					
Toplinska snaga reaktora	MJ/s	2 900	2 895	3 086			
El. snaga na pragu	MW	1 005	1 010	1 110	1 000		
Term. stupanj djelovanja	%	34,7	34,9	36,0	35,2		
Količina goriva u jezgri	kgU	92 805	73 114	82 949	79 820		
Količina goriva u izmjene	kgU	30 775	22 324	22 644	20 970		
Obogaćenje novog goriva	%	3,80	3,55	3,20	3,52		
Faktor obogaćenja (kod 0,2%)		7,045	6,556	5,871	6,497		
Količina žutog kolača	t	255,7	172,6	156,8	160,7		
Količina uranijeva heksaflurida	t	320,7	216,5	196,6	201,5		
Količina uranij dioksida	t	246,0	166,0	150,8	154,6		
Broj jedinica separatnog rada	JSR	6,087	5,556	4,746	5,459		
Cijena žutog kolača	90 \$/kg	23 010	15 530	14 110	14 460	16 340	(2,5 god.)
Cijena konverzije	7 \$/kg	2 240	1 520	1 100	1 130	1 250	(2,0 god.)
Cijena obogaćivanja	135 \$/JSR	25 290	16 750	14 510	15 460	16 630	(1,5 god.)
Cijena tvorničke izrade	210 \$/kg	6 470	4 690	4 760	4 410	4 630	(1,0 god.)
Cijena transporta i osiguranja	5 \$/kg	150	110	120	110	110	(0,5 god.)
Cijena jedne šarže goriva	\$	57 160	38 600	34 600	35 570	38 960	
Cijena god. punjenja za 1000 MWe	\$	37 920	38 220	31 170			
Postreaktorska faza (Alternativa 1. čuvanja NG bez reprocesinga)							
Cijena god. transporta goriva	20 \$/kg	410	450	450	420	250	(11 god.)
Cijena god. skladišta goriva	70 \$/kg	1 440	1 565	1 585	1 470	860	(11 god.)
Ostali nepredviđeni troškovi	10 \$/kg	205	225	230	210	120	(11 god.)
Trošak istrošenog god. goriva	\$	2 055	2 240	2 265	2 100	1 230	
Ukupni god. trošak goriva (1)	\$	39 975	40 460	33 435	37 670	40 190	

Izvor: L 9

* Kolona E prikazuje aktualizirane troškove goriva za referentnu nuklearnu elektranu el. snage 1 000 MW uz diskontnu stopu 6 %.

Slika 2.

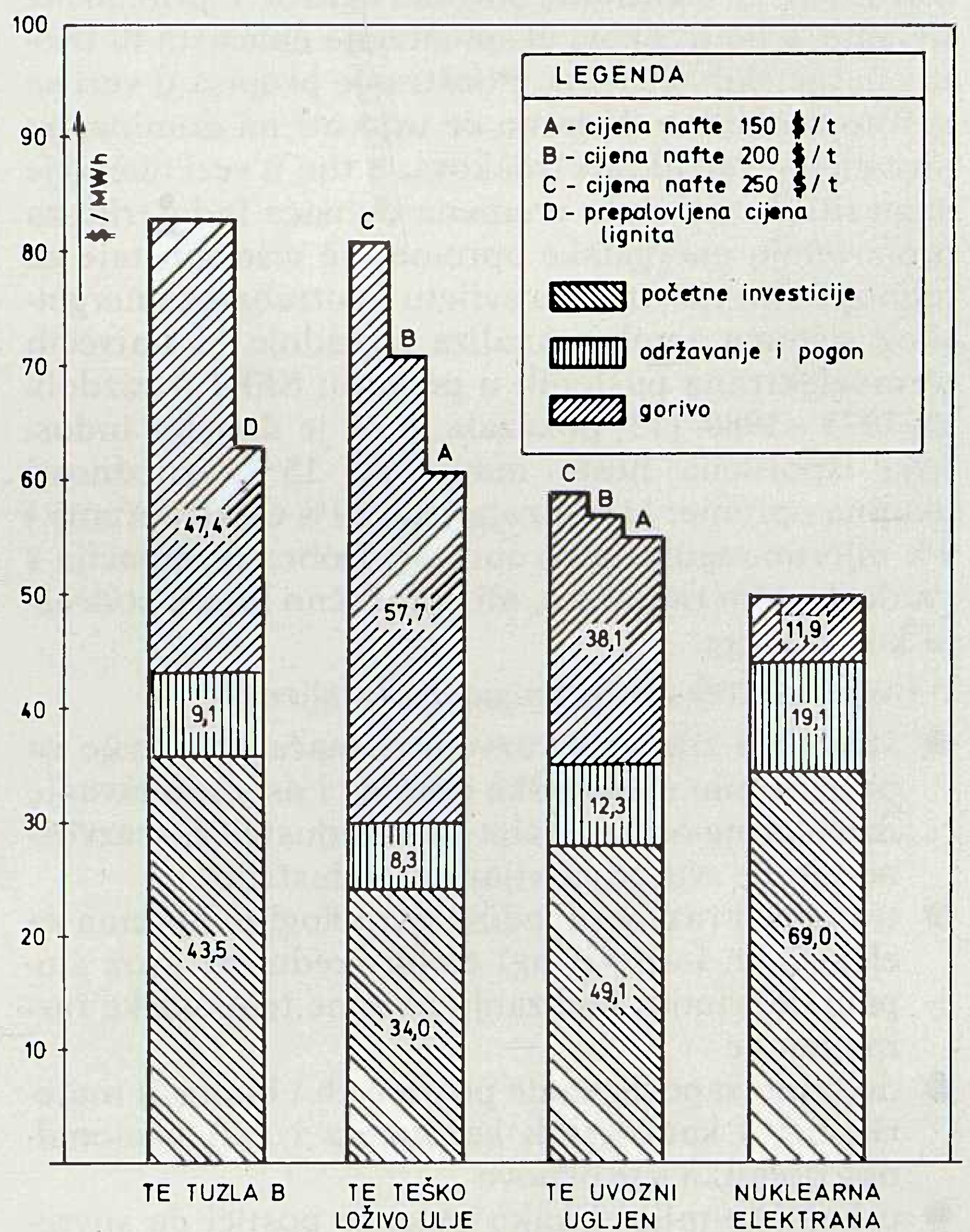


5. USPOREDBA SPECIFIČNIH TROŠKOVA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Na slici 2. dani su ukupni troškovi proizvodnje 1 MWh električne energije u promatrane elektrane u ovisnosti o broju sati rada elektrane godišnje.

Pri računu cijene električne energije proizvedene u termoelektrani na teško loživo ulje i uvozni kameni ugljen pretpostavljena je izgradnja uređaja za odsumporavanje! Cijene električne energije dane su u rasponu (kao što je objašnjeno u 4.2) korespondentnom cijeni teškog loživog ulja i uvoznog kamenog ugljena jednom u uvjetima cijene nafte na svjetskom tržištu 150 \$/t (oko 20 \$/bbl), a drugi put 250 \$/t (oko 34 \$/bbl).

Na slici 3. dana je struktura »cijene« električne energije uz pretpostavku da je godišnji broj sati rada svih elektrana pri nominanoj snazi 6 500. Cijena domaćeg ugljena (Tuzla B) uzeta je sa svojom stvarnom cijenom prema investicijskom programu [11], a drugi put je ta cijena hipotetski umanjena za polovicu. Željelo se tako ilustrirati i ekstremno uvažavanje davanje prioriteta domaćim izvorima energije (teškoće plasmana domaće robe na inozemnom tržištu, nerealni tečaj dolara itd.).



Slika 3.

6. OGRANIČENOST DOMETA USPOREDBE

Već u uvodu je spomenuto da je iznesena usporedba alternativnih mogućnosti gradnje elektrana ograničenog dometa. Kao, uostalom, i kod većine sličnih radova (teško bi se moglo ustvrditi da to nije i pravilo) polazi se samo od prvog do nabrojanih kriterija za programiranje razvoja energetike (poglavlje 2), a zamenaraju se u potpunosti ili djelomično ostali.

Bez sagledavanja sistema energetike Jugoslavije u njegovoj jedinstvenosti, totalitetu i vremenskoj dimenziji, većinu nabrojanih kriterija i nije moguće primijeniti. Dat će se stoga tek osvrst na mogući utjecaj kriterija »racionalnog korištenja materijalnih i kadrovskih potencijala u vezi s razvojem energetike« na potrebu korekcije rezultata prije dane usporedbe (i implicite naznačiti manjkavosti koje proizlaze iz nesagledavanja ovog kriterija).

S tim u vezi treba istaći da je pri planiranju razvoja elektroenergetike pogrešno stavljati težište isključivo na rezerve energije ili potrebnu energiju za uvoz. Podjednako je, naime, važan i tzv. subjektivni faktor. Osposobljenost domaćih proizvođača energetske opreme, projektnih i konzalting-organizacija u programu realizacije zacrtanih planova razvoja, ali i osposobljenost organizacija nosioca energetske aktivnosti u pravovremenoj i adekvatnoj pripremi programa ima posebno značenje. U prilog ovoj tezi, valja podsjetiti, govori i to da se očekuje da će potrebne investicije u energetiku u budućnosti iznositi u nas vjerojatno iznad 30—35 % ukupnih investicija u privredu. Nadalje, glavnina troškova u elektroprivredi bit će investicije u elektrane, infrastrukturu i prijenosne sisteme, a ne troškovi eksploatacije nalazišta ili uvoza energetskih sirovina. Pooštrenje propisa u vezi sa zaštitom okoline dodatno će utjecati na dominaciju investicija u strukturi troškova. S tim u vezi nužno je naglasiti da već duže vremena domaća industrija za proizvodnju energetske opreme sve više zaostaje za tehnološkim razvojem u svijetu i potrebama energetskog sistema zemlje. Analiza izgradnje 11 najvećih termoelektrana puštenih u pogon u SFRJ u razdoblju 1975—1980. [13] pokazala je da je domaća industrija isporučila nešto manje od 15 % vrijednosti ukupne opreme: 11 % strojarske, 29 % elektropreme i 9 % mjerno-regulacijske opreme. Dobra je situacija s građevinskim radovima, ali poprilično loša u području konzaltinga.

U ovom kontekstu treba sagledati sljedeće.

- strateško značenje razvoja domaće industrije za proizvodnju energetske opreme i osposobljavanje inženjering-organizacija (sve industrijski razvijene zemlje svijeta razvijaju tu industriju)
- transfer i razvoj pojedine tehnologije (oprema za elektrane, inženjering) treba vrednosti kroz stupanj doprinosa podizanju ukupne tehnološke razine zemlje
- dodatno zapošljavanje postojećih i budućih materijalnih i kadrovskih kapaciteta i rast nacionalnog dohotka s te osnove
- u kojoj je mjeri i kako moguće postići da suvremena (tehnološki vrhunska) proizvodnja energet-

ske opreme bude zamašnjak oživljavanja razvoja industrije i ostale privrede.

Dakle, pri usporedbi financijski izrazito intenzivnih objekata elektroprivrede (pogotovo ako su oni takve tehnološke razine da izravno ili posredno uključuju i transfer tehnologije efekti kojeg se održavaju na tehnološku razinu većine industrijskih grana) nužno je sagledati i utjecaje tih objekata na društveno-ekonomsko okruženje, ali i strateške kvalitete pojedinog objekta (izgradnjom nuklearne elektrane, naprimjer, podiže se stupanj energetske neovisnosti zemlje). Nadalje, važan element mogu biti i preferencije pojedinog rješenja u mogućnosti kreditnih i drugih aranžmana (kontraisporuke) sa ili uz pomoć isporučica opreme, zatim nivo zapošljavanja domaćeg građevinarstva i industrije itd.

7. ZAKLJUČAK

Danas, a niti u budućnosti SFRJ ne može zadovoljavati energetske potrebe iz vlastitih izvora, već se dijelom orijentirati na uvoz primarnih oblika energije.

Osnovni kriterij za izgradnju elektroenergetskog sistema treba da je ekonomska racionalnost, pri čemu treba voditi brigu o strateškim elementima sistema (fleksibilnost, diverzifikacija) i adekvatnosti odnosa energetika — okolina. Kriterij maksimalnog korištenja domaćih energetske rezervi može biti ponor akumulacije bez adekvatnog doprinosa rastu nacionalnog dohotka.

U elektroenergetici glavnina troškova u budućnosti bit će investicije, a ne troškovi eksploatacije nalazišta ili uvoza energetskih sirovina. Očito je stoga da je od primarne važnosti osposobljenost domaćih proizvođača energetske opreme, projektnih i konzalting-organizacija u programu realizacije zacrtanih planova razvoja, ali i osposobljenost organizacija nosioca energetske aktivnosti u pravovremenoj adekvatnoj pripremi i realizaciji programa razvoja.

Razvoj elektroenergetike nužno je sagledavati u sklopu podržavanja ukupnog, privrednog, znanstvenog i tehnološkog razvoja zemlje.

Politika ekonomske autarkije u bilo kojem obliku jednostavno ne može egzistirati u suvremenom svijetu. Ta istina u ekonomskim odnosima najočitije se spoznaje na području međunarodne razmjene, gdje samo roba čija je cijena svjetski objektivizirana može pronaći kupca. Različiti oblici nacionalnih poticaja pri izvozu nužno karikiraju strukturu cijene koštanja drugih roba namijenjenih domaćem ili inozemnom tržištu, što samo potvrđuje neodrživost ekonomske autarkije. U suvremenom svijetu utjecaj troškova električne energije u bilo kojem proizvodu sve je veći, a pri nekim robama i osnovna odrednica cijene. U takvim okolnostima, pogotovo u energetski ovisnim zemljama poput naše, jednostavno je nemoguće provoditi efikasnu energetske politiku (pogotovo politiku cijena) izvan općih pravila i tendencija koje vladaju u svijetu. Eventualna gradnja elektrana čija cijena

proizvedene električne energije znatno premašuje prosječnu cijenu iz elektrana koje će graditi svijet bit će doprinos daljem udaljavanju od realizacije osnovnih ciljeva društveno-ekonomskog razvoja zemlje.

U svakom trenutku razvoja elektroprivrede treba da je na raspolaganju više (!!!) povoljnih alternativa daljeg razvoja! Na taj način sprečavaju se monopolističke težnje u energetskom sektoru i povećava otpornost sistema na moguće, danas nepredvidive poremećaje u razvoju! Usporedbe dane na slici 2. mogu pritom poslužiti kao poticaj za ozbiljniju razradu svih potencijalnih alternativa (bolje raći komplementarnih elemenata razvoja).

LITERATURA

- [1] Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije, Informator, Zagreb, 1983.
- [2] H. POŽAR: »Analiza dugoročnog razvoja proizvodnje električne energije u Jugoslaviji konvencionalnim energetskim izvorima«, Energija 5/86., str. 339 — 351, Zagreb, 1986.
- [3] Economic Evaluation of Bids for Nuclear Power Plants, IAEA, Beč, 1976.
- [4] J. ŠIMUNOVIĆ: »Uloga i značaj udruženih sredstava društvene reprodukcije u financiranju razvoja privredne infrastrukture«, Energija 3/86., str. 171 — 179, Zagreb, 1986.
- [5] Projected Costs of Generation Electrification from Nuclear and Coal-Fired Power Stations for Commissioning in 1995., NEA/OECD, Paris, 1986.
- [6] Z. MUŽEK: »Cijene nafte u svijetu — dosadašnji razvitak i neke premise za budućnost«, Energija 5/86., str. 351 — 369, Zagreb, 1986.
- [7] Z. KISIĆ, Z. MUŽEK: »Uvozni energetski ugljeden — stanje i značajke međunarodnog tržišta«, Zbornik radova IX savjetovanja o energiji RAST YU, str. 2-23-1 do 2-23-11, Opatija, 1987.
- [8] Z. MUŽEK, Z. KOMERIČKI, D. MATANIĆ, L. STANIČIĆ: »Opravdanost izgradnje kotla 500 t/h na uvozni ugljen u TE-TO«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [9] Report for the Energy Economic Data Base Program, US Department of Energy, Washington, July 1983.
- [10] M. NADINIĆ i drugi. »Izvještaj o pregledu investicijskog programa za prvi blok TE Tuzla B 1 x 500 MW — Novelacija«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [11] Investicijski program energetskog kompleksa »TE Tuzla B« — blok 500 MW — NOVELACIJA — doradene izgradnje, Energoprojekt, Beograd, 1986.
- [12] Izvještaj o pregledu i reviziji Novelacije Investicijskog programa HE Dubrava, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [13] D. MATANIĆ, M. KREJČI: »Mogućnosti domaće industrije kod građenja velikih termoenergetskih postrojenja«, Zbornik referata, IX Savjetovanje o energiji RAST YU 87, str. 2-35-1 do 2-35-8, Opatija, 1987.
- [14] H. KUNAJ, Z. MUŽEK: »Usporedba korištenja uranija, uvoznog kamenog ugljena i teškog loživog ulja u elektranama«, Zbornik radova — IX savjetovanje o energiji RAST YU, str. 2-24-1 do 2-24-10, Opatija, 1987.

COMPARISON OF SPECIFIC COSTS FOR ELECTRIC POWER PRODUCTION IN TPP

In the article are compared alternative possibilities for TPP construction from standpoint of specific costs for electric power production. Beside TPP on imported fuel (uranium, stone coal, heavy oil) it is analyzed a TPP on domestic coal (Tuzla B). Described are criteria for programming of electric power enterprise development and constraints in performed analysis due to elimination of those criteria.

VERGLEICH DER SPEZIFISCHEN AUSGABEN BEI DER ERZEUGUNG DER ELEKTRISCHEN ENERGIE IN DER WÄRMESTRÄNKWERKEN

Es werden alternative Möglichkeiten des Ausbaues der Kraftwerke vom Standpunkt spezifischer Ausgaben für die Erzeugung der elektrischen Energie verglichen. Außer der Kraftwerke die mit Import — Energie beheizt werden (Uranium, Steinkohle, schweres Heizöl), wird auch ein Wärmekraftwerk, das mit heimischer Kohle beheizt wird analysiert (Tuzla B). Man spricht über Kriterien zur Programmierung der Entwicklung der Elektrowirtschaft und es werden Beschränkungen im Rahmen der bisherigen Analysen wegen Nichtbeachtung aller dieser Kriterien gegeben.

СРАВНЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Сравниваются альтернативные возможности сооружения электростанций с точки зрения удельных расходов на выработку электроэнергии. Кроме электростанций на импортную энергию (уран, импортный каменный уголь, тяжелое отопительное масло), анализируется также одна электростанция на отечественный уголь («Тузла Б»). Приводятся также критерии программирования развития электрохозяйства и даются ограничения в пределах досягаемости проведенных анализов из-за недоучета всех этих критериев.

Naslov pisaca:

Zdravko Mužek, dipl. inž.
Mr. Hrvoje Kunaj, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1987-07-07



SOUR **MONTING** **RO ENERGETIKA** ZAGREB

**RO ZA IZGRADNJU I MONTAŽU
OBJEKATA I ENERGETSKIH POSTROJENJA**

41000 ZAGREB, Kesterčankova 1

Predstavništva:

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

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

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

Telefoni:

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

VRŠI IZGRADNJU I MONTAŽU:

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



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

PROIZVODI:

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

PROIZVODNI POGON U DUGOM SELU — PROIZVODNJA SILOSA I ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

NEKE METODE ANALIZE BAZA PODATAKA PROGRAMSKOG PAKETA PROZA-11D/R U CENTRU DALJINSKOG UPRAVLJANJA OSIJEK

Predrag Kovačević, Osijek

UDK 621.398
STRUČNI RAD

Postojeća baza podataka u centru daljinskog upravljanja Osijek i programi predviđeni su prije svega za upis i modifikaciju baze. Analiza takvih elemenata baze podataka može se obaviti samo dodatnim sort-programima. Jedan od takvih programa opisan je u ovom preglednom članku.

Ključne riječi: centar daljinskog upravljanja, proza-11D/R, baza podataka, sort-programi.

NEKE METODE ANALIZE BAZA PODATAKA PROGRAMSKOG PAKETA PROZA-11D/R U CENTRU DALJINSKOG UPRAVLJANJA OSIJEK

Prošlo je već nekoliko godina od uvođenja programskog paketa proza-11D/R u centre daljinskog upravljanja u SR Hrvatskoj. U toku tih godina paket je pokazao dosta dobrih, a ponetšo i loših strana.

Anomalije u radu često nisu bile posljedica programskog dijela paketa, već lošeg upisa u bazu podataka, što je s obzirom na mali broj elemenata baze podataka otprije nekoliko godina bilo lako detektirati i ispraviti.

Međutim, s razvojem sistema daljinskog vođenja dolazimo do današnje situacije kada velik broj elemenata baze podataka znatno otežava kontrolu. Uzmimo za primjer osječki centar daljinskog upravljanja, gdje postoji više od 4 700 elemenata baze podataka za deset prilagođenih elektroenergetskih objekata od dvadesetak koliko ih je predviđeno u konačnoj fazi. U tim uvjetima manualno analiziranje, a naročito sistematiziranje obrada (npr. koji signali pripadaju u listu alarma, koji su prikazni na sinoptičkoj ploči, ili koji su obrađeni zvučnim signalom) postaje dugotrajan i naporan posao koji nepotrebno angažira nekoliko ljudi.

Jasno je, dakle, da analizu baza podataka treba provoditi specijaliziranim programima. U programskom paketu proza-11D/R postoje standardno nekoliko off-line baza podataka čijim se prevođenjem i kolektiranjem stvara on-line baza podataka koja se koristi, kao što joj ime govori, u on-line radu računala. U cilju analize off-line baza podataka mogu se koristiti programi PDI (primary data input) i KYS (key sort), ali s određenim ograničenjima. Program PDI je prvenstveno predviđen za upis i modifikaciju baze podataka, ali kao opciju pruža puni ispis formulara baze podataka sortiranih po SDV ključevima. Takav ispis je detaljan, nepregledan i glomazan, te nepogodan za naknadna sortiranja. Program KYS služi pri-

```
RADE KONCAR                                PROJEKT NASICE                                STR
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!DVOSTRUKI SIGNAL - !KLASA !RACUNALO!KOM.JED.!DALJ.ST.!BLOK BR.!KANAL !
!DALJINSKI          !PK1:  1!PK2: 64!PK3:  7!PK4:  1!PK5: 24!PK6:  4!
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!NAZIV:  NASICE  DV1118 P.SLAT. RAST. PS !FUNKCIONALNA GRUPA:  26!
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!KRD PORUKA OSVJ.BAZU? !POD.IZAZ.UPIS U KRD LISTU? !T.MEDJUPOL: 10 S/M50/160 !
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!DOGADJAJ JE!TEKST ! OBRADE? ! +-----+-----+
!PRIJELAZ !DOGADJAJA!LA KV LK ! !SINOPTICKI PRIKAZ? 1!
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
! -> 00 !MEDUPOL. ! 1 1 1 ! !BROJ ZARULJA:  1! +-----+-----+
! -> 01 !UKLJUZEN ! 1 0 0 ! !JED.ZARULJU PALI: 01! !SUDJELUJE U SL.SIG!
! -> 10 !ISKLJUZEN! 1 0 0 ! !ALARM TREPERI?  1! !GRUPA:  -- BR:  ---!
! -> 11 !KVAR SIG. ! 1 1 1 ! +-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!ALARM!PRIORITET: 2 ZVUCNI SIGNAL?  1 SLIKA:  65!
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!KOMANDA!TIP:  5 BLK: 237 KNL:  0 LOG.UUJ? 0 UPR.ZAVRS. EXR/NOV.ST50/16: 0!
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!DODATNE OBRADI! - - - - - !
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!POST MORTEM ISPIS?  0!KLASA !RACUNALO!
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!PRIJELAZ!1.MJERENJE? !PK1:  ---!PK2:  ---!PK3:  ---!PK4:  ---!PK5:  ---!
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!ALARM  !2.MJERENJE? !PK1:  ---!PK2:  ---!PK3:  ---!PK4:  ---!PK5:  ---!
!ALARM  !3.MJERENJE? !PK1:  ---!PK2:  ---!PK3:  ---!PK4:  ---!PK5:  ---!
!ALARM  !4.MJERENJE? !PK1:  ---!PK2:  ---!PK3:  ---!PK4:  ---!PK5:  ---!
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!BLOKA-!OSVJ.? !L.DOG?!L.ALM?!ZV.SG?!KVAR ?!L.KVR?!L.KRD?!UPR. ?!K.UPR?!
!DE?  0! - - - - - ! - - - - - ! - - - - - ! - - - - - ! - - - - - !
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
!STANJE:  - ALARM:  - RUCNI UPIS:  - NIJE PRIMLJENO:  - !
!          KVAR:  - OCEKUJE SE:  - UPRAVLJ.U TOKU:  - !
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
ESO 24-MAR-87 VERZIJA 2
```

Slika 1.

premi off-line baza za generaciju on-line baze podataka i daje skraćeni ispis baze podataka u preglednom i siromašnom obliku također sortiran po SDV ključu i nepogodan za dalja sortiranja. Taj ispis sadrži samo SDV ključeve podataka, tekst stanice i tekst objekta, što onemogućava analizu obrada signala.

Ispis on-line baze podataka moguć je u on-line radu računala prelaskom u mod planiranja, a zatim u mod popisa baze podataka. Sortiranje je opet moguće sa-

nog formata i pakiranja podataka nemoguće je dobiti suvisli ispis pogodan za analizu i dalje sortiranje.

Na osnovi svega zaključuje se da je uz postojeću programsku podršku veoma otežano analiziranje baza podataka. Prva faza realiziranja te programske podrške je program PDO V1.0. Pisan je u macro-11 assembleru i služi se FCS rutinama za rad s files-11 datotekama da bi što efikasnije iskoristio skromne resurse računala PDP-11/34. Komandna linija se zada-

```

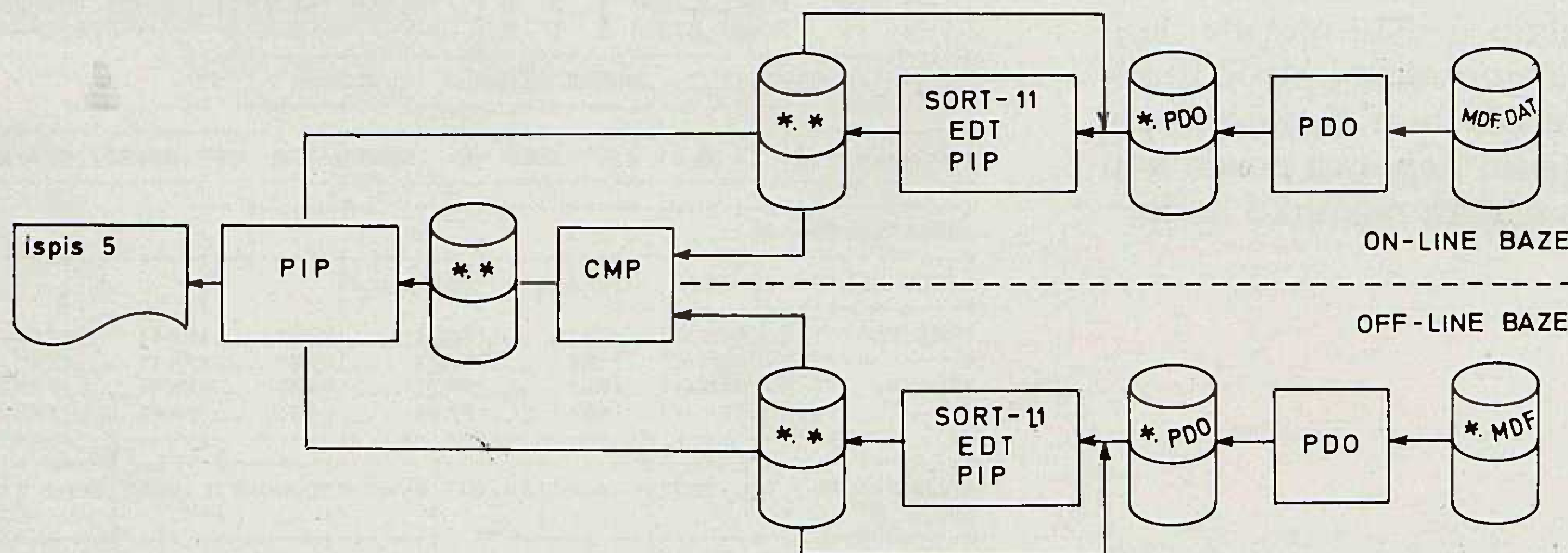
FOFIS BAZE PODATAKA                BR.6          24-MAR-87 12:51:52  STR
POPIS PROCESNIH PODATAKA ZA CVOR: OSF (64)
-----
!D.SIGNAL  KJ: 7  DAS: 1  BL: 24  KN: 0  NAŠICE DV1118 P.SLAT. PREKIDAČ 2X +
!          FG: 26 ADR:032752 KOM:236, 6 TIP: 5 FTAB:ISPRAVAN ST:UKLJUČEN
!-----
!D.SIGNAL  KJ: 7  DAS: 1  BL: 24  KN: 2  NAŠICE DV1118 P.SLAT. RAST. GS 2X +
!          FG: 26 ADR:032754 KOM:236, 7 TIP: 5 FTAB:ISPRAVAN ST:UKLJUČEN
!-----
!D.SIGNAL  KJ: 7  DAS: 1  BL: 24  KN: 4  NAŠICE DV1118 P.SLAT. RAST. PS 2X -
!          FG: 26 ADR:032756 KOM:237, 0 TIP: 5 FTAB:ISPRAVAN ST:ISKLJUČEN
!-----
!D.SIGNAL  KJ: 7  DAS: 1  BL: 24  KN: 6  NAŠICE DV1124 ĐAKOVO PREKIDAČ 2X +
!          FG: 26 ADR:032760 KOM:236, 2 TIP: 5 FTAB:ISPRAVAN ST:UKLJUČEN
!-----
!D.SIGNAL  KJ: 7  DAS: 1  BL: 24  KN: 8  NAŠICE DV1124 ĐAKOVO RAST. GS 2X +
!          FG: 26 ADR:032762 KOM:236, 3 TIP: 5 FTAB:ISPRAVAN ST:UKLJUČEN
!-----
!D.SIGNAL  KJ: 7  DAS: 1  BL: 24  KN:10  NAŠICE DV1124 ĐAKOVO RAST. PS 2X -
!          FG: 26 ADR:032764 KOM:236, 4 TIP: 5 FTAB:ISPRAVAN ST:ISKLJUČEN
!-----
!D.SIGNAL  KJ: 7  DAS: 1  BL: 24  KN:12  NAŠICE SP 110KV GS-PS PREKIDAČ 2X +
!          FG: 26 ADR:032766 KOM:237, 2 TIP: 5 FTAB:ISPRAVAN ST:UKLJUČEN
!-----
!D.SIGNAL  KJ: 7  DAS: 1  BL: 24  KN:14  NAŠICE SP 110KV GS-PS RAST. GS 2X -
!          FG: 26 ADR:032770 KOM:237, 3 TIP: 5 FTAB:ISPRAVAN ST:ISKLJUČEN
!-----
    
```

Slika 2.

mo po SDV ključu, a moguće je birati puni ili skraćeni ispis. Skraćeni popis prikazuje trenutno stanje ulaza, a puni osim toga i tekst stanice, tekst objekta, funkcionalnu grupu: adresu modula, adresu i tip pripadne komande, stanje funkcionalnih tabela-A i tekst događaja vezan uz trenutno stanje ulaza. Naknadno sortiranje podataka je nemoguće. Detaljan ispis elemenata baze podataka s obradama moguće je dobiti u modu modifikacije baze podataka, ali samo jednu po jednu kopiju formulara.

Nekim standardnim digitalovim programima moguće je napasti baze podataka. Međutim zbog specifič-

je u standardnom digitalovom formatu slično univerzalnom digitalovom programu za rad s datotekama PIP (peripheral interchange program), a moguća je i upotreba komandnih datoteka. PDO (primary data output) u verziji 1.0 dohvaća samo signale klase 1 kojih u bazi podataka ima više od 60 % i vrši konverziju u format pogodan za moćnu digitalovu programsku podršku, za programe tipa SORT-11, EDT, CMP i PIP.



Slika 3. Dijagram toka podataka kroz postupak analize baza podataka pomoću programa PDO i standardne DIGITAL-ove programske podrške za sortiranje, editiranje, kopiranje i uspoređivanje

Program PDO V1.0 daje sljedeće informacije o signalu klase 1: SDV ključ, tekst stanice, tekst objekta, definiciju događaja (ulaz u listu događaja), zvučni alarm, boju prikaza u listi alarma i listi događaja, si-

noptički prikaz, tip komande, tekstove događaja s obradama (lista alarma, kvar, lista kvarova), i broj alarmne slike.

1	64	7	1	52	8	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	100V MJ,Z	-	-	-A0-	-K0-	(	)	NESTANAK	()	()	()
1	64	7	1	52	9	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	220V= KP	-	-	-A0-	-K0-	(	)	NESTANAK	()	()	()
1	64	7	1	52	7	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	AFU PROR.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	1P I 3P	()	()	()
1	64	7	1	52	4	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	PAD TLAKA	-	-	-A0-	-K0-	(	)	<11 BARA	()	()	()
1	64	7	1	52	5	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	PAD TLAKA	-	-	-A0-	-K0-	(	)	<14 BARA	()	()	()
1	64	7	1	52	6	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	PAD TLAKA	-	-	-A0-	-K0-	(	)	<16 BARA	()	()	()
1	64	7	1	51	13	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	DIS.ZAŠ.VF	-	-	-A0-	-K0-	(	)	ISKLUŽ.	()	()	()
1	64	7	1	51	11	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	DIST.ZAŠT.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	ISKLUŽ.	()	()	()
1	64	7	1	52	2	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	DIST.ZAŠT.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	KS 2. ST.	()	()	()
1	64	7	1	52	3	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	DIST.ZAŠT.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	KS 3. ST.	()	()	()
1	64	7	1	51	14	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	DIST.ZAŠT.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	KS FAZA R	()	()	()
1	64	7	1	51	15	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	DIST.ZAŠT.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	KS FAZA S	()	()	()
1	64	7	1	52	0	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	DIST.ZAŠT.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	KS FAZA T	()	()	()
1	64	7	1	52	1	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	DIST.ZAŠT.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	ZEMLJOSP.	()	()	()
1	64	7	1	51	12	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	NADS.ZAŠT.	-	-	-A0-	-K0-	(	)	ISKLUŽ.	()	()	()
1	64	7	1	64	13	NAŠICE	DV1118	P.SLATINA	A1	-	D-Z-A2-	-K0-	(	)	ISKLUŽ.	(A)	()	()	()
1	64	7	1	64	14	NAŠICE	DV1118	P.SLATINA	A2	-	DD-Z-A1-	-K0-	FRESTANAK	(	)	UFOZOR.	(AKL)	(	)	(	)	68
1	64	7	1	33	2	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	FREKLOPKA	-	DS-Z-A1-	-K0-	MEĐUPOL.	(AKL)	KMD.ORMAR	(	)	KMD.FLOŽA	(	)	KVAR SIG.	(AKL) 65
1	64	7	1	33	4	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	ZAŠT.SP-VF	-	DS-Z-A1-	-K5-	MEĐUPOL.	(AKL)	SP	(A)	VF	(A)	(	)	KVAR SIG.	(AKL) 65
1	64	7	1	33	0	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	NOŽ UZEM.	-	DS-Z-A2-	-K0-	MEĐUPOL.	(AKL)	UKLJUČEN	(A)	ISKLUŽEN	(A)	(	)	KVAR SIG.	(AKL) 65
1	64	7	1	32	14	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	VOD.RAST.	-	DS-Z-A2-	-K0-	MEĐUPOL.	(AKL)	UKLJUČEN	(A)	ISKLUŽEN	(A)	(	)	KVAR SIG.	(AKL) 65
1	64	7	1	24	0	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	PREKIDAČ	-	DS-Z-A2-	-K5-	MEĐUPOL.	(AKL)	UKLJUČEN	(A)	ISKLUŽEN	(A)	(	)	KVAR SIG.	(AKL) 65
1	64	7	1	24	2	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	RAST. GS	-	DS-Z-A2-S-K5-	MEĐUPOL.	(AKL)	UKLJUČEN	(A)	ISKLUŽEN	(A)	(	)	KVAR SIG.	(AKL) 65	
1	64	7	1	24	4	NAŠICE	DV1118	P.SLAT.	RAST. FS	-	DS-Z-A2-S-K5-	MEĐUPOL.	(AKL)	UKLJUČEN	(A)	ISKLUŽEN	(A)	(	)	KVAR SIG.	(AKL) 65	

Slika 4.

SDV ključ je prikazan na izlaznoj listi sa šest brojeva čije je značenje: klasa signala, broj računala, komunikacijske jedinice, daljinske stanice, broj modula i kanala na modulu. Polje SDV ključeva zauzima 20 okteta.

Tekst stanice je polje u kome je naziv trafostanice i ono zauzima 6 okteta.

Tekst objekta u elektroenergetskim postrojenjima obično sadrži oznaku i naziv polja te dodatni opis događaja ili aparata. Dužina je 24 okteta. Mislim da bi radi lakšeg sortiranja, a i lakšeg upisa baze podataka trebalo ovo polje razbiti u dva dijela, od kojih bi jedan sadržavao samo opis polja, a drugi opis događaja ili aparata.

Definicija događaja zajedno s ostalim oznakama odvojenim s povlakom označava obrade zajedničke za sve moguće vrijednosti signala. Definicija događaja opisana je s dva slova sljedećeg značenja: slova -DS- označavaju da se radi o dvorustrukom signalu, slova -DD- da se obrađuju prijelazi iz nule u jedinicu i obrnuto. Oznake -D- i -D- kažu da se obrađuje jedan od prijelaza i koji, a oznaka - - kaže da se radi o signalu koji se pridružuje samo u kronološku listu događaja i ostale oznake obrada, ako su greškom i upisane u bazu podataka, nemaju značenje.

Zvučni alarm je prikazan oznakom -Z- ako je neki prijelaz između mogućih stanja signala obrađen zvučnom signalizacijom, a oznakom - - u suprotnom slučaju.

Boja prikaza ili prioritet alarma označavaju kojom bojom će promjena stanja signala biti prikazana u listu alarma i listi događaja. Moguće su oznake prioriteta -A2- za prikaz crvenom bojom, -A1- za prikaz žutom bojom i -A0- za prikaz zelenom bojom.

Sinoptički prikaz poprima vrijednost -S- kada je signal prikazan na sinoptičkoj ploči, a - - kada nije.

Tip komande može poprimiti vrijednost od -KO- do -K9- s obzirom o kojem tipu komande se radi. Oznaka -KO- označava da objekt nije upravljiv.

Tekstovi događaja vezani uz određene promjene stanja signala zauzimaju po 9 okteta, a u zagradama je uz svaki tekst događaja dan način obrade određenog prijelaza. Prvo slovo u zagradi, ukoliko ga ima je A i označava da će ta promjena signala biti zabilježena u listi alarma. Drugo slovo K označava da će ta promjena stanja signala biti obrađena kao kvar, a treće slovo L označava da će biti zabilježena u listi kvarova.

Broj alarmne slike je broj koji označava sliku na kojoj je moguće prihvatiti alarm pobuđen ovim signalom.

Format izlazne liste prilagođen je za ispis, ali nije sortiran. Upotrebom programa sort-11 moguće je sortirati izlaznu listu prema bilo kojoj od navedenih informacija. Izlazna lista može biti sortirana: po SDV ključu, po nazivu trafostanice, po nazivima polja, po alarmnim slikama, po bojama prikaza u listu alarma ili po tipovima signala. Moguće je izdvojiti signale koji su obrađeni zvučnim signalom, koji su prikazani na sinoptičkoj ploči, koji su upravljivi ili ne, a lako je i utvrditi pripadnost signala listi alarma ili kvarova. U sto postoji i mogućnost kombiniranja ključeva za sortiranje, pa je npr. moguće sortirati signale po nazivu trafostanice, pa zatim po poljima, pa unutar polja po obradama, kao na danom primjeru. Datoteka sortiranih signala može biti uređena programom EDT, a ispisana programom PIP.

Program PDO V1.0 pogodan je za izradu dokumentacije, za upoređivanje on-line i pripadnih off-line datoteka, za analize korektnog upisa baze podataka u odnosu na dani projektni zadatak, za provjeru ispravnosti programske podrške i za ispitivanje i puštanje u pogon novih objekata u sistemu daljinskog vođe-

nja. Osobito je korisno sortiranje signala po vodnim poljima (tekst objekta) pri ispitivanju i puštanju postrojenja u pogon. Korisnost ovog programa najbolje se očituje u radu s velikim bazama podataka, a moguće je i združivanje nekoliko baza podataka radi zajedničkog analiziranja (npr. združivanjem on-line baza podataka CDU TUMBRI, CDU VRBORAN, CDU PEHLIN i CDU OSIJEK mogle bi se provesti mnoge korisne analize).

SOME METHODS FOR ANALYSIS OF DATA BASE FOR PROGRAM PROZA IN REMOTE CONTROL CENTER OSIJEK

Data base and programs in remote control center Osijek are applied for input and modification of data. Analysis of data is possible with sort programs. One sort program is described in the article.

EINIGE METHODEN DER ANALYSEN VON BASEN DES PROGRAMM — PAKETS PROZA — 11 D/R IM ZENTRUM FÜR FERNBEDIENUNG OSIJEK

Die gegenwärtige Ausgabenbasis im Zentrum der Fernbedienung Osijek sowie Programme, sind vor allem für die Einschreibung und Modifikation der Base vorgesehen. Eine Analyse solcher Basen elemente der Angaben kann nur durch zusätzliche sort — Programme durchgeführt werden. In diesem übersichtlichen Artikel wurde eines dieser Programme beschrieben.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА БАЗ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ПРОЗА — 11 Д/Р В ЦЕНТРЕ ДИСТАНТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОСИЕК

Существующая база данных в центре дистантного управления Осиек, как и программы, предусмотрены в первую очередь для записи и модификации базы. Анализ таких элементов базы данных может быть выполнен только дополнительными сорт программами. Одна из таких программ описана в данной обзорательной статье.

Naslov pisca:

**Predrag Kovačević, dipl. inž.
Elektroslavonija Osijek
Šetalište V. Vlahovića 1a
54000 Osijek, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis
1987-03-27

OVISNOST MOGUĆE PROIZVODNJE HIDROELEKTRANA O DUŽINI TRAJANJA OSNOVNE VREMENSKE JEDINICE (MJESEC, TJEDAN I DAN)

Mr. Slavko Alerić, Zagreb

UDK 621.311.21.005

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je ukratko opisana metoda konstantne i varijabilne energije i snage. Na njenim načelima načinjen je program za elektroničko računalo kojim se proračunava moguća proizvodnja hidroelektrana za različito trajanje osnovne vremenske jedinice (mjesec, tjedan, dan).

Ključne riječi: hidroelektrana, energija (ukupna, varijabilna), vremenska jedinica, protok, veličina izgradnje.

1. OSNOVE METODE PRORAČUNA MOGUĆE PROIZVODNJE HE

1.1. Kratki prikaz metode konstantne i varijabilne energije i snage

Metoda konstantne i varijabilne energije i snage detaljno je opisana u literaturi 1 i 2. U ovoj točki će se ukratko prikazati spomenuta metoda, i to onaj dio koji se odnosi na proračun moguće proizvodnje hidroelektrana. **Temeljna odrednica metode je u tome da se želi postići najveća moguća varijabilna energija u najkraćem vremenu s najvećom snagom, ali tako da ne dođe do preljeva.** Na sl. 1. i sl. 2. prikazana su dva slučaja prirodnog dotoka u hidroelektranu na kojima će se ukratko opisati spomenuta metoda. Slika 1. prikazuje slučaj pojave malih protoka (male vode) kad se cijeli dotok ako postoji akumulacija može iskoristiti u razdoblju velikih opterećenja (cijela proizvodnja je varijabilna). Na sl. 2. prikazan je slučaj kada je srednji protok hidroelektrane velik, odnosno dotok je toliki da se proizvodnja ostvaruje u razdoblju velikih opterećenja, a da ne dođe do preljeva, mora se proizvoditi i konstantna (temeljna) energija. Osim prirodnog dotoka (sl. 1 i sl. 2) s obzirom na veličinu akumulacijskog bazena mogu nastati sljedeće kombinacije:

a) da je korisna energetska vrijednost akumulacije **veća** od maksimalno potrebne

$$Ak \geq AMAX$$

b) da je korisna energetska vrijednost akumulacije **manja** od maksimalno potrebne

$$Ak < AMAX$$

Prema oznakama na sl. 1. i sl. 2. izraz za maksimalno potrebnu energetska vrijednost akumulacije jest:

$$AMAX = \frac{R \cdot TVH}{24} \cdot \frac{24 \cdot 24 - TVH}{24(R + N)} \quad (1)$$

gdje je:

$AMAX$ — maksimalno potrebna relativna vrijednost akumulacije

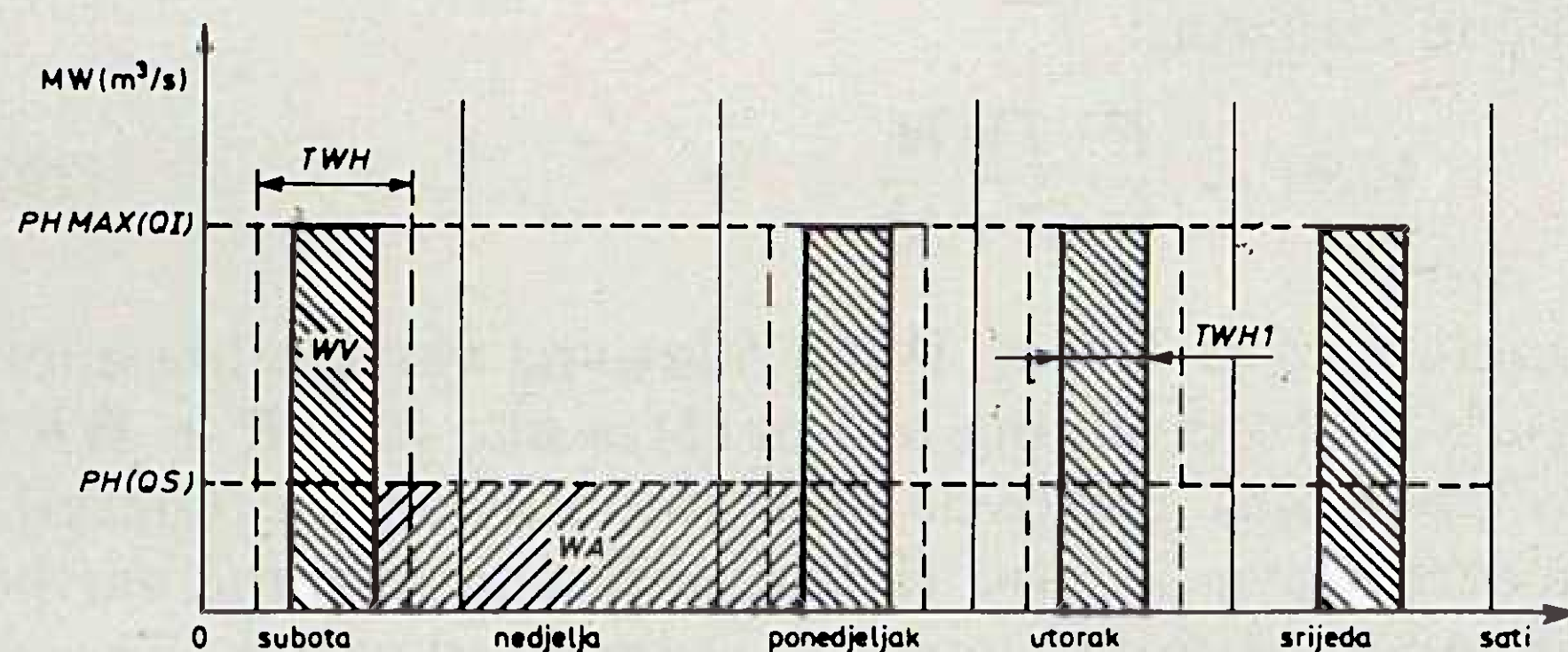
R — broj radnih dana u promatranoj vremenskoj jedinici ($R=25$ u ekvivalentnom mjesecu)

N — broj neradnih dana u promatranoj vremenskoj jedinici ($N=5,417$ u ekvivalentnom mjesecu)

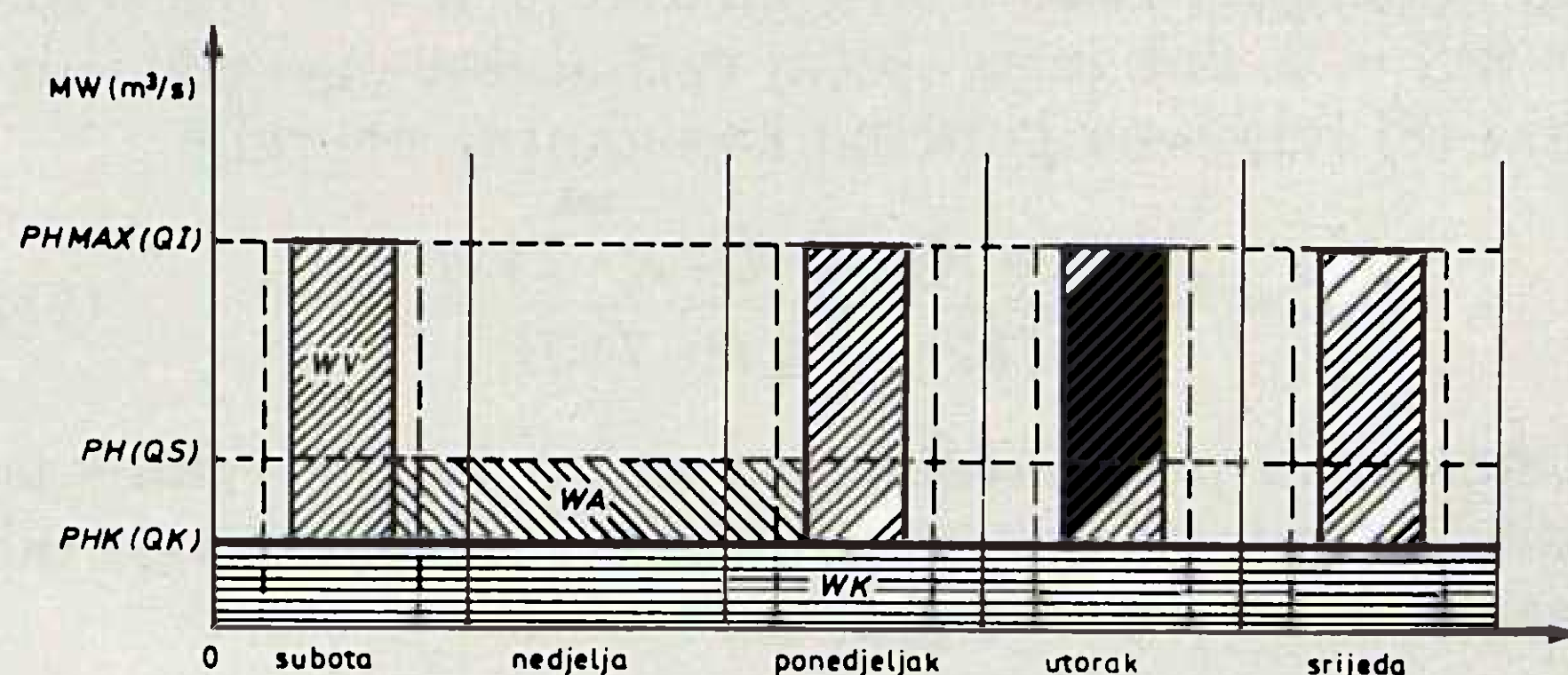
TVH — razdoblje velikih opterećenja.

Ako je korisna energetska vrijednost akumulacije veća od maksimalno potrebne i ako je protok mali (sl. 1), onda se sva proizvodnja ostvaruje u razdoblju velikih opterećenja, odnosno cijela proizvodnja je varijabilnog karaktera. Dakle, ako je

$Ak \geq AMAX$ i dotok mali (sl. 1)



Slika 1.



Slika 2.

varijabilna proizvodnja jednaka je ukupnoj proizvodnji

$$WV = WUK \quad (2)$$

Ovaj izraz vrijedi ako je:

$$WUK \leq R \cdot TVH \cdot PHMAX \quad (3)$$

gdje je:

$PHMAX$ — maksimalna snaga hidroelektrane.

Ako su protoci veliki (sl. 2), tada se varijabilna energija računa prema izrazu:

$$WV = R \cdot TVH (PHMAX - PHK) \quad (4)$$

Da bi se olakšalo daljnje objašnjenje metode konstantne i varijabilne energije i snage, a i sam program za elektroničko računalo je tako načinjen, navest će se relativne vrijednosti za pojedine promatrane veličine. Tako je ukupna relativna moguća proizvodnja hidroelektrane.

$$WR = \frac{WUK}{24(R+N) \cdot PHMAX} \quad (5)$$

a relativna vrijednost akumulacije

$$Ak = \frac{WA}{24 \cdot PHMAX} \quad (6)$$

Nakon uvođenja ovih relativnih veličina granica do koje vrijedi izraz (2) je

$$WR \leq \frac{R \cdot TVH}{24(R+N)} \quad (7)$$

dok se izraz (4) može napisati u obliku:

$$WRV = \frac{R \cdot TVH}{24(R+N) - R \cdot TVH} (1 - WR) \quad (8)$$

Prethodni izraz vrijedi ako je

$$\frac{R \cdot TVH}{24(R+N)} \leq WR \leq 1 \quad (9)$$

Iz toga slijedi da postoji neka relativna ukupna proizvodnja o kojoj ovisi način određivanja količine varijabilne energije. Ta nazovimo granična ukupna relativna proizvodnja hidroelektrane definirana je sljedećim izrazom:

$$WR1 = \frac{R \cdot TWH}{24(R+N)} \quad (10)$$

Dakle, ako je $WR \leq WR1$, relativna varijabilna energija se računa prema izrazu (2), a ako je $WR \geq WR1$, za proračun relativne količine varijabilne energije upotrebljava se izraz (8). Iz uvjeta da je suma varijabilne i konstantne energije jednaka ukupnoj energiji mogu se odrediti izrazi za relativnu konstantnu količinu energije. Tako u slučaju kad je $WV = WR$ onda je $WK = 0$, dok je za slučaj varijabilne energije iz izraza (8) relativna količina konstantne energije

$$WK = \frac{24(R+N) \cdot WR - R \cdot TVH}{24(R+N) - R \cdot TVH} \quad (11)$$

U nastavku promatrat će se slučaj kad je relativna korisna energetska vrijednost akumulacije manja od maksimalno potrebne, dakle

$Ak < AMAX$ i kad su mali protoci (sl. 1).

Relativna količina varijabilne energije određuje se prema izrazu (2), a granica do koje vrijedi je:

$$WR2 = \frac{R}{R+N} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{R+N}{R} AK}\right) \quad (12)$$

Ako je pak relativna ukupna proizvodnja veća od $WR2$ (veći protoci), proizvodnja relativne varijabilne energije određuje se iz izraza

$$WV = \frac{R \cdot TVH1}{24(R+N)} \left(1 - WR + \frac{24}{2.24 - TVH1} \cdot Ak\right) \quad (13)$$

Međutim, u izrazu (13) nepoznato je vrijeme varijabilnog rada $TVH1$ koje ovisi o relativnoj ukupnoj proizvodnji i relativnoj energetske vrijednosti akumulacije. To vrijeme varijabilnog rada određuje se iz sljedećeg izraza:

$$TVH1 = 12 \cdot \left[\left(2 + \frac{Ak}{1 - WR}\right) - \sqrt{\left(2 + \frac{Ak}{1 - WR}\right)^2 - 4 \frac{R+N}{R} \cdot \frac{Ak}{1 - WR}} \right] \quad (14)$$

Budući da je vrijeme $TVH1$ gotovo uvijek manje od TVH , po izrazu (13) se određuje relativna varijabilna energija sve dok $TVH1$ ne postane jednako TVH . Gornja granica relativne ukupne proizvodnje hidroelektrane do koje se još računa relativna varijabilna energija po izrazu (13) je:

$$WR3 = 1 - \frac{24}{R \cdot TVH} \cdot \frac{24(R+N) - R \cdot TVH}{2.24 - TVH} \cdot Ak \quad (15)$$

U ovoj točki vrlo kratko je opisana metoda konstantne i varijabilne energije i snage te načela na kojima je načinjen program na elektroničkom računalo za proračun moguće proizvodnje hidroelektrana.

2. KARAKTERISTIKE VODOTOKA

U ovom radu promatrana su dva vodotoka. Da se dobi uvid u izdašnost i raspored voda po mjesecima, u sljedećoj tablici navest će se prosječni srednji mjesečni protoci višegodišnjeg niza na pregradnom profilu elektrane.

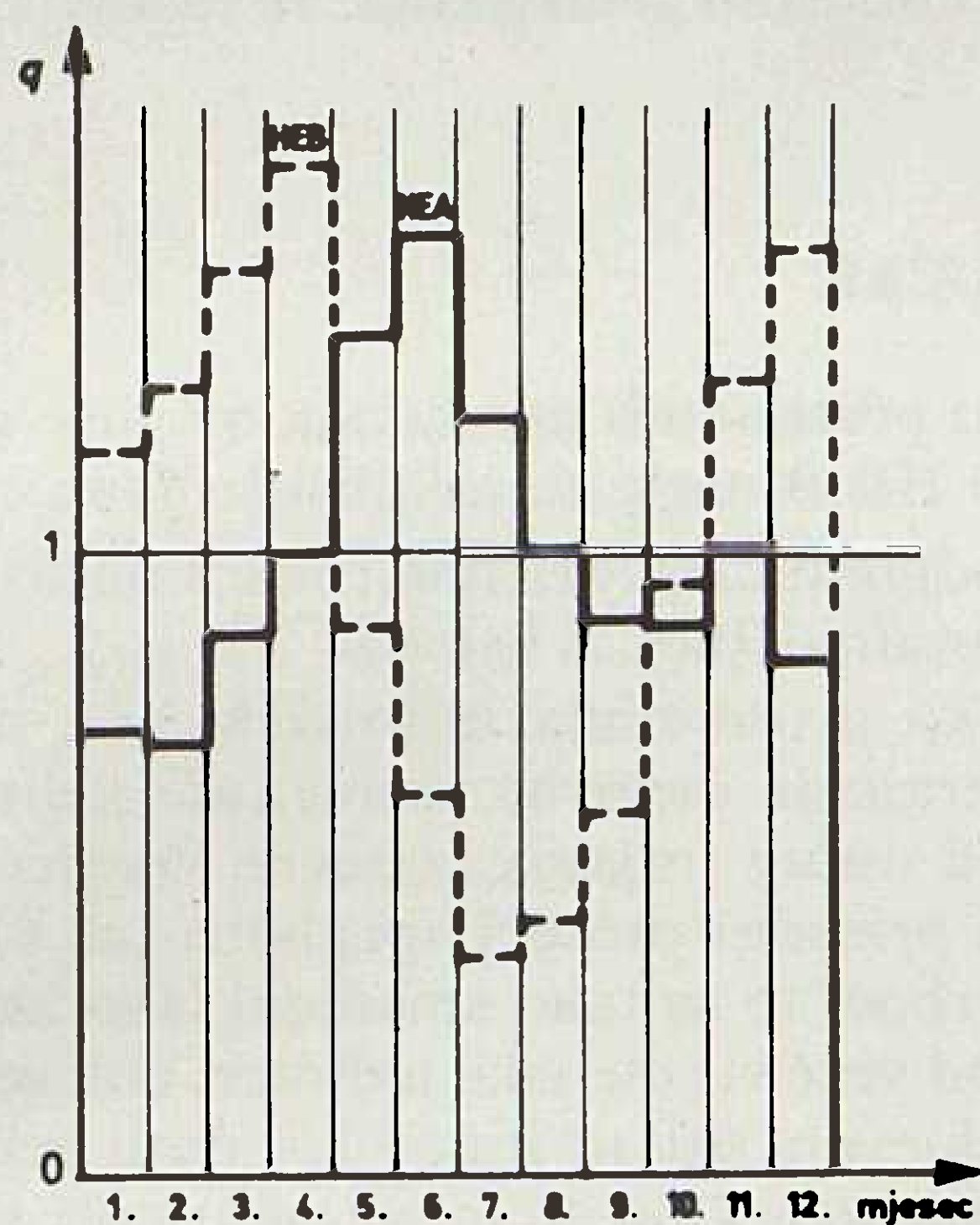
Te vrijednosti iznose:

Tablica 1. Izdašnost vodotoka za

Mjesec	HE A	HE B
I.	371,5	44,4 m ³ /sek
II.	360,0	48,3 m ³ /sek
III.	458,1	55,4 m ³ /sek
IV.	534,4	62,0 m ³ /sek
V.	710,2	33,8 m ³ /sek
VI.	788,9	23,0 m ³ /sek
VII.	650,1	13,3 m ³ /sek
VIII.	544,3	15,5 m ³ /sek
IX.	468,0	22,1 m ³ /sek
X.	462,1	36,4 m ³ /sek
XI.	533,1	48,5 m ³ /sek
XII.	430,0	56,5 m ³ /sek
Prosje.	525,9	38,3 m ³ /sek

Očito, iz prethodne tablice je vidljivo da su ova dva vodotoka vrlo različitih karakteristika kako po izdašnosti, tako i po rasporedu. Vodotok za HE A je izdašniji u ljetnim mjesecima dok je vodotok za HE B u ljetnim mjesecima manje izdašan (sušno razdoblje). Osim toga vodotok za HE A je ravnomjerniji i s manjim oscilacijama od vodotoka za HE B. Ilustracije radi, omjer maksimalnog i minimalnog srednjeg mjesečnog protoka je 2,1. za vodotok HE A, a 4,7 za vodotok HE B. Iz toga se naslućuje da je vodotok za HE B hirovitiji i bliži vodotoku bujičavog karaktera od vodotoka za HE A koji je »mirniji«, ravnomjerniji i s manje oscilacija. Te razlike su još očitije uzmu li se omjeri maksimalnih i minimalnih srednjih dnevnih protoka. Ti omjeri iznose:

Vodotok za	$\frac{Q_{maxd}}{Q_{mind}}$
HE A	8,3
HE B	85,0



Slika 3.

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PROMATRANIH HIDROELEKTANA

3.1. Karakteristike hidroelektrane A

Hidroelektrana A se nalazi na rijeci koja je dobro izgrađena. Ova konstatacija vrijedi pogotovo na uzvodnu izgrađenost (izrađene sve moguće hidroelektrane). Osim toga, promatrani vodotok nema velikih oscilacija protoka (nema bujičavi karakter) što je uočljivo iz tabl. 1. i sl. 3.

S obzirom na srednji višegodišnji — Q_s — protok, razmatrane su četiri veličine instaliranog protoka Q_i koje iznose:

Redni broj	Veličina izgradnje
1.	$Q_{i1A} = 1,4 \cdot Q_s = 750 \text{ m}^3/\text{sek}$
2.	$Q_{i2A} = 1,6 \cdot Q_s = 850 \text{ m}^3/\text{sek}$
3.	$Q_{i3A} = 1,9 \cdot Q_s = 1000 \text{ m}^3/\text{sek}$
4.	$Q_{i4A} = 2,3 \cdot Q_s = 1200 \text{ m}^3/\text{sek}$

Odgovarajuće instalirane snage su:

Redni broj	m^3/sek	MW
1.	Q_{i1A}	128,1
2.	Q_{i2A}	145,2
3.	Q_{i3A}	170,8
4.	Q_{i4A}	205,0

3.2. Karakteristike hidroelektrane B

Hidroelektrana B nalazi se na rijeci koja nije dovoljno izgrađena i ona je druga u nizu (nizvodna) toga hidroenergetskog sistema. Za ovu svrhu proračun moguće proizvodnje će se provesti za tri veličine izgradnje, a u odnosu na srednji višegodišnji protok instalirane veličine izgradnje iznose:

Redni broj	Veličina izgradnje
1.	$Q_{i1B} = 2,1 \cdot Q_s = 80 \text{ m}^3/\text{sek}$
2.	$Q_{i2B} = 2,6 \cdot Q_s = 100 \text{ m}^3/\text{sek}$
3.	$Q_{i3B} = 3,1 \cdot Q_s = 120 \text{ m}^3/\text{sek}$, dok

odgovarajuće instalirane snage iznose:

Redni broj	m^3/sek	MW
1.	Q_{i1B}	26,4
2.	Q_{i2B}	33,4
3.	Q_{i3B}	40,1

4. MOGUĆA PROIZVODNJA PROMATRANIH HIDROELEKTRANA

Na načelima ukratko navedenih u toč. 1 i lit. 1 i 2. načinjen je program za elektroničko računalo te je proračunata moguća proizvodnja promatranih hidroelektrana za sve instalirane protoke kao i za sve tri promatrane osnovne vremenske jedinice (mjesec, tjedan, dan).

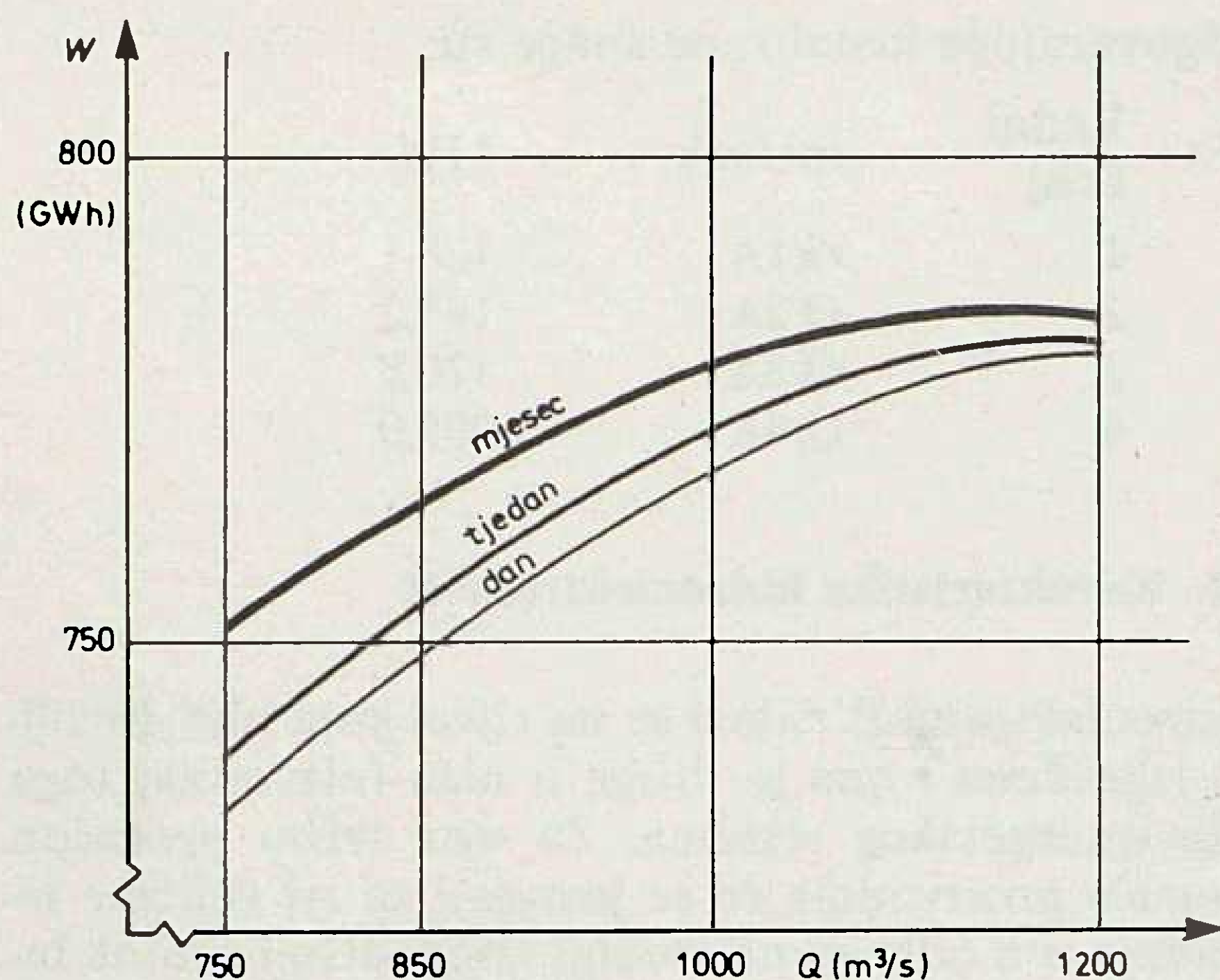
4.1. Moguća proizvodnja hidroelektrane A

Uvažavajući osnovne karakteristike HE A, kao i podatke o protocima (srednji mjesečni, srednji tjedni i srednji dnevni), proračunata je moguća proizvodnja za sve tri osnovne vremenske jedinice. Detaljniji podaci nalaze se u dokumentaciji Instituta (kod autora), dok godišnje vrijednosti s obzirom na instalirani protok i duljinu trajanja osnovne vremenske jedinice iznose:

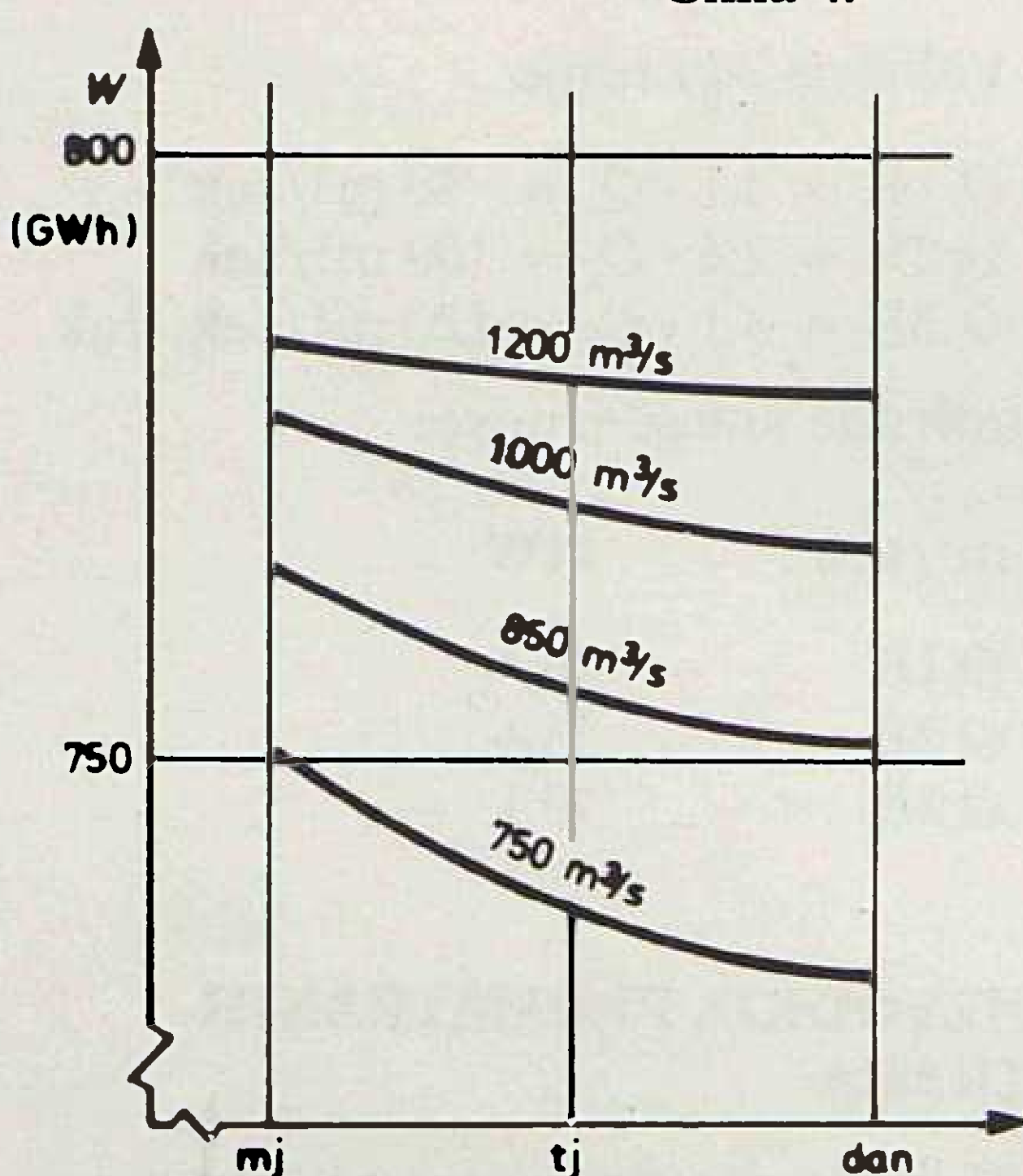
Tablica 2.

Veličina izgradnje m^3/sek	Godišnje moguće proizvodnje HE A za osnovnu vremensku jedinicu		
	mjesec	tjedan	dan
Q_{i1A} (750)	750,6	737,6	732,2 GWh
Q_{i2A} (850)	765,5	755,5	751,4 GWh
Q_{i3A} (1000)	778,6	771,2	767,4 GWh
Q_{i4A} (1200)	784,4	781,1	780,6 GWh

Na sl. 4 i 5. prikazane su vrijednosti iz tabl. 2.



Slika 4.



Slika 5.

Uočava se da je moguća proizvodnja hidroelektrane A veća ako je duža osnovna vremenska jedinica i da proizvodnja raste s porastom veličine izgradnje. Osim toga, sa sl. 5. se primjećuje da su manje razlike u proizvodnji električne energije kod većeg instaliranog protoka nego manjeg s obzirom na dužinu trajanja osnovne vremenske jedinice. Preračunaju li se proizvodnje u relativnu vrijednost ako su mjesečne proizvodnje 1 ili 100 %, dobit će se sljedeća tablica:

Tablica 3.

Veličina izgradnje m^3/s	Relativne godišnje moguće proizvodnje HE A za osnovnu vremensku jedinicu		
	mjesec	tjedan	dan
$Q_1 A$ (750)	100	98,3	97,5 %
$Q_2 A$ (850)	100	98,7	98,2 %
$Q_3 A$ (1000)	100	99,0	98,5 %
$Q_4 A$ (1200)	100	99,6	99,5 %

Moguća proizvodnja HE A s obzirom na različito trajanje osnovne vremenske jedinice se razlikuju od 0,5 do 2,5 %. Ovakvi rezultati su se i očekivali s obzirom na uzvodnu izgrađenost rijeke s jedne strane, te karakteristiku vodotoka s druge strane (toč. 2.).

4.2. Moguća proizvodnja hidroelektrane B

Proračunom moguća proizvodnja HE B dobivene su sljedeće vrijednosti:

Tablica 4.

Veličina izgradnje m^3/s	Godišnje moguće proizvodnje za osnovnu vremensku jedinicu		
	mjesec	tjedan	dan
$Q_1 B$ (80)	106,0	98,5	94,2
$Q_2 B$ (100)	111,1	106,1	102,2
$Q_3 B$ (120)	1118,8	109,4	106,9

Preračunaju li se ove vrijednosti u relativne, dobit će se sljedeće vrijednosti:

Tablica 5.

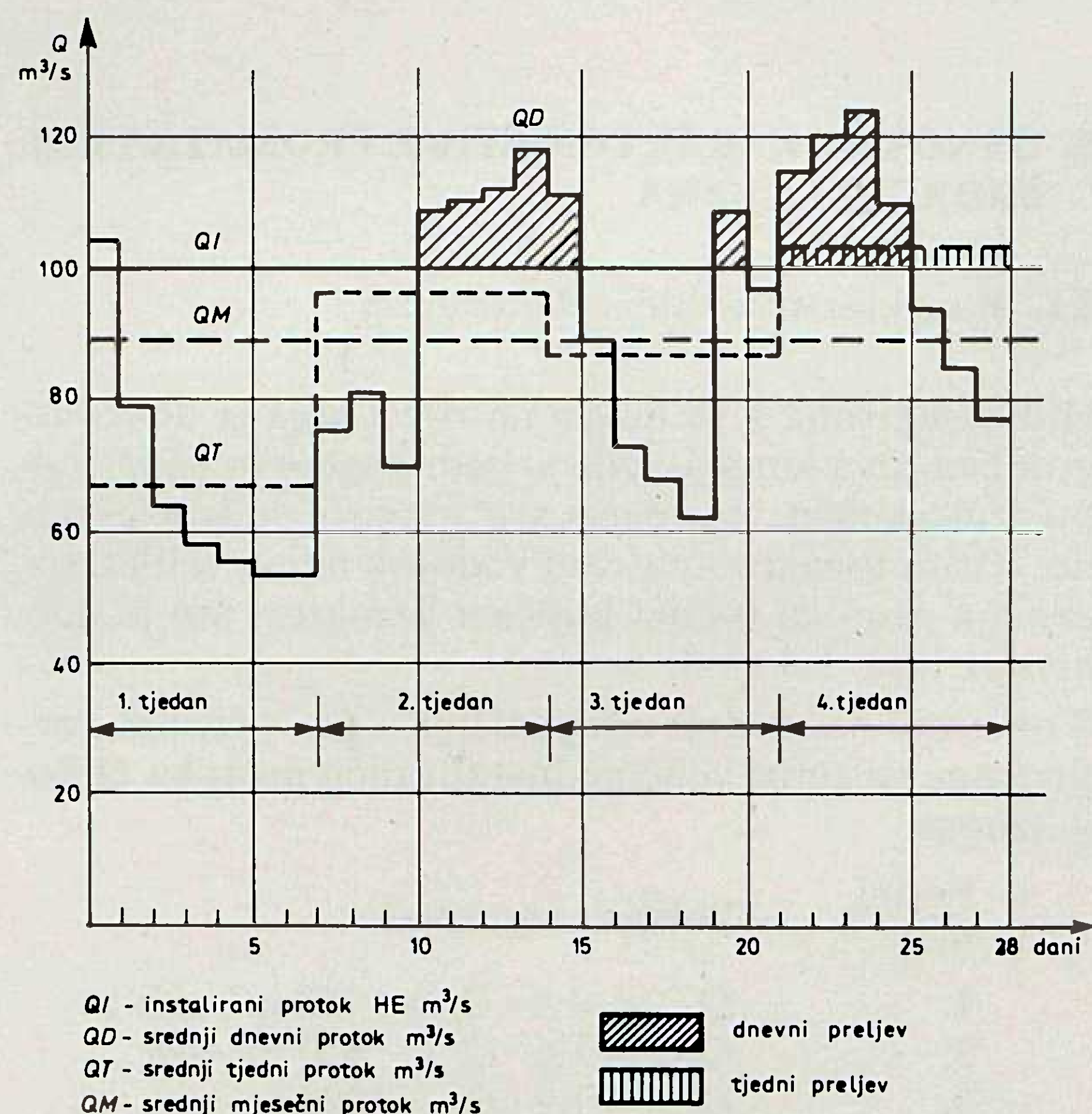
Veličina izgradnje m^3/s	Relativne godišnje moguće proizvodnje HE B za osnovnu vremensku jedinicu		
	mjesec	tjedan	dan
$Q_1 B$ (80)	100	92,9	88,9 %
$Q_2 B$ (100)	100	95,5	92,0 %
$Q_3 B$ (120)	100	97,9	95,6 %

Iz tabl. 5. uočljive su razlike nešto veće između tzv. mjesečnih i dnevnih proizvodnji. Te razlike iznose 4,4 do 11,1 %.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju prethodnih proračuna moguća proizvodnja HE A i HE B može se zaključiti sljedeće:

- proizvodnja hidroelektrane raste s porastom veličine izgradnje (tabl. 2. i sl. 4.).
- isto tako proizvodnja hidroelektrane raste kod dužeg trajanja osnovne vremenske jedinice. Naime, kod dužeg trajanja osnovne vremenske jedinice se prirodni protoci »peglažu« (sl. 6) tj. smanjuju vrhovi te se tako smanjeni iskoriste, u cijelosti kod veće vremenske jedinice, dok se kod manje prelijevaju ako uz hidroelektranu nema velike akumulacije u koju se mogu pohraniti sve velike vode.



Slika 6.

c) proizvodnja hidroelektrana na izgrađenim vodotocima i vodotocima s malim oscilacijama protoka se razlikuje do cca 3 % ako se računa sa srednjim mjesečnim protocima.

Ako je vodotok hirovitiji, gdje su oscilacije protoka veće, razlike u mogućoj proizvodnji s obzirom na dužinu trajanja osnovne vremenske jedinice kreću se do 10 pa čak i 20 %.

LITERATURA

- [1] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima »ZJE«, Beograd, 1966.
- [2] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima«, (Prvi i drugi svezak), Informator, Zagreb, 1983. i 1985.

DEPENDANCE OF POSSIBLE HPP PRODUCTION ON BASE TIME INTERVAL AS MONTH, WEEK AND DAY

In the article is briefly described the method of constant and variable power and production. On that base is made a program for calculation of possible HPP production for various base time interval (month, week, day).

ABHÄNGIGKEIT DER MÖGLICHEN ERZEUGUNG DER WASSERKRAFTWERKE VON DER LÄNGE DER DAUER DER ZEITEINHEIT MONAT WOCHEN UND TAG

In der Arbeit wird kurz die Methode der konstanten und variablen Energie und Kraft beschreiben. Nach Grundsätzen wurde das Programm für die Berechnung der möglichen Erzeugung der Wasserkraftwerke für verschiedene Zeiteinheiten geschaffen (Monat, Woche, Tag) geschaffen.

ЗАВИСИМОСТЬ ВОЗМОЖНОЙ ВЫРАБОТКИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОСНОВНОЙ ЕДИНИЦЫ ВРЕМЕНИ — МЕСЯЦА, НЕДЕЛИ И ДНЯ

В работе вкратце описан метод выработки константной и переменной энергии и мощности. На принципах этого метода составлена программа для ЭВМ для вычисления возможной выработки гидроэлектростанций при различной продолжительности основной единицы времени (месяц, неделя, день).

Naslov pisca:

mr Slavko Alerić, dipl inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 ZAGREB, Prol. brigada 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis.
1987-05-22



»Dalekovid« Elektroprivredna radna organizacija za projektiranje, gradnju, montažu i proizvodnju

Proleterskih brigada 37, telef. 511-455, 513-822

Novi rasvjetni stupovi serije SUN

Na osnovi dugogodišnjeg iskustva pri izradi poligonalnih limenih stupova razvijena je serija stupova uzdužno usadnih. Osnovno obilježje SUN stupova je usadno nastavljanje segmenata, navlačenjem gornjeg segmenta na donji. Sigurnost ovakvog nastavka je provjerena ispitivanjem prototipa, što je dokumentirano atestom Građevinskog instituta iz Zagreba.

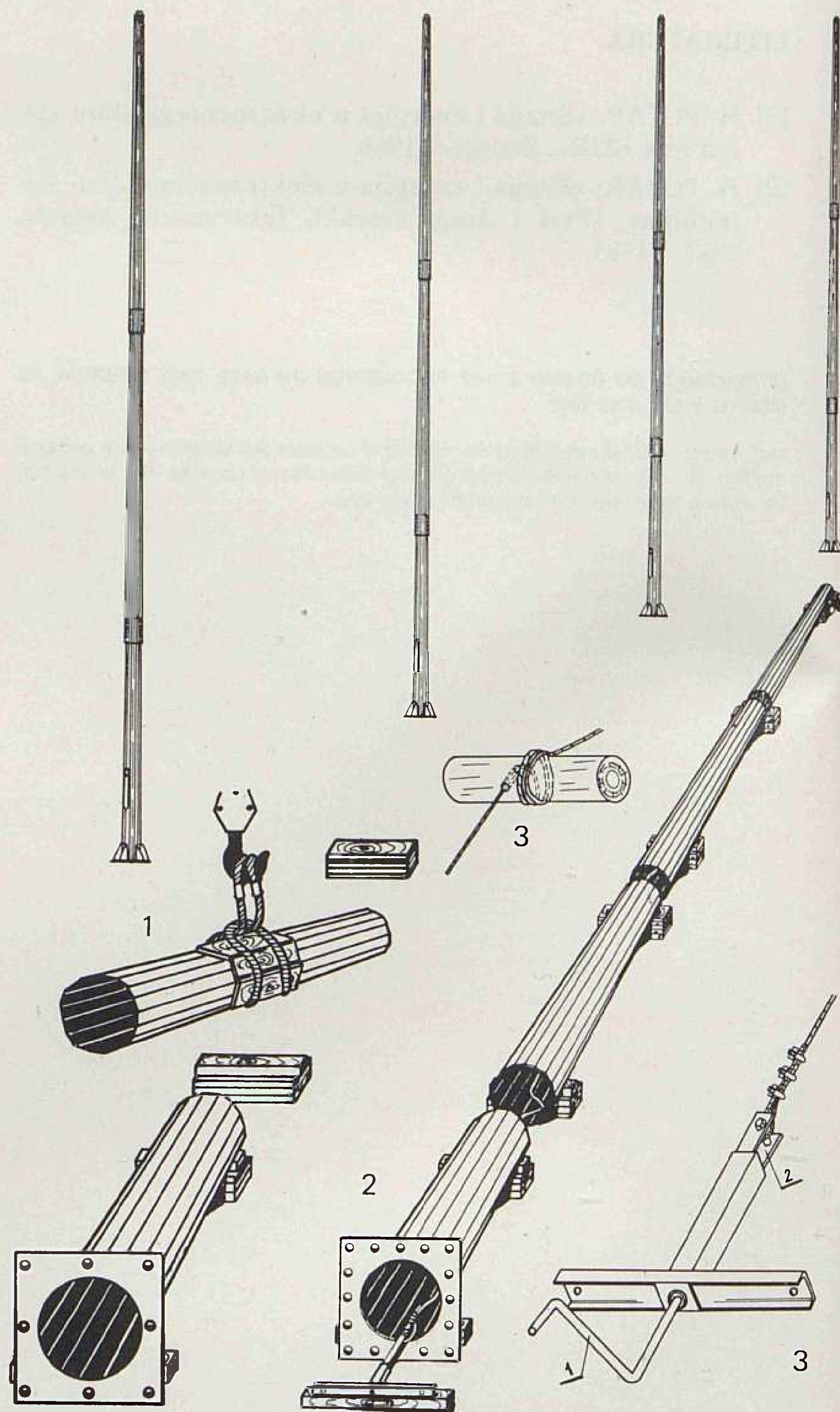
Serijski SUN obuhvaća stupove visine 14, 15, 16, 18 i 20 m. Za svaku visinu imamo više tipova zbog različitog opterećenja koje stup može nositi. Materijal stupova je čelik, a antikoroziivna zaštita je vrućim cinčanjem.

Namjena stupova je mnogostruka: rasvjeta prometnica, rasvjeta industrijskih pogona, rasvjeta luka i skladišta, gromobranska zaštita, nošenje antena i sl.

Isporuka stupova SUN sadrži:

- isporuku stupa s temeljnim vijcima
- isporuku opreme.

Oprema ovisi o namjeni stupa i u narudžbi je treba specificirati. Isporučujemo: rasvjetne košare, nasadnike za svjetiljke, gromobranske hvataljke, ljestve s leđnom zaštitom.



NEKA ISKUSTVA U PRIPREMI IZGRADNJE TRANSFORMATORSKIH STANICA 110/x kV ELEKTROPRENOSA ZAGREB

Miroslav Mesić, Zagreb

UDK 621.311.42: 621.316

STRUČNI RAD

Proces pripreme izgradnje sastoji se od nekoliko faza. Neke od tih faza ovise o investitoru, a neke o vanjskim faktorima. Korištenjem tipske dokumentacije postupak pripreme se može znatno skratiti.

Ključne riječi: transformatorska stanica, izgradnja, tipska dokumentacija.

1. UVOD

Priprema izgradnje TS 110/x kV predstavlja kompleksan skup radnji i postupaka od zasnivanja objekta do izdavanja građevinske dozvole.

Kompleksnost pripreme određuje tehnički (elektrotehnički i građevinsko-arhitektonski), ekonomsko-financijski i pravni aspekt ovog segmenta izgradnje objekta, a težište procesa je tehnička dokumentacija za konkretnu TS 110/x kV.

Kompletno obavljen proces pripreme izgradnje TS 110/x kV u što kraćem vremenu osnovni je zahtjev o kojem ovisi daljnji tijek izgradnje, odnosno investicije, a moguće ga je ispuniti zadovoljavanjem više različitih uvjeta.

Trajanje procesa pripreme izgradnje TS 110/x kV s obzirom na složenost postupaka, opseg i sadržaj nužnih radnji, velik broj sudionika, tijekom investicije i slično ne može se unaprijed točno definirati, ali se na osnovi dosadašnjeg iskustva može uz određena odstupanja procijeniti.

Dosadašnja iskustva u Elektroprenosu Zagreb pokazuje da je priprema izgradnje vremenski i kvalitetom bila povezana s plansko-financijskim tretmanom objekta, dinamikom investicije, stručnom ekipiranošću investitora i vanjskim utjecajima (upravni postupci na nivou općine i Republike, suradnja s projektantima, angažman eventualnog suinvestitora i slično).

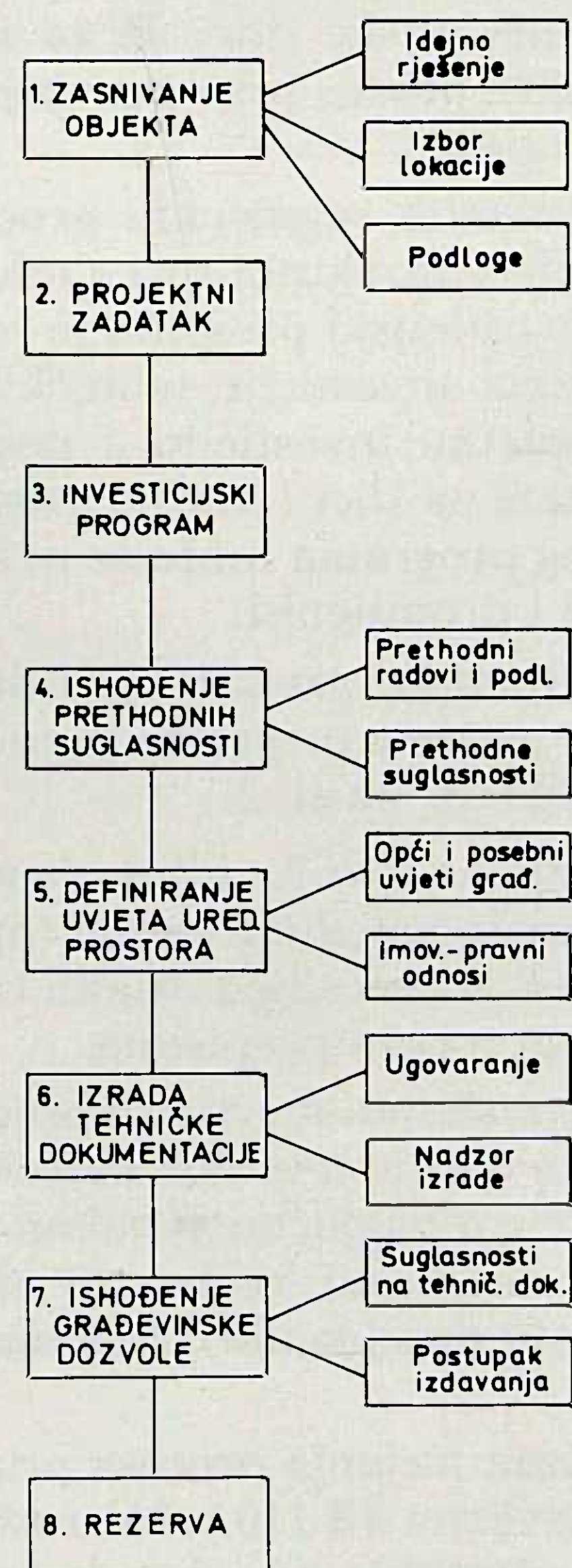
Izradom tehničke dokumentacije tipske TS 110/x kV i njezinom primjenom od 1985. godine proces pripreme izgradnje TS 110/x kV promijenio se u određenim segmentima.

2. PRIPREMA IZGRADNJE KLASIČNIH TRANSFORMATORSKIH STANICA 110/x kV

Proces pripreme izgradnje klasične TS 110/x kV (razdoblje do 1985. godine) prikazan je na sl. 1.

Segmenti procesa zasnivanje objekta, projektni zadatak i investicijski program redovito su radnje iz domene djelatnosti investitora, pa ih je na osnovi dosadašnjeg iskustva i uz pretpostavku određene stručne ekipiranosti investitora moguće vremenski realno definirati.

U segmentu ishoda prethodnih suglasnosti i podloga za izradu tehničke dokumentacije u procesu pripreme pojavljuju se vanjski sudionici (organi uprave, specijalizirane institucije i slično), pa trajanje ovog



Slika 1. Shematski prikaz pripreme izgradnje TS 110/x kV

segmenta pripreme ovisi o niz okolnosti, slučajeva i specifičnosti koje se mogu unaprijed predvidjeti. Uloga investitora je koordinacija radnji i postupaka s relativno malom mogućnošću utjecaja na trajanje postupka.

Na osnovi prethodnih suglasnosti i riješenog imovinskopravnog aspekta pristupa se definiranju uvjeta uređenja prostora u općini na čijem se području nalazi konkretna TS 110/x kV.

S obzirom na broj sudionika i različitost domena djelovanja, trajanje ovog segmenta procjenjuje se na osnovi iskustva, a uloga investitora je koordinacija radnji i postupaka.

Prema projektnom zadatku, podlogama za projektiranje (podaci o kratkom spoju, specifičnom otporu tla, geomehaničkim svojstvima tla, geodetske snimke terena i slično) i uvjetima uređenja prostora pristupa se ugovaranju, a zatim i izradi tehničke dokumentacije za konkretnu mikrolokaciju.

U ovom segmentu procesa pripreme uloga investitora je permanentan nadzor projektiranja s potrebnim konzultacijama u rješavanju problema koji se pojavljuju tijekom projektiranja, a trajanje segmenta je poznato.

Ishođenje građevinske dozvole je posljednja radnja u procesu pripreme, a u nju se ponovno uključuje velik broj sudionika i institucija tako da se trajanje ovog segmenta ne može točno definirati. Na osnovi dosadašnjeg iskustva može se konstatirati promjenjivost trajanja od objekta do objekta, a uloga investitora je koordinacija radnji i postupaka.

Dobivanjem građevinske dozvole za konkretnu TS 110/x kV završava proces pripreme izgradnje i može se pristupiti građenju.

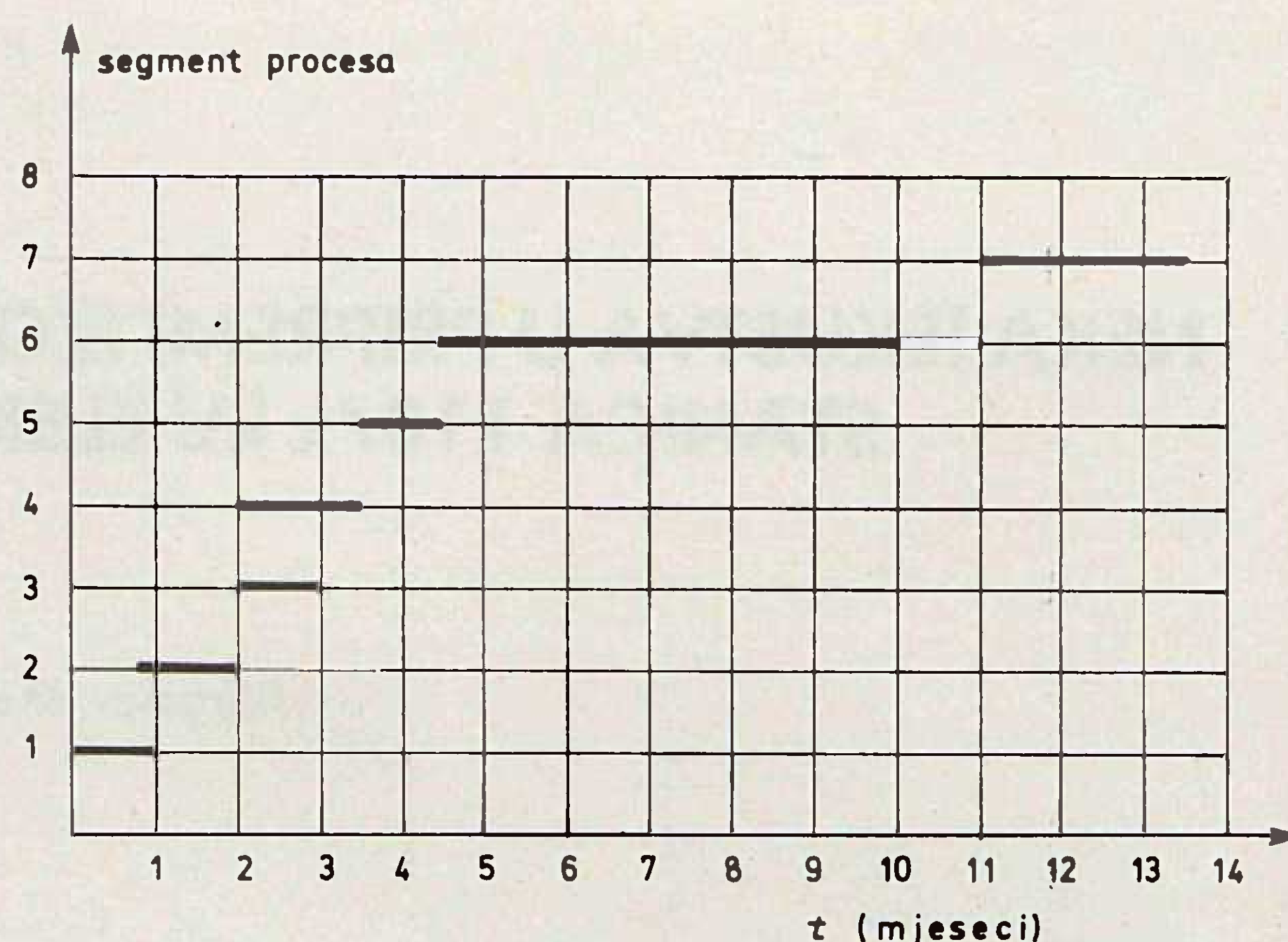
Za razliku od ostalih segmenata procesa pripreme koji su uglavnom u direktnoj vezi s tehničkom dokumentacijom, investicijski program je poseban elaborat koji s aspekta investicije tehnički i ekonomski prikazuje kompletnu investiciju, i dok je redosljed ostalih segmenata na slici 1. nužno uzastopan, pozicija investicijskog programa može se uvjetno prihvatiti, a po potrebi i promijeniti.

Na osnovi prethodnih razmatranja i dosadašnjeg iskustva trajanje procesa pripreme izgradnje TS 110/x kV može se prikazati na sl. 2.

Prema dijagramu na slici 2. vidljiva je mogućnost paralelnog obavljanja pojedinih radnji (npr. 1 i 2 djelomično, 3 i 4), dok je redosljed ostalih radnji determiniran logikom procesa i propisima.

S obzirom na paralelno obavljanje procesa pripreme za više objekata (što je u praksi najčešće slučaj), investitor često nije u mogućnosti nakon završetka jednog segmenta pristupiti realizaciji slijedećeg segmenta, pa se zato procjenjuje određena rezerva (segment br. 8).

Na osnovi prikaza trajanja procesa pripreme izgradnje za pretpostavljenu TS 110/x kV može se zaključiti da je trajanje segmenta 6 — izrada tehničke dokumentacije — dominantno i da je skraćenje komplet-



Slika 2. Dijagram trajanja procesa pripreme izgradnje TS 110/x kV

nog trajanja procesa pripreme moguće skraćanjem trajanja dominantnog segmenta, uz minimalnu mogućnost korekcija trajanja ostalih segmenata.

3. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA TS 110/x kV

Iz razmatranja u točki 2, vidljivo je da je tehnička dokumentacija TS 110/x kV direktno ili indirektno glavni element procesa pripreme izgradnje.

U razdoblju do 1985. godine tehnička dokumentacija za građevinsku dozvolu radila se na klasičan način.

Na osnovi projektnog zadatka, potrebnih podloga za projektiranje i poznatih uvjeta uređenja prostora izrađivala se tehnička dokumentacija za građevinsku dozvolu, nakon čega se po određenoj dinamici pristupilo izradi izvedbene tehničke dokumentacije (sheme djelovanja i vezivanja, planovi armature i slično).

U razdoblju od 1980. do 1985. godine za potrebe elektroprivrede Hrvatske proveden je postupak tipizacije TS 110/x kV i izrađena tipska tehnička dokumentacija.

Tipska TS 110/x kV koncipirana je na modularnom principu na način da je sastavljena od takozvanih modula višeg reda (npr. DV polje 110 kV) koji se sastoje od modula nižeg reda (npr. izlazni modul DV polja 110 kV).

Tehnička dokumentacija tipske TS 110/x kV koncipirana je na način da je korespondentna modulima višeg reda, a pojedini separati dokumentacije predstavljaju izvedbenu tehničku dokumentaciju pojedinih modula višeg reda.

Osnovna ideja tipizacije sastoji se u tome da se modularna TS 110/x kV interpolira na konkretnoj lokaciji u postojeću infrastrukturu, a svi aspekti interpolacije tretiraju se tzv. prilagodnoj tehničkoj dokumentaciji.

Glavna pretpostavka primjene tipske dokumentacije jest verifikacija na svim nivoima, a prilagodna dokumentacija s potrebnim informacijama o primjeni tip-

skih rješenja predstavlja dokumentaciju za građevinsku dozvolu.

Verifikacija je postupak prihvaćanja tipske dokumentacije od nadležnih organa i okončava generalnom građevinskom dozvolom za tipsku dokumentaciju.

4. PRIPREMA IZGRADNJE TS 110/x kV U PRIJELAZNOM PERIODU

Razdoblje od 1985. do 1987. godine smatra se prijelaznim periodom u izgradnji TS 110/x kV.

Obaveza primjene tipskih rješenja od 1985. godine uz neproveden postupak verifikacije tipske dokumentacije osnovni su razlog da se u razdoblju 1985–1987. godine kao jedino moguće rješenje primjenjuje hibridna tehnička dokumentacija TS 110/x kV.

— tipska rješenja u klasičnoj tehničkoj dokumentaciji.

Pripreme izgradnje TS 110/x kV u prijelaznom periodu odvijala se na način prikazan na slici 1.

Sporo dogovaranje tipskih rješenja, nedorečenosti tipske dokumentacije u nizu tehničkih detalja, velik broj sudionika s različitim ukusima i dosadašnjim navikama, a napose neodgovarajuća koordinacija kompletnog projekta rezultirali su velikim poteškoćama u realizaciji projekata tipskih TS 110/x kV, s dosta individualnih i improviziranih rješenja.

Na osnovi takvih iskustava i ranije postavljenog modela određena je forma tipske tehničke dokumentacije za konkretnu TS 110/x kV — prilagodna dokumentacija uz pretpostavku verificirane tipske dokumentacije.

Završetak postupka verifikacije očekuje se u drugoj polovici 1987. godine, kada će se početi i primjena dogovorenog modela dokumentacije.

5. PROCJENA EFEKTA TIPIZACIJE TS 110/x kV U PROCESU PRIPREME IZGRADNJE

Na osnovi iskustava u pripremi izgradnje klasičnih TS 110/x kV, kao i iskustava iz prijelaznog perioda mogu se procijeniti mogući efekti tipizacije u procesu pripreme koji je praktički identičan procesu prikazanom na slici 1. uz određene korekcije u pojedinim segmentima.

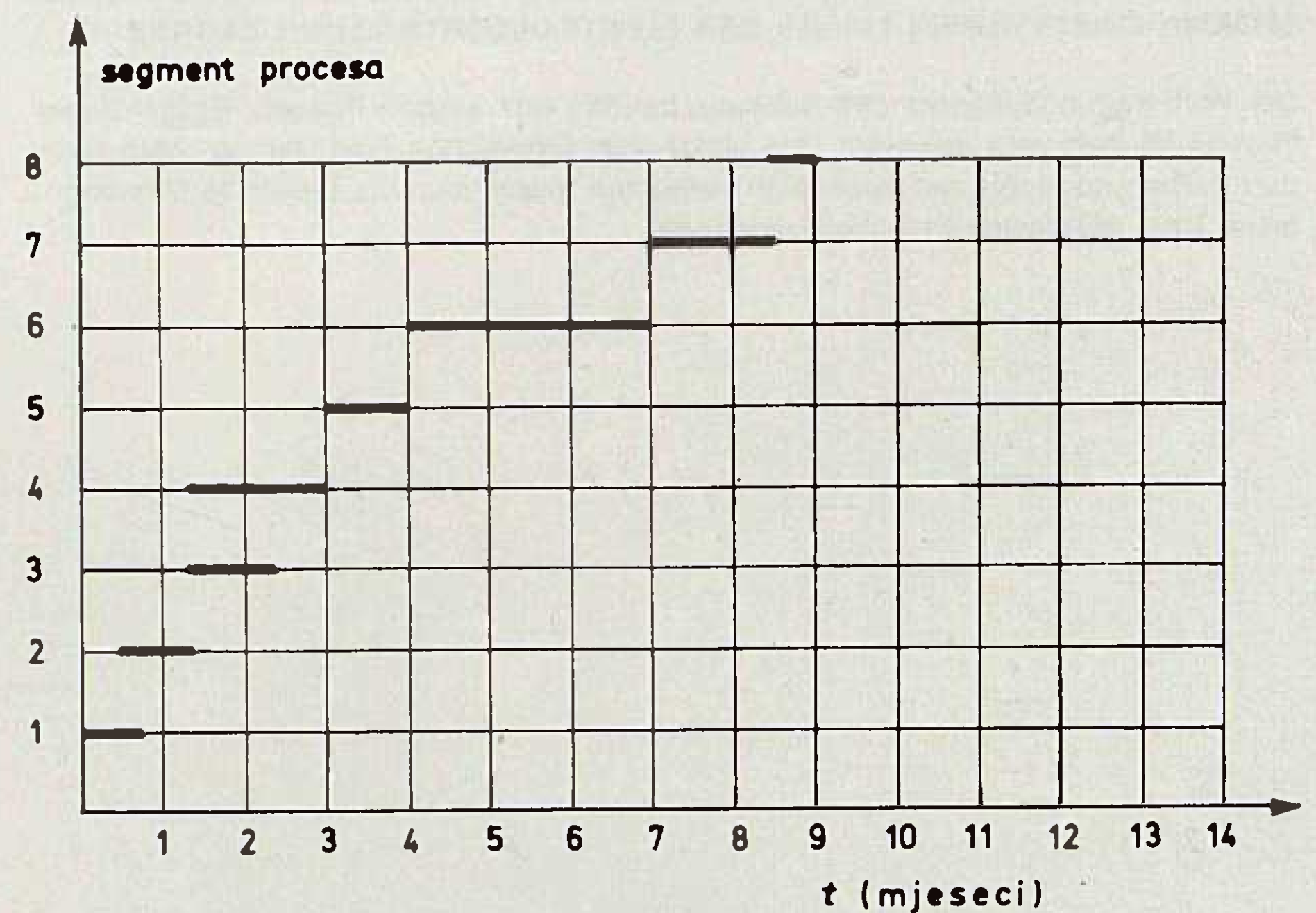
Pojednostavljen izbor osnovnih parametara pretpostavljene TS 110/x kV, jednopolnih shema 110, 35, 10 (20) kV sasvim sigurno skraćuje trajanje postupka zasnivanja objekta.

Unificirani projektni zadaci za TS 110/x kV uz konkretnu obradu prilagodnog dijela (interpolacija za konkretnu mikrolokaciju) također skraćuju vrijeme izrade konkretnog projektnog zadatka.

Uz pretpostavku verificirane tipske dokumentacije vrijeme izrade prilagodne dokumentacije za građevinsku dozvolu znatno je kraće nego prije za klasičnu dokumentaciju.

Verificirana tipska dokumentacija i dogovoreni opseg prilagodne dokumentacije mogu znatno skratiti postupak izdavanja građevinske dozvole, što se i očekuje.

U dijagramu na slici 3. prikazano je procijenjeno trajanje procesa pripreme za pretpostavljenu tipsku TS 110/x kV.



Slika 3. Dijagram trajanja procesa pripreme izgradnje tipske TS 110/x kV

Daljnje skraćivanje procesa pripreme moguće je primjenom elektroničkog računala u projektiranju TS 110/x kV uz minimalnu mogućnost zahvata na smanjenju trajanja ostalih segmenata procesa pripreme.

6. ZAKLJUČAK

Poznavanje približnog trajanja procesa pripreme izgradnje važan je faktor u određivanju dinamike investicije TS 110/x kV.

Tipizacijom tehničke dokumentacije i primjenom uspostavljenog modela za konkretnu lokaciju postiže se korekcija trajanja dominantnog segmenta procesa pripreme.

Skraćivanjem procesa pripreme izgradnje TS 110/x kV, postiže se efekt skraćivanja trajanja izgradnje TS 110/x kV što je s obzirom na potrebe za izgradnjom, raspoloživa financijska sredstva i dinamiku investiranja kvalitetna razlika u odnosu prema dosadašnjoj praksi.

Karakteristike prijelaznog perioda upućuju na zaključak da je obaveza primjene tipske tehničke dokumentacije trebala proizaći iz verificirane tipske tehničke dokumentacije i jasno postavljenog modela prilagodne dokumentacije.

Može se očekivati da će u bliskoj budućnosti vrlo važan faktor u procesu pripreme izgradnje biti elektroničko računalo.

O mogućem utjecaju investitora na vanjske utjecaje u procesu pripreme za sada je teško govoriti iako efekti tipizacije upućuju na moguće pravce djelovanja.

SOME EXPERIENCES IN PREPARING FOR TS 110/x KV CONSTRUCTION OF ELEKTROPRENOS ZAGREB

Preparing for construction is based on several phases. Some phases depend on investor and some on external factors. By use of typical documentation or typical TS, preparing phase can be considerably reduced.

ИЗВЕСТНЫЙ ОПЫТ ПОДГОТОВКИ СООРУЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 110/x кВ «ЭЛЕКТРОПРЕНОСА», г. ЗАГРЕБ

Процесс подготовки сооружения состоит из нескольких этапов. Некоторые из этих этапов зависят от инвеститора, а некоторые — от внешних факторов. Использованием типовой документации или типовой подстанции процесс подготовки можно значительно сократить.

EINIGE ERFAHRUNGEN BEI DER VORBEREITUNG FÜR DEN AUSBAU VON TRANSFORMATORSTATIONEN 110/xKV DER ELEKTROÜBERTRAGUNG ZAGREB

Der Vorbereitungsprozess des Ausbaus besteht aus einigen Phasen. Einige dieser Phasen hängen vom Investor und einige von äußerlichen Faktoren ab. Man kann den Vorbereitungsprozess wesentlich verkürzen indem man die typisierte Dokumentation bzw. typisierten Stationen verwendet.

Naslov pisca:

**Miroslav Mesić, dipl. inž.
Elektroprenos, 41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis
1987-04-13



elektrolux - rijeka

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

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

U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

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

RO ELEKTROLUX

PROCENA DEJSTVA VRLO VISOKIH I NAJVIŠIH NAPONA NA ORGANIZAM ČOVEKA

Kiril A. Tropin, Beograd

UDK 614.8:621.3

STRUČNI RAD

Propisima Ministarstva energetike i elektrifikacije SSSR-a i Ministarstva zdravlja SSSR-a regulisane su osnovne norme i pravila zaštite na radu pri izvođenju radova u transformatorskim stanicama i na dalekovodima vrlo visokih i najviših napona industrijske učestalosti i data su uputstva za projektovanje sredstava zaštite od uticaja električnog polja u razvodnim postrojenjima vrlo visokih i najviših napona industrijske učestalosti. Ovdje se pak predlaže novi prilaz proceni dejstva vrlo visokih i najviših napona na organizam čoveka i sredstva zaštite od njih.

Ključne reči: visoki i najviši napon, dejstvo na organizam čoveka.

Povećanje snage prenosa i ogromna rastojanja transportovanja električne energije uzrokuju preku potrebu proširenja mreže dalekovoda naizmjeničnog vrlo visokog i najvišeg napona. Aktivno uvođenje vrlo visokih i najviših napona primoralo je da se otkriju i opredele štetna dejstva jakih električnih polja na organizam čoveka koji se nalazi ispod provodnika dalekovoda pod naponom.

Fizički opasnim i štetnim činiocem obično se smatra jačina električnog polja. [L. 1-3].

Dozvoljeno vreme boravka pogonskog osoblja u toku 24 časa u električnom polju različitih jačina bez korišćenja specijalnih zaštitnih sredstava je navedeno u tabeli 1.

Tablica 1.

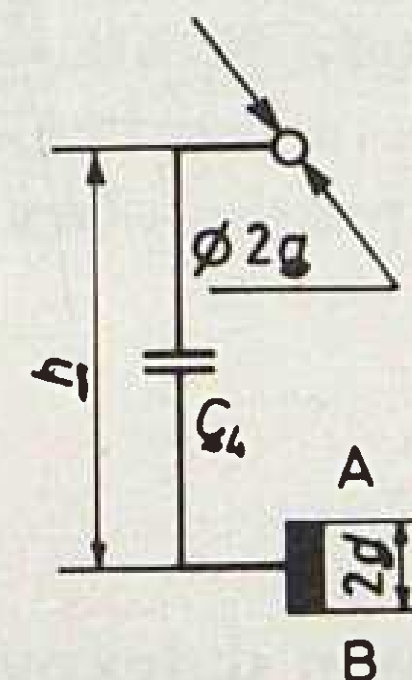
Red. br.	Jačina električnog polja, kV/m	Dozvoljeno vreme boravka u toku 24 h, min
1	5	Bez ograničenja
2	10	180
3	15	90
4	20	10
5	25	5

Međutim, za opis električnog stanja prostora (polja) u blizini provodnika i u nivou zemlje, a isto tako radi procene biološkog uticaja električnog polja na živi organizam, nije moguće da se ograničava određivanjem samo pokazatelja jačine polja.

Električno polje struje industrijske učestalosti može da se predstavi u svakom trenutku kao elektrostatičko polje. Zbog toga se u telu čoveka indukuje električni potencijal i prolazi kapacitivna struja, koja se javlja usled izmene promenljivog polja.

Za procenilačke proračune odredićemo otpornost kapacitivne veze između provodnika dalekovoda i te-

la čoveka koji ima kontakt sa zemljom (sl. 1), pri čemu se zanemaruje uticaj polja dve druge faze dalekovoda. Sa dovoljnim stepenom tačnosti može da se proračuna električna kapacitivnost tela čoveka C_c , uzimajući da je čovek jednak ekvivalentnoj metalnoj ploči visine, $2d$ koja se nalazi ispod provodnika prečnika $2a$. Pri ovom uzet ćemo da je rast čoveka iznad srednjeg i iznosi $2m$ (tj. $2d = 2a$), a da je prečnik provodnika 50 mm . Visina vešanja nadzemnih provodnika dalekovoda se kreće u rasponu od 3 do 17 m .



Slika 1.

Električni kapacitet čovjekovog C_c određuje se prema poznatom obrascu, polazeći od jedinične dužine provodnika:

$$C_c = \frac{2 \bar{n} \varepsilon}{\text{Arçh} \left(\frac{h^2 - d^2 - ah}{ad} \right)}, \quad (1)$$

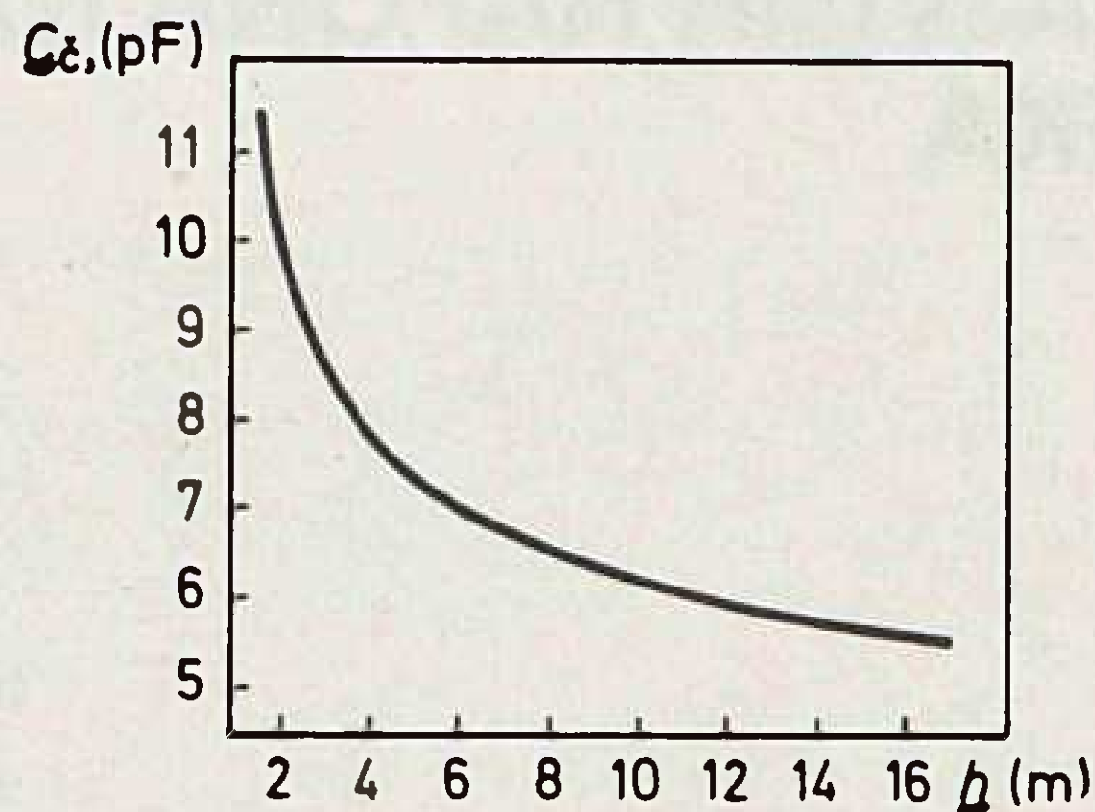
gde su:

$\varepsilon = \varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ — električna konstanta, F/m;

h — visina na kojoj se nalazi provodnik DV iznad sredine tela čoveka, m.

Analizirajući dijagram zavisnosti $C_c = f(h)$, prikazan na sl. 2, može da se zapazi da pri rastojanju od provodnika dalekovoda do tela čoveka manjem od 6 m nastaje strmo opadanje krive, a pri visini većoj od 6

m deo krive je gotovo paralelan sa osim apscise, tj. promene C_c sasvim neznatne (do 20%). Prema tome, povećanje visine dalekovoda iznad 6 m radi smanjenja pomenute kapacitivne veze malo je efikasno.



Slika 2.

Ako se zna kapacitet C_c (mikrofarada), može da se izračuna kapacitivna otpornost X_c između provodnika dalekovoda i čoveka koji se nalazi ispod njega, a prema obrascu:

$$X_c = \frac{10^6}{2\pi f C_c} = \frac{3130}{C_c}, \quad (2)$$

gde je

f — industrijska učestanost struje.

Pri kapacitetu čoveka prema provodniku $C_c = 7 \cdot 10^{-6}$ mikrofarada, što odgovara rastojanju od dalekovoda do čoveka $h = 6$ m, kapacitivna otpornost iznosi $X_c = 454 \cdot 10^6$ oma. Dobivena vrednost znatno je veća od otpornosti R_c tela čoveka, koja se određuje otpornošću njegovog kožnog omotača i uzima se u elektrotehničkim proračunima da je jednaka 1 000 oma. Iz ovog proizlazi da u datom slučaju može da se zanemari otpornost R_c . Onda se struja koja protiče kroz telo čoveka kada se on nalazi ispod dalekovoda najvišeg napona određuje prema obrascu:

$$I_c = \frac{U_1}{\sqrt{3X_c}}, \quad (3)$$

gde je:

U_1 — linijski napon dalekovoda, kV.

Rezultati proračuna kapacitivnih struja I_c za dalekovode raznih redova napona potvrđuju da pri naponima iznad 220 kV kapacitivna struja ispod provodnika prelazi granični dozvoljeni nivo od 0,3 mA [2]:

U_1 , kV	220	330	500	750	1150
I_c , mA	0,27	0,4	0,6	0,9	1,3

Pri I_c većoj od 0,3 mA čovek oseća nelagodnost i razdraženost, a pri I_c većoj od 0,7 mA oseća bolove [5]. Prema tome, može da se tvrdi da je osnovni fizički štetni činilac pri radu osoblja koji izaziva nelagodnost u ljudi koji rade u električnom polju napona preko 220 kV industrijske učestanosti kapacitivna struja, a ne jačina električnog polja E , kako je to usvojeno sadašnjim propisima.

Ovo treba imati u vidu pri razradi sredstava električne zaštite i higijenskih normi dejstva struje najviših napona na čoveka. Naročito pri postavljanju zaštitnih ekranirajućih mreža opravdano je postavljati ih

tako da se one nalaze ispod sve tri faze dalekovoda. Sem toga pomeraj faza jedne prema drugoj za 120° (električnih) obezbeđuje smanjenje rezultujuće kapacitivne struje do nule, tj.

$$I_c = I_{CA} + I_{CB} + I_{CC} = I + a^2 I + a I = 0, \quad (4)$$

gde su:

I — kapacitivna struja, koja prolazi od faze dalekovoda u zemlju;

a — fazni operator, koji uzima u obzir pomeraj faza i iznosi:

$$a = -0,5 + j\sqrt{3}/2; \quad a^2 = -0,5 - j\sqrt{3}/2.$$

Pri takvoj konstrukciji zaštitne mreže i rasporedu faza postiže se maksimalni efekat — nema struje koja iz mreže otiče u zemlju.

Očigledno je da kapacitivna struja predstavlja kvantitativnu meru raznih reakcija nervno-muskularnog aparata čoveka na spoljne električno nadražujuće dejstvo polja, a prema tome je opravdano normirati dozu električne energije W , koja izaziva negativno biološko delovanje (nadražaj ili osećaj bolova).

Energija W naizmeničnog napona koju apsorbira živo tkivo može da se izračuna prema obrascu:

$$W = T \zeta \varepsilon \varepsilon_0 E^2 \omega \operatorname{tg} dV = I_c^2 R_c t, \quad (5)$$

gde su:

ω — ugaona učestalost;

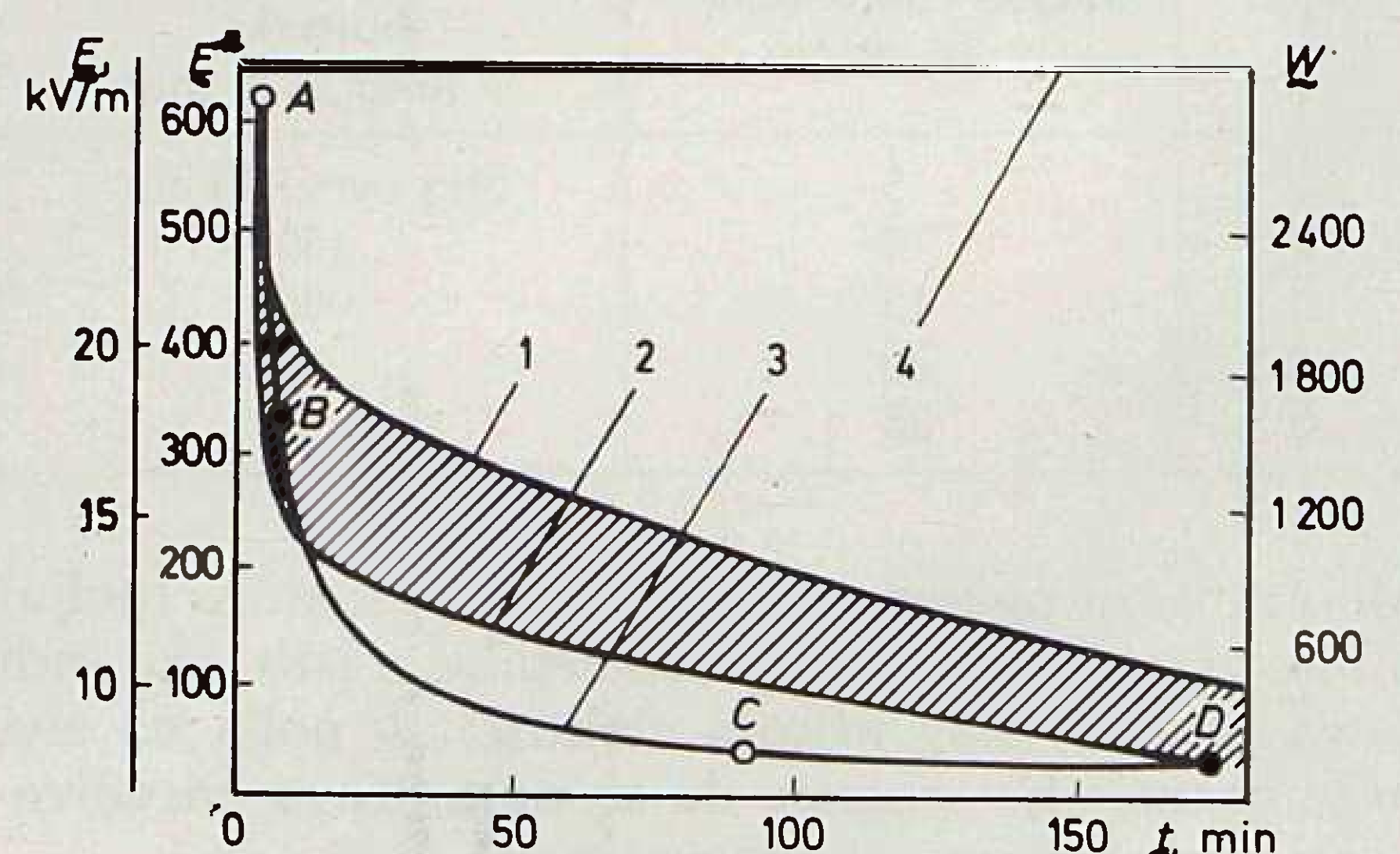
tg — ugao dielektričnih gubitaka;

dV — zapremina tela, koja pretvara energiju u toplotu;

t — vreme delovanja nadraživača.

Pri istim ostalim uslovima iz (5) sledi da je $W = E^2 t$, a ako se teoretski uzme da je $W = \text{const}$, onda $E^2_{\text{teor}} = \text{const}/t$.

Prema [2] može da se konstruiše teoretska kriva 3 (sl. 3) funkcije $E^2_{\text{teor}} = F(t)$, pri tom $W = 3125 \text{ kV}^2 \cdot \text{min}/\text{m}^2 = \text{const}$ (prava 4). Radi upoređenja konstruisani su dijagrami $E^2 = F(t)$ za gornju (kriva 1) i donju (kriva 2) granice normiranih jačina električnog



Slika 3.

polja (v. tabelu 1) pri $t = 5, 10, 90$ i 180 min [2]. Upoređujući teoretsku krivu 3 sa krivim 1 i 2, može da se zapazi da se ona gotovo poklapa sa donjom krivom u tačkama A, B i D, tj. pri vremenu delovanja električnog nadraživača $t = 5, 10$ i 180 min. Ako pak $t = 90$

min (tačka C), onda normiranu vrednost jačine električnog polja jednaku 10 kV/m [1] treba smanjiti na 6 kV/m ili smanjiti vreme boravka čoveka u električnom polju na 30 min.

Analizirajući rezultate proračuna i dijagram zavisnosti $E^2_{\text{teor}} = \text{const}/t$, mogu da se izvedu sledeći zaključci:

- posmatrana funkcija (kriva 3) je sintetizujuća, tj. opšta; ona opisuje električno dejstvo na čoveka kako pri kratkotrajnom, tako i pri trajnom delovanju nadražujućeg parametra;
- dobivena zakonitost omogućava da se brojčano procenjuje stepen električnog nadražaja u zavisnosti od vremena njegovog djelovanja i može da se koristi za proračun ekranirajućih uređaja i analizu higijenskih normi dejstva na čoveka jakih električnih polja industrijske učestalosti.

Ispravnost energetskog prilaza određivanju kriterijuma električne bezbednosti pri dejstvu elektriciteta potvrđuje se i u slučaju neposrednog kontakta čoveka sa delovima elektroenergetskog postrojenja koji su pod naponom. Rezultati merenja radi aktivne elektrode provodnika prečnika 3 mm, koji je ispitivano lice stezalo desnom rukom (svega je bilo ispitano 167 osoba), pokazala su da srednja vrednost ove struje iznosi 1,1 mA [6]. Pri tom je površina kontakta iznosila 940 mm². U slučaju kada se granična struja određivala pri lakom dodiru provodnika prstom, njena srednja vrednost nije prelazila 0,36 mA (površina kontakta 100 mm²). Rezultati proračuna linearne ($A_1 = I/L$) i specifične ($j = I_c/S$) gustine struje pri njenoj graničnoj vrednosti navedeni su u tabeli 2.

Tabela 2.

Srednja vrednost granične struje osećanja, μA	Površina elektrode, mm ²	Efektivna dužina elektrode, mm	Prosečna specifična gustina struje, $\mu\text{A}/\text{mm}^2$	Prosečna linearna gustina struje, $\mu\text{A}/\text{mm}^2$
1100	940	30,66	1,17	35,88
360	100	10,00	3,60	36,00

Analiza podataka iz tabele 2. pokazuje da struja I_c — kriterijum bezbednosti [2] i specifična gustina struje — fiziološka konstanta [7] menjaju se u zavisnosti od površine kontakta čoveka sa elektrodom pod naponom, mada ovo i nije praćeno nekom novom uzvratnom reakcijom organizma. Prema tome, promene I_c i j ne izazivaju nadraženost nervno-muskularnog aparata čoveka. Linearna pak gustina praktično je konstantna i ona može da se smatra pokazateljem datog testiranog bioefekta i merom (pul) dejstva na organizam linearne gustine snage A_p , tj. $\text{pul} = A_p t$. Linearna gustina snage može da se odredi za svaki i-ti nivo nadražaja prema odnosu $A_{pi} = I^2 A_p I$. Ova teoretska zavisnost potvrđuje se eksperimentalnim podacima [8].

U toku istraživanja [9] bilo je dokazno da pri graničnoj fibrilacionoj struji u opsegu određenog vremena dejstva (0,08–0,1 s) štetno delujuća struja praktično ne zavisi od trajanja dejstva. Pri tom se također poštuje energetska zavisnost $W = U^2 t + F$, gde su $U^2 t$ -

energija draženja nervno-muskularnog aparata, a F energija fibrilacije srca.

U svim slučajevima delovanja napona na čoveka njegov organizam apsorbuje električnu energiju. Procena električne bezbednosti treba da se sastoji u utvrđivanju dozvoljenih doza apsorbovane energije. Efekat nelagodnosti naročito izaziva električna energija 3125 kV²min/m², koju apsorbuje telo čoveka, koji se nalazi ispod provodnika dalekovoda vrlo visokih ili najviših napona.

Obavijest uredništva

U vezi s člankom K. A. Tropina *Procena dejstva vrlo visokih i najviših napona, na organizam čoveka* dajemo sljedeću informaciju:

Članak polazi od poznatih stajališta sovjetskih znanstvenika iz razdoblja 1970–1980. godine da su električna polja jakosti od 10 kV/m naviše štetna za zdravlje ljudi, a ta su stajališta u suprotnosti sa službenom izjavom Svjetske zdravstvene organizacije o zaštiti od neradioloških zračenja, kao i stručnjaka »CIGRE« da električna polja do 20 kV/m ne predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi (časopis »Elektra«, 1983. No. 89).

Postoje informacije da su u svjetskoj zdravstvenoj organizaciji u toku neke diskusije u vezi s tom materijom, što bi trebalo ili potvrditi, ili pak izmijeniti dosadašnja stajališta. Međutim, u ovom momentu nema službenih promjena.

Uredništvo

LITERATURA

- [1] GOST 12. 1. 002-75. Električeskiye polja tokov promyšlenoj častoty naprjaženijem 400 kV i vy.
- [2] GOST 12. 1. 038-82. Elektrobezopasnostj. Predeljno dopustimyje urovni naprjaženij prikosnovenija i tokov.
- [3] DOLIN, P. A. »Osnovy tehniki bezopasnosti v elektroustanovkah«. Moskva, Energija, 1979.
- [4] LOSSELJ JU. JA., KOČANOV E. S. STRUNSKIJ M. G. »Rasčet električeskoj jemkosti«, Leningrad, Energoizdat, 1981.
- [5] BARIJEV N. V. »Novyj metod rasčeta perhodnyh soprotivlenij pri kontaktirovanii s odnorodnoj provodjaščej sredoj.« Energističeskoje stroiteljstvo, br. 12, 1984.
- [6] DALZICL C., »Dangers electric currents«. Electric Eng. 1946., br 65.
- [7] LIVENSON A. R. »Elektrobezopasnostj medicinskoj tehniki«, Medicinizdat, Moskva, 1981.

- [8] ŠUCKIJ, V. I., AHMOSTIN, V. K., »Bezopasnostj obsluživanja elektroustanovok ugleobogatiteljnyh fabrik«, Moskva, Nedra, 1979.
- [9] ŠIŠKIN, N. F. JAGUDJEV, B. M., VLADOV, S. P. »Kriteri normirovanija dopustimogo vremeni sratyvanija zaščitno-otključajuših apparatov«, Bezopasnoty truda v promyšlennosti, br. 11, 1975.

HIGH VOLTAGES PROCESS IMPACT ON HUMAN BODY

On the base of electric field deleterions effects on the human health, it is intended to present a relation not as a function of electric field potential rather than capacity current through human body and to determine boundary values.

Naslov pisca:

Kiril A. Tropin, dipl. inž.
11000 Beograd, Vj. Kovača 18
Jugoslavija

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

SR HRVATSKA

PRERADA NAFTE I PROIZVODNJA DERIVATA

Rafinerije nafte na području SR Hrvatske za razdoblje siječanj — lipanj 1987. godine ukupno su preradile sirove nafte u količini 3.614 tisuća tona, od čega je 2.116 tisuća tona osigurano uvozom, a ostatak, 1.498 tona, iz domaćih izvora. U isporukama domaće nafte uključeno je i 45.000 tona iz Angole. To je dio nafte koji pripada Naftaplunu iz Zagreba ostvaren zajedničkom eksploatacijom nafte s angolskim poduzećima.

Uvoz sirove nafte osiguran je iz slijedećih izvora:

S konvertibilnog tržišta nabavljeno je ukupno 977 tisuća tona i to iz Iraka, Libije, Irana i Kine, dok je s klirinškog tržišta, 1.138 tisuća tona, nabavljeno iz SSSR-a, SSSR-a — Alžira, i SSSR-a — Iraka.

Osigurana sirova nafta iz uvoza i domaćih izvora preradena je u rafinerijama: Rijeka, Sisak, Lendava i Zagreb, u skladu s utvrđenim planom zacrtanim Energetskom bilancom Hrvatske za 1987. godinu. U prvih šest mjeseci 1987. godine rafinerije su preradile za jedan posto manje nego u istom razdoblju 1986. godine. Nedovoljne količine i neplanirani uvoz sirove nafte utjecali su na smanjenje planirane prerađe naročito u prvom tromjesečju 1987. Najveće poteškoće javile su se u veljači kada je preradeno 90.000 tona, što je 20 posto manje nego u istom mjesecu prethodne godine. U drugom tromjesečju situacija s uvozom sirove nafte bila je povoljnija.

Preradom navedenih količina nafte proizvedene su slijedeće količine derivata: motorni benzin 548 tisuća tona, plinsko ulje 1075 tisuća, ulje za loženje 723 tisuće, bitumen 135

tisuća, tekući plin 109 tisuća, primarni benzin 185 tisuća tona, ostalo otpada na razne derivate.

I. R.

REALIZACIJA ELEKTROENERGETSKE BILANCE 1987.

Prema podacima ZEOH-a — sektor eksploatacije, o elektroenergetskim prilikama u SR Hrvatskoj za razdoblje siječanj — srpanj 1987. ostvareni su slijedeći rezultati:

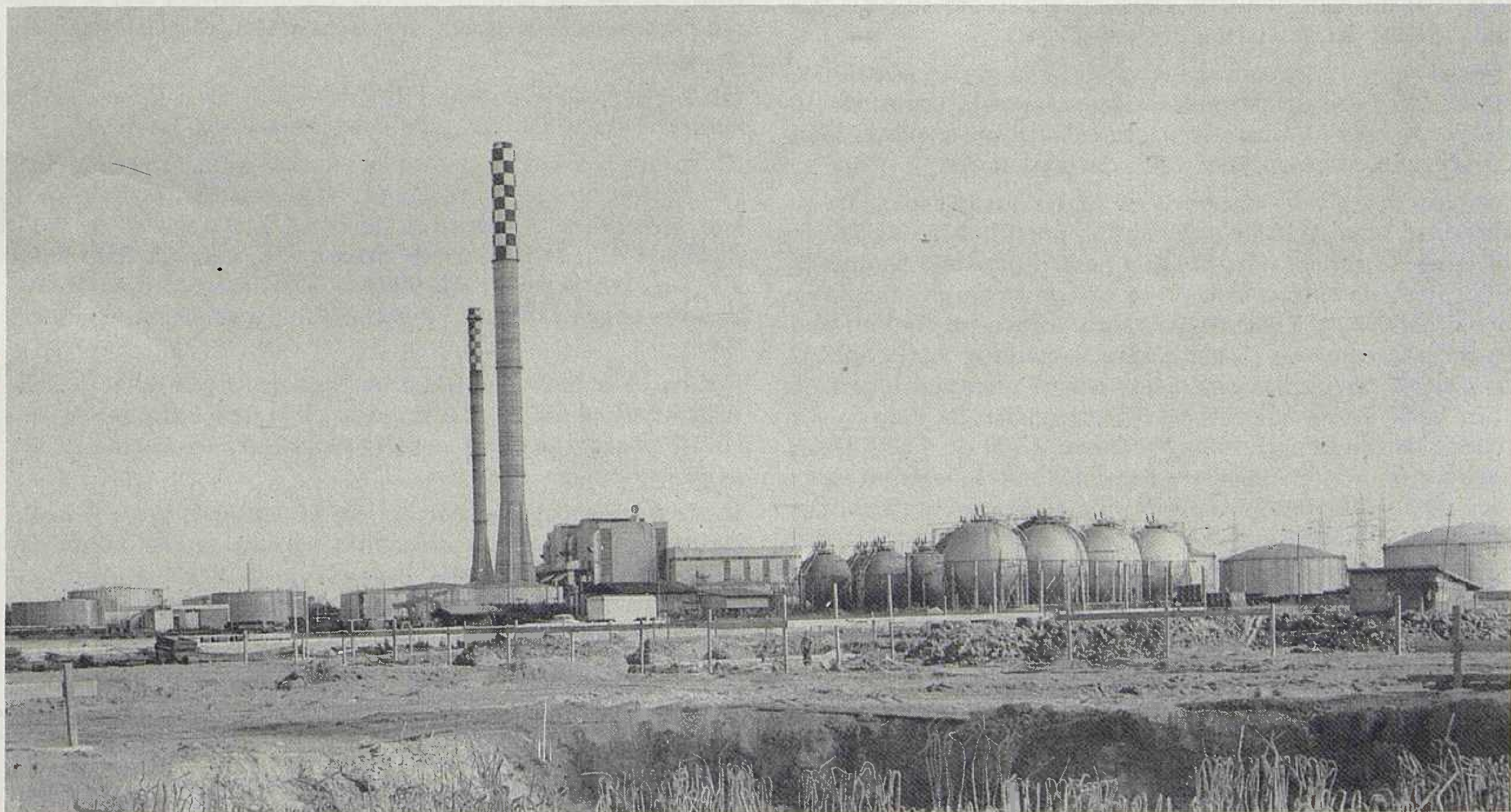
Potrošnja	Plan	Ostvareno u GWh	%
Distribucija	6.597,0	6.623,0	100,4
Direktni i specijalni potrošači	1.966,0	1.810,7	92,0
Gubici prijenosa	289,0	281,8	97,5
Ukupno potrošnja	8.852,0	8.715,5	98,4

Potrošnja električne energije na mreži prijenosa u razdoblju siječanj — srpanj ostvarena je 98,4 posto od plana i povećana za 4,2 posto u odnosu na isto razdoblje 1986. godine.

Preuzimanje električne energije RO distribucije za navedeno razdoblje ostvareno je sa 100,4 posto od plana, odnosno povećano za 5,6 posto u odnosu na isto razdoblje 1986. godine.

Po potrošnji električne energije dominiraju RO distribucije Zagreb (2572,8 GWh), Split (1335,0 GWh) i Osijek (1049,0 GWh).

Direktni i specijalni potrošači u razdoblju siječanj — srpanj ostvarili su ukupnu potrošnju od 1.810,7 GWh, što iznosi 92



Rafinerija Sisak

posto od plana. Do odstupanja od plana došlo je uglavnom zbog manje potrošnje specijalnih potrošača, od kojih će Tvornica aluminija Lozovac u toku godine prestati s radom. Potrebe za električnom energijom podmirene su proizvodnjom hidro i termoelektrana koja je ostvarena u okviru plana za 1987. godinu u razdoblju siječanj – srpanj 1987.

Proizvodnja	Plan	Ostvareno (GWh)	%
Proizvodnja HE	3.231,0	3.320	102,8
Proizvodnja TE	3.336,0	3.019,1	90,5
TE u dr. republikama.	1.820,0	1.793,0	98,5
Nabava		583,0	
Ukupno raspoloživo	8.387,0	8.715,0	103,9

Između potrošnje 8.715,5 GWh i proizvodnje 8.132,5 GWh u razdoblju siječanj i srpanj 1987. javlja se manjak od 583,0 Gh. Manjak je pokriven kupnjom električne energije iz zemlje (SR Srbija i AP Kosovo) i inozemstva (Albanija, SSSR, ČSSR i Švicarska).

I. R.

NALAZIŠTA ULJNIH ŠKRILJEVACA

Uljni škriljevci su sedimentno stijenje s većim ili manjim sadržajem organske materije koja je raspršena u stijenama u obliku mikroskopski sitnih čestica. Ta se organska materija naziva ulje ili kerogen. Određeni energetske potencijal sadržan je i u uljnim bitumenoznim škriljercima.

Takva vrsta škriljevaca raspršena je i u nas i to u SR Srbiji i SR Makedoniji. Također u SR Hrvatskoj ima više takvih nalazišta, u Lici, Dalmaciji i Istri, ali na tim nalazištima nisu poduzimani istražni radovi da bi se ustanovila količina i kvaliteta. Samo su djelomično izvršena geološka istraživanja koje je financirala INA-Naftaplin iz Zgreba. Interes za ta istraživanja je opao zbog nedovoljno razvijene i skupe tehnologije dobivanja plina i ulja iz škriljevca. Iskoristive rezerve ulja u uljnim škriljercima i bitumenoznom pijesku eksploatiraju se u mnogim državama, kao što su SAD, Kanada, SSSR, Kina, Italija, Francuska i dr.

Uljni škriljevci mogu se upotrijebiti i kao gorivo bez ikakve prethodne prerade. Mnogo je interesantnija upotreba uljnih škriljevaca i bituminoznog pijeska za proizvodnju tekućih goriva koji mogu zamijeniti derivate nafte.

Posljednjih godina i na području SR Hrvatske radi se na geološkim i kemijskim istraživanjima pojedinih nalazišta. Ispitivanja su vršena u južnoj Lici na brdu Poštak. Napravljeni su avionski snimci iz kojih se vidi da su slojevi škriljevca široki oko 50 m, izlaze na površinu gotovo po cijelom obodu brda dužine oko 15 km. Sa jugozapadnog dijela nalazišta uzeti su površinski oksidirani uzroci i ispitani u centralnom kemijskom laboratoriju Elektroprivrede Zagreb. Utvrđene su donje ogrjevne vrijednosti 1.100 do 1.600 kJ/kg. Na drugom ličkom nalazištu Koreničko vrelo ispitani su uzroci 1985. i 1986. godine i dobivene su gornje ogrjevne vrijednosti od 8.600 do 20.000 kJ/kg; sadržaj sumpora je 0,16 do 6 posto, sadržaj kalcija više od 20 posto, a u pepelu se nalazilo teških metala (uran, vandij i dr.). Hrvatska raspolaže s još većim brojem nalazišta bitumenoznih škriljevaca koji nisu dovoljno istraženi ni geološki ni kemijski. Takva istraživanja trebalo bi planski organizirati.

U SR Srbiji je još 1979. godine osnovana poslovna zajednica za istraživanja, proizvodnju i korištenje uljnih škriljevaca. Istražena je dolina Južne Morave kod Aleksinca. Danas se u SR Srbiji uspješno koriste uljni škriljevci u ciglarskoj i cementnoj industriji, gdje služe kao gorivo.

Uljni škriljevci kao pogonsko gorivo u termoelektranama može se koristiti u specijalnim tipovima kotlova. Naša strojogradnja mogu proizvoditi takve kotlove i na tom razvoju već su radili RO »Đuro Đaković«, »Grijanje« Zagreb, »EMO« Celje, »Cer« Čačak i dr.

I. R.

ENERGETSKO KORIŠTENJE VODOTOKA KUPE

Hidropotencijal u SR Hrvatskoj, jedini vlastiti izvor primarne energije za proizvodnju električne energije, nije u cjelosti iskorišten. U grupu neiskorištenih potencijala ubraja se i vodotok Kupe i pritoke: Dobra, Mrežnica i Korana.

Sliv Kupe upravo je u fazi izrade konceptijskog rješenja. Na temelju do sada završenih radova (kraj veljače 1987.) odabrana su, prije optimizacije varijantnih rješenja, i prema iskustvu i nekim jednostavnim pokazateljima, ona rješenja za koja se vjeruje da će i konačno biti odabrana.

Radi toga izostavlja se i najkraći opis energetskog korištenja Kupe i pritoka s tim da će se navesti samo osnovni podaci rješenja.

Rijeka Dobra je prva veća pritoka Kupe u koju utječe desetak kilometara uzvodno od Karlovca povećavši protok na ušću 36 m³/sek.

Na pritoci Dobri, prema navedenoj nedovršenoj razradi, predviđaju se slijedeće hidroelektrane:

HE Toplice, HE Globarnica, HE Jarče polje, HE Majur i HE Polaki, ukupno instalirane snage 17,5 MW s mogućim godišnjem proizvodnjom od 81,5 GWh električne energije.

Navedenim konceptijskim rješenjem predviđene su slijedeće hidroelektrane na Mrežnici:

HE Jančići, HE Juzbašić, HE Erdelj i HE Zvečaj, ukupno instalirane snage 44 MW i moguće proizvodnje 164 GWh.

Rješenje energetskog korištenja rijeke Korane prilagođeno je zahtjevu o zaštiti prirodnih ljepota. Na pritoci Korane, osim HE Lučica koja je elektrana kontinuiteta čija je gradnja planirana 1988. godine, predviđene su još ove hidroelektrane:

HE Ljeskovac, HE Slunj, HE Primišlje, te HE Barilović, instalirane snage 24 MW, godišnje proizvodnja 84 GWh.

Na samoj Kupi razmatra se varijanta s pribranskim i derivacijskim rješenjem. Približnom valorizacijom ocijenjena je kao povoljnija varijanta s derivacijskim rješenjem, koje predviđa slijedeće hidroelektrane: HE Kočićin, HE Fara, HE Dol, HE Severin, HE Prilišće i HE Novigrad na Dobri, ukupne snage 118 MW i s godišnjom proizvodnjom od 430 GWh.

Većina će se hidroelektrana na Kupi graditi zajedno s elektroprivredom SR Slovenije (to su elektrane Fara, Dol, Severin i Prilišće), pa će se i proizvodnja i investicije dijeliti na dvije republike.

Rješenje energetskog potencijala vodotoka Kupe i pritoka izgradnja navedenih proizvodnih kapaciteta sveukupne instalirane snage 203,5 MW i mogućom godišnjom proizvodnjom oko 630 GWh električne energije predstavlja priličnu vrijednost za elektroenergetski sustav Hrvatske. Prema studiji »Analiza mogućnosti razvoja elektroprivrede SR Hrvatske do 2000. godine s osvrtom na 2010. godinu« što su je izradili stručnjaci Instituta za elektroprivredu Zagreb, realizacija plana izgradnje hidroelektrana sliva Kupe izvest će se, veći dio, u planskom razdoblju 1990. do 1995. godine, a drugi dio u razdoblju 1995. do 2000. godine.

I. R.

POVEZANOST ELEKTROPRIVREDE SLOVENIJE S AUSTRIJOM

Korištenje hidroenergetskog potencijala Drave i Mure povezuje elektroenergetske sustave Jugoslavije i Austrije i tako ih upućuje na međusobnu suradnju. Obje rijeke teku iz Austrije u našu državu. Nedavno je uspostavljena nova suradnja o zajedničkoj gradnji HE Galica (Koralpe). Ta elektrana nema nikakve neposredne veze s Dravom i Murom. Za podizanje ovog energetskeg objekta snage 50 MW, predviđeno je predstavljala suglasnot elektroprivrede Slovenije da se tok rječice Bistrice, koja se ulijeva u Dravu kod Mure, presječe na austrijskog strani i njena voda usmjeri u pravcu budućeg akumulacionog bazena iznad Lavaminta, sa branom visokom 100 metara. Iz bazena bi se voda dovodila čeličnim cjevovodom, dugačkim 12 do 15 km do turbine. Visinska razlika pada vode od oko 600 m omogućit će godišnju proizvodnju od 85 GWh. Ova elektrana uglavnom bi radila u toku zimskih mjeseci. Radovi na podizanju ovog objekta uslijedit će krajem 1987. ili početkom 1988. godine. Investicije od 1,3 milijarde šilinga, jednu petinu sredstava, osigurat će elektroprivreda Slovenije. Prema planu HE Galica bit će izgrađena do 1990. godine.

Treba još navesti da elektroprivreda Slovenije i susjedni austrijski region kraj Mure pripremaju projekte da na potezu gdje rijeka čini granicu između Slovenije i Austrije izgrade po tri hidroelektrane na svakoj strani.

I. R.

GRADNJA ELEKTRANE U SR BOSNI I HERCEGOVINI

Trenutno elektroprivreda SR Bosne i Hercegovine gradi tri elektrane: dvije hidroelektrane Mostar i Višegrad, te termoelekttranu Kakanj 5. Na gradilištima ovih elektrana radi se ubrzano, a vrijedno je istaknuti da su osigurana financijska sredstva.

Hidroelektrana Mostar, instalirane snage 75 MW, predstavlja četvrtu elektranu na Neretvi, locirana je uzvodno prema Sarajevu. Glavni dio građevinskih radova je završen i radi se na montaži opreme. Isporučioc opreme su domaći proizvođači »Rade Končar«, Litostroj, Energoinvest i dr. Dio hidromehaničke opreme nabavljen je od talijanske tvrtke »Riva Calcone« Bolonja. Prema izvještajima investitora i izvođača radova, HE Mostar će ući u probni pogon u prvom tromjesečju 1988. godine. Također su na gradnji HE Višegrad, snage 3 x 105 MW, ostvareni dobri rezultati na izvedbi građevinskih radova. Glavni radovi usmjereni su na izvedbi betonske brane visoke 79 metara. Graditelji poduzeća »Hidrogradnja« i Metalne uspjeli su za relativno kratko vrijeme izgraditi preljevni dio brane i ugraditi hidromehaničku opremu. Nastavljaju se radovi na iskopu i betoniraju drugog dijela brane.

Treći objekt je u gradnji termoelektrane »Kakanj 5«, snage 230 MW, i svi radovi ulaze u završnu fazu. Do kraja 1987. godine ispitat će se uređaji, tako da će termoelektrana početkom 1988. godine ući u probnu proizvodnju.

I. R.

PRIPREME ZA HE ĐURĐEVAC

Za izgradnju četvrte dravske elektrane na području Hrvatske HE Đurđevac, snage 145,0 MW završena je tehnička dokumentacija, a u toku je rad izrada glavnih projekata. Buduća HE Đurđevac je objekt u pograničnom dijelu pa će u njenoj realizaciji sudjelovati Jugoslavija i NR Mađarska. Sporazum o zajedničkoj gradnji hidroelektrane nije još potpisan. Kod podjele proizvodnje elektroprivreda Mađarske dobit će točno onoliko koliko na to ima pravo prema bruto energiji dionice rijeke. Tehnički je to riješeno tako da će se treći agregat vezati i na jedan i drugi elektroenergetski sistem.

Ništa nije konačno utanačano, ali elektroprivreda Hrvatske nastoji da se to pitanje što prije riješi, jer HE Đurđevac predstavlja višenamjenski objekt. Ne radi se samo o energetskeg korištenju, riječ je i o obrani od poplave, regulaciji (oko 200 km), plovidbi i koristi od nje. To su složena pitanja o kojima trebaju zajednički odlučiti elektroprivreda Jugoslavije i Mađarske.

I. R.

PODJELA POTENCIJALA DRINE

Na inicijativu elektroprivreda SR Bosne i Hercegovine i SR Srbije osnovana je radna grupa za podjelu potencijala na zajedničkom dijelu srednje i donje Drine. Elektroprivreda Bosne i Hercegovine predlaže da se izvrši podjela potencijala nizvodno od Višegrada, kao da nije ništa izgrađeno, pa da SR Srbija dobije ukupni potencijal u HE Bajinoj Bašti i HE Zvornik, a dio potencijala koji pripada Bosni i Hercegovini ustupio bi joj se na novim objektima.

Međutim stav predstavnika SR Srbije je da se potencijal HE Bajina Bašta ne dijeli nego samo neizgrađeni dio Drine i to da se podijeli tako da 50 posto pripada Srbiji, a 50 posto Bosni i Hercegovini. Prije donošenja konačne odluke o podjeli potencijala Drine radna grupa detaljno će razmotriti oba prijedloga.

Elektroprivreda Bosne i Hercegovine i Crne Gore raspravljaju pitanja u vezi s izgradnjom HE Buk-Bijela s kompenzacijskim bazenom. Dosad je postignut određen napredak o svim značajnim pitanjima. Formirana je zajednička radna grupa koja na osnovi postignutih dogovora radi na tekstu Samoupravnog sporazuma o udruživanju rada i sredstva radi zajedničke izgradnje i korištenja HE Buk-Bijela.

I. R.

ŠIROM SVIJETA

NAJVEĆA PUMPNO-AKUMULACIONA HIDROELEKTRANA NA SVIJETU

U SAD, država zapadna Virginia, počeo je krajem 1985. pokusni pogon pumpno-akumulacijske hidroelektrane Bath County, najveće snage u svijetu. U elektrani je instalirano 6 pumpno-turbinskih agregata s motor-generatorima jedinične snage 350 MW, što čini ukupno 2 100 MW. Maksimalan pad hidroelektrane iznosi 385 m.

Hidroelektranu vežu s hidroenergetskim sistemom kompanije Virginia Power dva dalekovoda od 500 kV.

Water Power 38 (1986), br.2

Mrk.

PRVI NJEMAČKI PARK VJETRENJAČA NA OBALI SJEVERNOG MORA

Početakom 1987. proradile su prve vjetrenjače iz velike grupe (parka) koja će se sukcesivno izgraditi na otoku Elbe (Keiser-Wilhelm-Koog). Ukupno će se izgraditi 30 postrojenja elektrana na pogon vjetrom, ukupne instalirane snage oko 1 MW. Pojedina vjetrenjača imat će oko 30 kW. Proizvedena električna energije davat će se u javnu elektroprivrednu mrežu. Realizacija cijelog projekta procijenjena je na 4,6 milijuna maraka.

Elektrizitätswirtschaft 86 (1987), br. 8

Mrk.

ŠVEDSKA NEĆE UGASITI SVOJE NUKLEARNE ELEKTRANE PRIJE GODINE 2010.

Prema izjavi rukovodioca švedske ustanove za zaštitu od zračenja, Švedska neće moći obustaviti rad svojih 12 nuklearnih elektrana prije 2010. godine jer bi to povećalo upotrebu ugljena kao energenta.

Elektrizitätswirtschaft 86 (1987), br. 8

Mrk.

DALJNJA IZGRADNJA ISTOSMJERNOG PRIJENOSA PACIFIC INTERTIE U AMERICI

Njemačka tvrtka BBC iz Mannheima sklopila je ugovore o proširenju terminalnih usmjerivačkih stanica velikog istosmjernog prijenosa nazvanog Pacific Intertie. Sjeverna stanica Celilo blizu Dallasa (Oregon) udaljena je od južne stanice Sylmar nedalko od Los Angelesa (Kalifornija), oko 1 400 km. Veza je građena da se omogući prijenos elektroenergetskih viškova između sjevera i juga SAD. Ova istosmjerna veza radi paralelno s trofaznom mrežom 60 Hz. U pogon je ušla 1970. opremljena živinim usmjerivačima. Nakon potresa 1979, koji je ošteti terminal Sylmar, ugrađeni su tiristorski usmjerivači. Predviđenim proširenjem prijenosna se snaga povećava od 2 000 MW na 3 100 MW, uz napon od \pm 500 kV.

Elektrizitätswirtschaft 86 (1987), br. 10

Mrk.

VELIKA MOGUĆNOST UPOTREBE NATRIJ-SUMPORNIH BATERIJA U ELEKTROPRIVREDI

Napredak u razvoju natrij-sumpornih (Na-S) baterija i tiristorskih usmjerivača obećava velike mogućnosti primjene takvih baterija u elektroprivredi. Misli se na snage od 1 do 100 MW, kojima bi znatno olakšali prevladavanje vršnih opterećenja i opskrbu izoliranih područja.

Ćelija Na-S baterije sastoji se od krutog elektrolita, keramike, koja sadrži okside aluminijske, natrijske i magnezijске i sintetovana je u zatvorenu cijev. Natrijeva elektroda nalazi se u cijevi, a sumporna s njezine vanjske strane. Sve je smješteno u čeličnu cijev. Baterija radi pod temperaturom od 300 do 350 °C, pa su elektrode u tekućem stanju. Od ćelija se sastavljaju modeli baterija. Moduli su pak u čeličnim ormarićima koji su toplinski izolirani. Osim toga baterije imaju sistem grijanja i odvođenja suvišne topline gubitaka za vrijeme pogona. Napon jedne ćelije iznosi oko 2 V i ostaje konstantan do polovine pražnjenja. Zatim do kraja pada linearno do 15 % ispod normalnog napona. Energetska gustoća iznosi kod takvih baterija za vozila 120 Wh/kg. Kod većih se baterija povećava, a kod manjih smanjuje. Iskustva sa Na-S baterijama za pogon transportnih vozila pokazuju na njihovu mogućnost primjene u elektroprivredi za skupljanje energije. Treba ipak istaknuti da svi elementi takvog uređaja još danas nisu potpuno razvijeni. Prema jednom projektu akumulaciona stanica sa Na-S baterijama, snaga 7 MW i 14 MWh, na 10 kV mogla bi se smjestiti u zgradu 17 m x 18 m, visine 10 m. Specifični bi investicioni troškovi iznosili 700 DM/kW, pri ukupnim investicijama od 5 milijuna DM. Procjenjuje se da bi pri jednosatnom pražnjenju pogonski troškovi bili približno jednaki onima u uobičajenim postrojenjima za pokrivanje vrhova opterećenja kao npr. plinskim turbinama i pumpnim elektranama.

Ovakav način akumuliranja električne energije mogao bi se, vjeruje se, uspješno primijeniti u izoliranim područjima tzv. trećeg svijeta. Pri iskorištenju sunčane energije i energije vjetra, koje nije moguće koordinirati s tokom potrošnje, uređaji sa Na-S baterijama bili bi vrlo opravdani.

Prilika za upotrebu takvih baterija ima u elektroprivredi mnogo, no valja raditi na njihovom usavršavanju, kao i poboljšavanju odgovarajućih tiristorskih usmjerivača.

Elektrizitätswirtschaft 86 (1987), br. 10

Mrk.

VISOKOTEMPERATURNI ELEKTROLIZA

Među mnogim nastojanjima u svijetu kako doći do čiste i obnovljive energije mnogo se nade polaže u vodik kao značajan energent budućnosti. Jedan od najpoznatijih načina dobivanja vodika svakako je elektroliza voda, no traže se mogućnosti kako da se za elektrolizu iskoriste nepostojani izvori energije kao vjetar i sunce. No osim klasične elektrolize ispituju se i druge mogućnosti dobivanja vodika.

U njemačkom sistemu »Dornier« prave se opsežni eksperimenti odvajanja vodika od kisika na temelju osobine cirkonijeva oksida (Zr O₂) koji pri temperaturama višim od 300 °C propušta kisikove ione i time kisik u vodenoj pari odvaja od vodika. Sistem koji je nazvan »Hot Elly« kombinacija je

elektrolize i navedene propusnosti Zr O₂ uređaj se sastoji od više stotina ili tisuća cjevčica od Zr O₂ kroz struji vodena para visoke temperature. Pod utjecajem narinutog napona kisik se odvaja od vodika i difundira kroz cjevčice. Ovakim se postupkom u usporedbi s klasičnom elektrolizom ušteduje oko 45 % energije. No stvarno je ušteda samo 30 % jer treba uzeti u račun potrošak energije za pomoćne uređaje. Ovim se sistemom eksperimentira već 12 godina. Poteškoću predstavljaju cijevi (izvjesna vrsta keramike) koje se vrlo teško oblikuju, pa treba prstene sastavljati u cijev. Pritom je pak problem nepropusno brtvenje prstena. Da se u laboratoriju izgradi uređaj koji može na opisanom sistemu uspješno raditi, utrošeno je 35 milijuna maraka. Sljedeći je korak u razvoju gradnja serijskih uređaja koji će raditi kao tvornice vodika. No ne smatra se da će to biti moguće prije 2000. godine.

ETZ 108 (1987), br. 10

Mrk.

NAJSNAŽNIJI TURBOAGREGAT DANAS U SVIJETU

Turboagregat najveće snage danas u svijetu, od 1 330 MW, u pogonu je od kraja prosinca 1986. u njemačkoj nuklearnoj elektrani Brokdorf.

ETZ 108 (1987), br. 10

Mrk.

POTREBA PRIJELAZA SISTEMA ŽELJEZNIČKE ELEKTRIČNE VUČE OD 16²/₃ Hz NA SISTEM 50 Hz U SR NJEMAČKOJ

U toku prvih pola stoljeća elektrifikacije željeznica napajanje električnom energijom počivalo je na istosmjernoj struji i izmjeničnoj struji snižene frekvencije 16²/₃ Hz ili 25 Hz. Revolucionarna se promjena dogodila pedesetih godina ugradnjom ignitronskih živinih usmjerivača, a zatim i tiristor-skih usmjerivača u lokomotive. Time je omogućeno direktno napajanje vuče iz elektroprivredne mreže 50 Hz ili 60 Hz. Industrijske zemlje kao Francuska, Velika Britanija, SSSR i Japan odmah su prihvatile ovakav sistem. Ispravljачke stanice ili posebne elektrane za električnu energiju snižene frekvencije više nisu bile potrebne. Elektrifikacija željeznice postala je znatno jeftinija. Tako je duljina elektrificiranih pruga normalnog kolosijeka 1982. godine u svijetu prema primijenjenim sistemima iznosila:

istosmjerna struja 1,5 kV i 3 kV	80 000 km
izmjenična struja 16 ² / ₃ Hz i 25 Hz	30 000 km
izmjenična struja 50 Hz	50 000
3	
Ukupno	160.000 km

Unutar Evropske ekonomske zajednice Francuska, Velika Britanija, Luksemburg i Portugal imaju uz istosmjerni napon također i napajanje izmjeničnim naponom 50 Hz, 25 kV, na što su se u međuvremenu odlučile Danska, Grčka i Irska. Belgija, Nizozemska i Španjolska imaju istosmjerni napon napajanja 1,5 kV i 3 kV. Samo Savezna Republika Njemačka ima u toj grupaciji napajanje izmjeničnom strujom 16²/₃ Hz, 15 kV. Time je, naravno, spriječen nesmetan prolaz brzog putničkog prometa u budućnosti. Da se to pitanje riješi, nova željeznička pruga iz Pariza i Londona na Lille i Köln, bit će elektrificirana monofazno 50 Hz, 25 kV. Za brzi osobni promet namjerava se izgraditi nova pruga, superponirana staroj, Kölna sjeverno prema Hamburgu i južno prema Frankfurtu i Münchenu i također elektrificirati sa 50 Hz. Predviđene su putne brzine od 200 km/h, pa se na tim

relacijama planira povećanje željezničkog, a smanjenje avionskog prometa. Od Hamburga bi se prema Kopenhagenu mogla nastaviti brza željeznička linija, a također iz Frankfurtu prema Parizu.

Kako je u području Schleswig-Holstein elektrifikacija sa 16²/₃ Hz bila dosada neekonomična, može se odmah početi s elektrifikacijom vuče monofazno 50 Hz. Prelazak sa sistema 16²/₃ Hz na 50 Hz počeo bi sa sjevera prema jugu i nastao se na području Schleswig-Holstein. Taj bi proces tekao u skladu s obnovom i zamjenom zastarjele opreme 16²/₃ Hz uz maksimalno korištenje postojećih zgrada i postrojenja za nove namjene.

Elektrizitätswirtschaft 86 (1987), br. 10

Mrk.

VELIKI ELEKTOENERGETSKI SISTEMI DA ILI NE?

Već od Goelro-plana elektrifikacije SSSR-a, s početka dvadesetih godina, postoji težnja da se stvori jedinstven elektroenergetski sistem na cijelom golemom teritoriju države. U pojedinim područjima SSSR-a stvoreni su danas značajni elektroenergetski sistemi koje treba povezati u velik jedinstveni sistem. U posljednje su se vrijeme, međutim, pojavila mišljenja da se pri ukupnoj snazi od 200 000 do 300 000 MW javljaju poteškoće u pogledu stabilnosti, regulacije frekvencije i snage elektrana. Prema tome, rješenje bi bilo ili da podsistemi rade izolirano ili povezani istosmjernim vezama vrlo visokog napona. Svaki od podsistema imao bi samostalnu i nezavisnu regulaciju.

Povodom takvim mišljenja poznati sovjetski znanstvenik V. A. Venikov napisao je članak (Električestvo, 1987, br. 3) u kojemu pobija takva stajališta. On smatra da je svako povezivanje velikih sistema moguće s električnim trofaznim vezama za tok energije u oba smjera (reverzibilno). Istaknuto je da ni istosmjerna veza nije sasvim jednostvna. Zbog viših harmonika treba ugraditi filtre koji traže povećanje investicija i izazivaju značajne energetske gubitke. U sistemu se često pojavljuju neugodne autooscilacije niske frekvencije. Pri reguliranju kuta paljenja invertora nastaje nestabilnost napona kao funkcija pada trofaznog napona na prijemnom kraju prijenosa. Povećanje kuta paljenja traži povećanje jalove energije, što još više snižava napon.

Osim toga, nije još jasno biološko djelovanje istosmjerne struje u blizini prijenosnog voda. Ukratko, primjena istosmjernog prijenosa nije, u usporedbi s trofaznim prijenosom, tako jednostavno i beskonfliktno rješenje. Pri projektiranju treba pažljivo usporediti alternativne varijante, a ne prihvatiti apsolutnu prednost istosmjernog ili trofaznog povezivanja. Istosmjerna veza ne bi trebala kad bi podsistemi bili izbalansirani uz rad pod strogo određenom frekvencijom. U mnogim je slučajevima moguće postići traženu regulaciju snage poprečnim transformatorima. Naprimjer, takav transformator od 1 500 MVA stoji samo 10-12 % istosmjerne veze, uz manje gubitke. Ipak treba istaći da u mnogim slučajevima istosmjerna veza ima prednosti, a ponegdje je i neizbježna. Pokazalo se vrlo korisnom u paralelnom radu s trofaznim linijama, čime se povećava propusna moć i stabilnost. Pisac nikako nije suglasan s koncepcijom velike koncentracije snaga elektrane od 20 000 do 40 000 MW, kakva se zagovara u SSSR-u, što svakako traži linije velike prijenosne moći, već predlaže da koncentracija ne prelazi 5 000 – 6 000 MW. Takva je koncentracija opravdana i iz ekoloških razloga, a ne samo zbog jednoličnije teritorijalne raspodjele izvora.

Treba uzeti u obzir da elektroenergetski sistem ne može biti sasvim električni već treba računati da u podsistemima

ima plinovoda i prijevoza goriva. U stanovitim slučajevima oni mogu biti ekonomičniji od električne energije i omogućiti njezino povoljnije usmjeravanje.

Velike elektroenergetske sisteme moguće je ostvariti, i neosnovana je tvrdnja da njihova veličina i složenost dovodi do havarije. Uz pravilnu i jedinstvenu regulaciju takav sistem može raditi stabilno. Naprimjer, veliki ispadi u SAD 1965. i 1977. bili su upravo rezultat pomanjkanja odgovarajućeg jedinstvenog upravljanja sistemom.

Što se pak tiče jedinstvenog sovjetskog elektroenergetskog sistema, može se reći da je dosad njegova koncepcija nedovoljno razrađivana. Nužno je teorijski i praktički varijantno obraditi putove potencijalnog prilaza razvoja buduće konfiguracije sistema. Elektroenergetski sistem SSSR-a treba razmatrati u tri nivoa: istosmjernu vezu vrlo visokog napona transsistemskog karaktera, trofaznu mrežu za povezivanje podsistema i mrežu napajanja koja djeluje unutar sistema.

Istosmjerni sistem ne treba proglasiti kao jedino prihvatljivu koncepciju na osnovi likvidacije trofaznog. Elemente istosmjernog sistema treba organski uklopiti u trofazni, a ne s njime uspoređivati. Sva pitanja kombinacije različitih vrsta sistema, određivanja njihove konfiguracije i izbor režima elektrane treba rješavati na temelju alatativnih varijanti. To do sada nije rađeno, pa treba prekinuti s bezvarijantnim projektiranjem.

Mrk.

NASLAGE RUDE LITIJA — ENERGETSKA NADA AUSTRIJE

Pretpostavi li se da je cijela austrijska energetska potrošnja pokrivena naftom, ona bi u godini 1985. iznosila 23,7 milijuna tona tog ekvivalentnog goriva ili okruglo 0,3 % svjetskih potreba. Od navedene količine energije 72 % Austrija pokriva uvozom, od kojega oko polovina dolazi iz države istočnog bloka. Zimi se uvozi najviše električna energija, i to iz zemalja koje imaju nuklearne elektrane s trendom daljnje njihove izgradnje. Nema izgleda da bi se energetska situacija uskoro poboljšala. Alternativnim energetske izvora nije moguće bitno utjeci na energetiku zemlje, a upotreba nuklearnih elektrana zakonom je zabranjena.

Austrija dosad nije imala nikakve energetske zalihe svjetskog značenja. Naprotiv, ona već desetljećima uvozi energiju. Takva bi se situacija mogla, međutim, bitno izmijeniti

ako se uspije ostvariti tehničko i ekonomsko rješenje fuzijskih nuklearnih elektrana. U svijetu su danas uložena golem sredstva u istraživanja i razvoj fuzije, pa se praktična rješenja očekuju negdje sredinom sljedećeg stoljeća. Prema svemu se čini da će se fuzijski procesi odvijati na bazi reakcije denterija (teškog vodika) i tricija (superteškog vodika). Dok se denterij može dobiti iz teške vode koje ima u prirodi u neograničenim količinama, za dobivanje tricija potreban je litij. Osim toga, litij treba ugraditi u fuzijske nuklearne elektrane kao moderator, i to u velikim količinama. Prema jednoj američkoj procjeni, za fuzijski reaktor od 1000 MW trebalo bi 950 + litija.

Austrija posjeduje velika nalazišta litijeve rude u Karnskim alpama, na koruškoj strani. Prema dosadašnjem znanju to je najveće nalazište ovog lakog metala na svijetu. Ruda se procjenjuje na 15 milijuna tona. Uzme li se današnja godišnja austrijska energetska potrošnja kao nepromijenjena, taj bi litij dostojao Austriji za 10000 godina ili svijetu za 60 godina.

Predviđene studije i istraživanja trebaju utvrditi uz kolike se troškove može dobivati taj metal. Tek tada će se moći prosuditi kakva će uloga austrijskog nalazišta biti u budućoj svjetskoj energetici. Ako bi se pokazalo da je cijena viša od svjetske, ona za Austriju neće biti nepovoljna, jer će do stavljanja u pogon fuzijskih elektrana biti iscrpljeni svi njezini izvori ugljena, nafte i plina.

ÖZE 40 (1987), br. 4

Mrk.

NAJVEĆI UREĐAJ ZA DOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE SOLARNIM ČELIJAMA U AUSTRIJI

Tvrtka Elin, uz pomoć državnih ustavova za nauku i razvoj, sagradila je solarni uređaj za opskrbu jednog gospodarstva u brdima u blizini Salzburga. Maksimalna snaga iznosi 2,5 kW. Uređaj ima akumulatorske baterije, pa je opskrba električnom energijom osigurana noću i za lošeg vremena. Čelije su ugrađene na krovu staje s južne strane kuće, pa su praktički nevidljive. Time nije samo postignuta zaštita okoliša od zagađenja već nije time narušena ni planinska idila.

Ovaj solarni uređaj služi, osim svoje korisne upotrebe, i za višegodišnje proučavanje i kao pilot-projekt za praktičnu primjenu solarnih ćelija u brdima.

E u M 104 (1987), br. 5

Mrk.

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

SIMPOZIJ »TEHNOLOGIJA, EKONOMIKA I EKOLOGIJA NUKLEARNIH ELEKTRANA«

Stalni manjak svih oblika energije natjerao je mnoge stručne institucije na poduzimanje raznih mjera radi poboljšanja teškog energetskeg stanja i nalaženja mogućnosti za:

- racionalnije korištenje energije
- stalno smanjenje potrošnje energije po jedinici proizvoda te
- supsticiju deficitarnih oblika energije onim oblicima energije čije su zalihe veće i cijena manja.

Savez energetičara Hrvatske, uz pomoć raznih stručnih i društveno-političkih institucija, već niz godina organizira različita savjetovanja radi poboljšanja teškog energetskeg stanja.

U tom cilju Savez energetičara Hrvatske organizirao je u Opatiji od 12. do 14. ožujka Simpozij »Tehnologija, ekonomika i ekologija nuklearnih elektrana«.

Na Simpoziju je obavljeno 23 referata, od kojih je 22 tiskano u Zborniku, a uvodni referat, dao je autor Rade Pavlović, dipl. ing. el., predsjednik Savjeta za energetiku i ekonomsku politiku SFRJ. Uvodni referat iz tehničkih razloga nije tiskan u Zborniku referata, ali će zbog svoje interesantnosti biti objavljen uskoro u stručnom časopisu Saveza energetičara Hrvatske »ENERGETIČAR« i tako dostupan vrlo velikom broju čitalaca.

U Zborniku tiskani referati su vrlo interesantni i na zavidnom tehničkom nivou, međutim velika je šteta što nisu tiskani svi prijavljeni referati, jer je znatan broj autora prijavljenih referata odustao od njihova pisanja i dostave organizatoru Simpozija, vjerojatno ponukan burnim, često i vrlo alarmantnim, diskusijama nakon akcidenta u nuklearnoj elektrani Černobil potkraj travnja 1986. godine.

Iako je u kuloarima Simpozija »najavljivana« burna i plodna diskusija o problematici izgradnje i eksploatacije nuklearnih elektrana u svijetu, a naročito u SFRJ, ona je ipak zbog najčešće neargumentiranih »činjenica« izostala.

I. C.

NOVE KNJIGE

NOVI STRUČNI ČASOPIS

U Londonu je počeo izlaziti novi stručni časopis »POWER EUROPE«. Časopis je namijenjen elektroprivredi, a izdaje ga Financial Times Business Information, koji raspolaže izvanrednim izvorima informacija i pouzdanim statističkim podacima. Izlazi dvaput mjesečno.

U časopisu će se detaljno obrađivati ova problematika:

- komercijalni problemi opskrbe električnom energijom.
- kupoprodaja električne energije unutar pojedinih država u Evropi i isto tako međunarodna kupoprodaja i razmjena
- dugoročna predviđanja koja utječu na proizvodnju i distribuciju elektroenergije i moguće promjene na tržištu
- izgradnja novih elektroprivrednih objekata
- statistički podaci o proizvedenoj i prodanoj elektroenergiji, cijene, strukture tarifa u pojedinim zemljama i prilagodavanje cijena tržištu
- izvještaji sa zasjedanja EEC-a
- novosti o najnovijim događajima s područja elektroprivrede izvan Evrope
- rukovođenje, planiranje, marketing i financiranje elektroprivrednih poduzeća

- stanje na tržištu energenata relevantnih za elektroprivredu
- situacija i razvoj proizvoda elektroopreme za proizvodnju, prijenos, distribuciju, regulaciju i daljinsko upravljanje
- propisi u vezi s elektroprivredom u pojedinim zemljama
- ekološki problemi
- investitori i potencijalni financijeri.

Zanimljivo je napomenuti da je izdavač, Andrew Holmes, »POWER EUROPE«, studirao na sveučilištima Stirling i London. Nakon studija radio je tri godine u Ministarstvu za energetiku, a 1981. godine došao u korporaciju Financial Times.

Napisao je dvije stručne knjige i redovno se pojavljuje kao stručni komentator na televiziji i radiju, komentirajući elektroprivrednu problematiku. Kao izdavač rukovodi timom novinara, dopisnika i stručnih komentatora.

Šteta što godišnja pretplata za ovaj stručni časopis iznosi 515 funti.

Herbert Praznik



ASTRA

**SPONZOR-SUORGANIZATOR
UNIVERZIJADE '87**

ZAGREB
JUGOSLAVIJA



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

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

Djelatnosti na vanjskom tržištu:

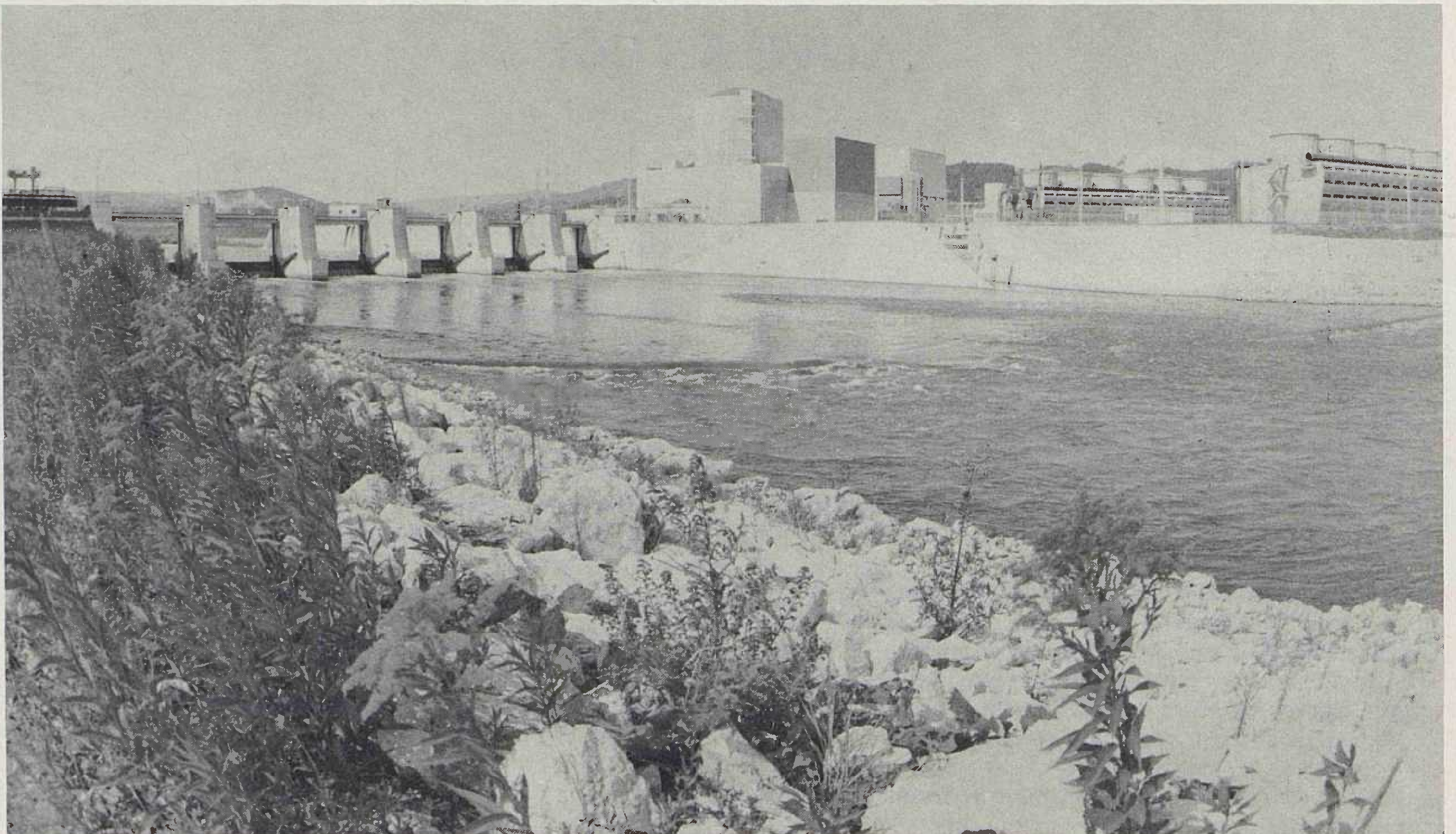
- izvoz-uvoz kompletnih objekata, postrojenja i opreme za sve grane industrije;
- izvoz-uvoz brodova i aviona;
- izvoz-uvoz poljoprivredno-prehrambenih proizvoda;
- međunarodno trgovinsko posredovanje;
- međunarodna trgovina putem mreže inozemnih firmi i predstavništava;
- zastupanje inozemnih firmi.

Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

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

OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

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



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

IZDAVAČI

Godište 36 (1987)

Zagreb 1987

Br. 6

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

SADRŽAJ

<i>Feretić D.</i> : Nuklearne elektrane i njihov utjecaj na okolinu (Pregledni rad)	471
<i>Vuković V.</i> : Otok tri milje i Černobil (Stručni rad)	481
<i>Nadinić B.</i> : Ispitivanje ukupne propusnosti kontejnera u NE Krško (Pregledni rad)	495
<i>Matanić D.</i> — <i>Krejči M.</i> : Mogućnosti domaće industrije pri građenju velikih termoenergetskih postrojenja (Pregledni rad)	503
<i>Rajić Ž.</i> : Aproksimativni postupak za određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža (Originalni znanstveni rad)	509
<i>Šicel M.</i> : Problematika uvođenja rada pod naponom u distribuciji ZEOH-a (Stručni rad)	515
<i>Tonković Z.</i> : Prijenosna mreža na području Elektroprivrede Rijeka u razdoblju 1986—2000. godine (Prethodno saopćenje)	519
<i>Tonković Z.</i> : Odnosi potrošnje snage Hrvatske i elektroprivrednih područja Osijeka, Rijeke, Splita i Zagreba (Prethodno saopćenje)	531
Iz strane stručne literature	535
Nove knjige	540
Oglasi	543

IZDAVAČKI SAVJET

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

UREDNIČKI ODBOR

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

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

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

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

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

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 3000 dinara, a za poduzeća i ustanove 8000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 1500 (za studente 200) dinara.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec



SOUR **MONTING**
RO ENERGETIKA
ZAGREB

RO ZA IZGRADNJU I MONTAŽU
OBJEKATA I ENERGETSKIH POSTROJENJA

41000 ZAGREB, Kesterčankova 1

Predstavništva:

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

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

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

Telefoni:

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

VRŠI IZGRADNJU I MONTAŽU:

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



PROIZVODNI POGON U DUGOM SELU — PROIZVODNJA SILOSA I ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

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

PROIZVODI:

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

NUKLEARNE ELEKTRANE I NJIHOV UTJECAJ NA OKOLINU

Prof. dr. Danilo Feretić, Zagreb

UDK 621.039.52:77.4

PREGLEDNI RAD

Analiziran je rizik od nuklearnih elektrana i uspoređen s rizicima od nekih drugih ljudskih aktivnosti. S gledišnja normalnog pogona uspoređivane su nuklearne elektrane i termoelektrane na ugljen. Opisana je havarija NE Černobil te razlike između tog tipa reaktora i onog kakav je u NE Krško.

Ključne riječi: nuklearni reaktor, utjecaj na okolinu, analiza rizika, sigurnost nuklearnih elektrana.

U raspravama o našem nuklearnom programu se, posebno u široj javnosti, najčešće postavlja pitanje sigurnosti nuklearnih elektrana i utjecaja mogućih akcidenata na tim objektima na populaciju u njihovu okolišu. Svrha ovog članka je da pridonese diskusiji o ovim pitanjima koja su od presudne važnosti za daljnji razvoj nuklearne energetike u svijetu i kod nas.

STANJE RAZVOJA NUKLEARNE ENERGETIKE

Nuklearne elektrane su danas tehnički zreli energetski objekti sposobni za masovnu proizvodnju električne energije. Prema izvještaju Međunarodne agencije za atomsku energiju (MAAE), potkraj 1985. godine u pogonu je bilo 374 nuklearnih energetske blokove u 26 zemalja s ukupnom instaliranom snagom od oko 250 000 MW. Električna energija proizvedena u nuklearnim elektranama je u toj godini iznosila oko 1 400 milijardi kWh, odnosno oko 15% proizvedene električne energije u svijetu. Radi usporedbe, u Jugoslaviji je 1986. godine proizvedeno oko 80 milijardi kWh električne energije. Ukupno iskustvo s pogonom nuklearnih energetske reaktora je do kraja 1985. godine akumulirano na 3 825 reaktor-godina.

Krajem 1985. godine u fazi gradnje je bilo 157 nuklearnih elektrana instalirane snage 142 000 MW.

Među tipovima nuklearnih elektrana koje se nalaze u pogonu ili gradnji najviše je rasprostranjen tip nuklearnih elektrana s tlakovodnim reaktorima (PWR), kakav ima i naša NE Krško. 51% svih nuklearnih elektrana u pogonu i 72% svih nuklearnih elektrana u gradnji pripadaju tom tipu. Sljedeći tip po rasprostranjenosti jest tip nuklearnih elektrana sa kipućim reaktorom (BWR) (21% u pogonu i 10% u gradnji). Ostali tipovi nuklearnih elektrana (to su elektrane sa teškovodnim i grafitnim moderatorima kao i nuklearne elektrane sa brzim oplodnim reaktorima mnogo su rjeđi. Među nuklearnim elektranama sa grafitnim moderatorima jest i ona u Černobilu.

MJERE SIGURNOSTI U GRADNJI I POGONU NUKLEARNE ELEKTRANE

Nuklearne elektrane se projektiraju i grade uz poštivanje veoma rigoroznih sigurnosnih mjera da se spriječi, odnosno svede na minimum mogućnost prodira veoma radioaktivnih tvari iz reaktorske jezgre u okolinu. Radi približne informacije, nivo radioaktivnosti reaktorske jezgre je reda 1 Ci ($3,7 \cdot 10^{10}$ Bg) po jednom vatu termičke snage reaktora.

Opseg sigurnosnih zahvata je definiran propisima, pravilnicima, projektnim kriterijima i standardima, a počinje od izbora i analize lokacije, definicije projektnih rješenja, kontrole kvalitete radova, izrade i montaže opreme do izbora i obuke pogonskih kadrova, izrade pogonske dokumentacije i predpogonskih ispitivanja. Svaki zahvat mora biti dokumentiran u sigurnosnom izvještaju i provjeren putem odgovarajuće inspekcije. Ako u zemlji koja gradi nuklearnu elektranu nema vlastitih sigurnosnih propisa i standarda, obično se koriste propisi zemlje isporučioaca nuklearne opreme i propisi Međunarodne agencije za atomsku energiju.

Jedan od temeljnih principa projekta sigurnosnih sistema elektrane sastoji se u tzv. obrani po dubini. On traži da se svaki otkaz funkcije bilo koje komponente ili sistema značajnog za sigurnost (bez obzira na to što je takav otkaz zbog rigorozne kontrole kvalitete malo vjerojatan) može nadomjestiti funkcijom drugog sistema elektrane. Primjena ovog principa vodi zahtjevu redundancije sigurnosnih komponenti i sistema, te zahtjevu o njihovoj separabilnosti i diversitetu napajanja.

Sigurnost pogona nuklearnih elektrana kontinuirano se provjerava u toku pogona elektrane kroz mjerenja i ispitivanja promjena karakteristika opreme, obnovu obuke operatora i sigurnosne analize. Sigurnosne analize nuklearne elektrane provode se putem matematičkog modeliranja sistema i komponenata nuklearne elektrane na osnovi kojih se primjenom

kompleksnih kompjutorskih programa provjerava mogućnost ugrožavanja projektiranih parametara elektrane kod bilo kojih prijelaznih pojava ili kvarova.

U posebnu vrstu sigurnosnih studija nuklearnih elektrana ulaze i studije vjerojatnosti otkaza opreme i sistema elektrane. Jasno je da rizik otkaza nije moguće izbjeći uza sve mjere opreza. Te studije imaju zadatak da kroz sistematsko proučavanje scenarija međusobno uzročnih kvarova te unutarnjih i vanjskih inicijalnih događaja dođu do kvantitativnih podataka o vjerojatnosti oštećenja jezgre reaktora (tj. do vjerojatnosti kvara koji se je dogodio na nuklearnoj elektrani Otok tri milje u SAD) i dalje do vjerojatnosti da će takvo oštećenje ugroziti okolinu putem veće emisije radioaktivnosti.

Prva je studija ove vrste izrađena za reaktore PWR i BWR u SAD. To je studija WASH 1 400, poznata i kao Rasmussenov izvještaj.

U toj se studiji zaključuje, nakon detaljne analize opreme i sistema PWR i BWR elektrana koje su građene prema američkim propisima, da je vjerojatnost taljenja jezgre reda 10^{-4} slučajeva po reaktorskoj godini (tj. jedan kvar na 10 000 reaktorskih godina). Vjerojatnost veće emisije radioaktivnosti u okolinu nakon oštećenja jezgre kod razmatranih je elektrana zahvaljujući kontejnmentu za dva reda veličine manja.

Ako se podsjetimo da je iskustvo s pogonom nuklearnih elektrana dosada premašilo 3 000 reaktor-godina, te da se je do sada dogodio samo jedan slučaj oštećenja jezgre (kvar na nuklearnoj elektrani Otok tri milje), dosadašnje iskustvo nije daleko od predviđanja Rasmussenova izvještaja. Slična studija je izrađena i u SR Njemačkoj (poznata kao njemačka studija rizika) koja je obuhvatila nuklearne elektrane tipa PWR i BWR projektirane od konzorcija KWU po njemačkim propisima. Studija je dala približno iste rezultate kao WASH 1400.

U našoj je zemlji nekoliko institucija (Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, Institut Jožef Stefan iz Ljubljane, Institut Ruđer Bošković iz Zagreba i djelomično još neki drugi) osposobljeno za izradu analiza sigurnosti naše nuklearne elektrane, i to kako na području matematičkog modeliranja sistema i istraživanja posljedica prijelaznih pojava i kvarova (tzv. determinističke analize), tako i na području analiza pouzdanosti i rizika od nuklearnih akcidenata.

Rezultati studije WASH-1400 i njemačke studije rizika su za nuklearne elektrane (uzevši u obzir kako njihov normalni pogon tako i vjerojatnost havarija) zanemarivo pridonose povećanju postojećeg rizika stanovništva.

Njemačka studija rizika (dovršena 1979. godine) rađena je veoma sustavno uz korištenje metoda ranije izrađene studije WASH-1400. Obraduje rizik okoline od rada njemačkih nuklearnih elektrana (25 nuklearnih elektrana na 19 lokacija) imajući na umu postojeću gustoću stanovništva. Veličine rizika koje su proizašle iz studije dane su u tablici 1.

Tablica 1. Ukupni rizik iz raznih uzroka sveden na milijun stanovnika godišnje (tj. broj smrtnih slučajeva na milijun stanovnika godišnje)

Vrsta rizika	Broj smrtnih slučajeva / god.
Nesreće na radu (prosječno)	130
Rad u rudniku	540
Rad u domaćinstvu i slobodne aktivnosti	230
Vožnja automobila (75 min dnevno)	240
Vožnja avionom (1 sat tjedno)	50
Udar električne struje	4
Udar groma	0.6
Smrt od raka ili leukemije iz prirodnih uzroka (neovisno o nuklearnim posrojenjima)	2 700
Posljedica nuklearnih akcidenata	
— akutne (rani efekti)	0.01
— dodatni broj smrtnih slučajeva od raka ili leukemije (naknadni efekti)	0.02

Rezultati pokazuju da nuklearni akcidenti, zbog njihove male vjerojatnoće, vrlo malo pridonose povećanju rizika stanovništva. Doprinos drugih uzroka rizika je mnogo veći.

Treba podsjetiti na činjenicu da ovi rezultati nisu primjenjivi na slučaj akcidenta na NE Černobil, jer se radi o posve različitoj tehnologiji. Odgovarajući podaci relevantni za tu nesreću komentirat će se kasnije. Jedini iskustveni podatak na koji je studija primjenjiva jest kvar na elektrani Otok tri milje u SAD (radi se o vodenom reaktoru tipa PWR u kojem je došlo do taljenja jezgre). Međutim, taj kvar je neznatno pridonio povećanju zračenja u okolini (ozračenje najeksponiranijeg pojedinca je bilo oko 1 mSv, što je poprilično doza koja se može primiti u toku rendgenskog pregleda).

Zbog toga se ne može govoriti o iskustvenoj verifikaciji rezultata studija u dijelu koji se odnosi na povećanje broja smrtnih slučajeva zbog rada nuklearnih elektrana.

UTJECAJ NUKLEARNIH ELEKTRANA I TERMOELEKTRANA NA OKOLINU

Rad nuklearnih elektrana prati radioaktivno zračenje. Zračenje kojim nuklearne elektrane opterećuju okolinu samo je jedan od mnogih izvora zračenja. Ukupno radioaktivno zračenje kojim je podvrgnuto stanovništvo dijeli se na prirodno (tj. neovisno o ljudskoj djelatnosti) i umjetno (koje izaziva ljudska djelatnost). Radi ocjene utjecaja zračenja iz nuklearnih elektrana na ljude potrebno je usporediti intenzitet tog zračenja s onim koje potječe iz drugih izvora.

Prosječne godišnje doze zračenja stanovništva (prema podacima Međunarodne agencije za nuklearnu energiju) navedene su u tablici 2.

Tablica 2. Prosječne doze zračenja iz prirodnih i umjetnih izvora

	Prosječna godišnja doza mSv / god
<i>Prirodni radioaktivni izvori</i>	
Kosmičke zrake	0.30
Izotopi radona (RN-222, Rn-220, koji potječu iz urana i torija u zemlji)	1.37
Izotop kalija K-40	0.30
Ostali prirodni radio-izotopi	0.02
Ukupno oko	2.00
<i>Umjetni radioaktivni izvori</i>	
Medicinske pretrage i terapija	0.40
Testiranje nuklearnog oružja	0.02
Nuklearna energetska postrojenja u normalnom pogonu	0.001
Sveukupno	2.42

Najveća doza zračenja potječe od izotopa radona koji nastaju raspadom radioaktivnih izotopa urana i torija (a koji su sastavni dio svakog zemljišta). Radon je težak plin te se skuplja naročito u rudnicima, šahtovima i podrumima.

Iz tablice 2. evidentan je zanemariv doprinos nuklearnih elektrana u normalnom pogonu na prosječnu dozu stanovništva. To vrijedi čak ako se u razmatranje uključe samo stanovnici u neposrednoj blizini nuklearnih elektrana. Tada dozu zračenja iz elektrana treba računati sa 0.01 do 0.03 mSv, odnosno sa oko 1 % doze zračenja iz prirodnih radioaktivnih izvora.

Pri procjeni utjecaja malih doza zračenja na ljudsko zdravlje primjenjuje se vrlo konzervativna metoda linearne akstrapolacije poznatih efekata velikih doza. Statističkom obradom posljedica velikih doza zračenja na ljudsko zdravlje došlo se do zaključka da je kod ljudi koji su primili dozu zračelja od 1 Sv vjerojatnost smrti od raka u toku životne dobi povećana za oko 1 %, tj. na 100 ljudi ozračenih tom dozom treba očekivati jedan dodatni smrtni slučaj u toku prosječne životne dobi (oko 70 godina). Radi usporedbe treba uzeti u obzir da je vjerojatnost smrti od raka zbog prirodnih uzroka (tj. neovisno o postojanju nuklearnih postrojenja) oko 20 %, što znači da će od 100 ljudi 20 umrijeti od raka bez obzira na to da li su ozračeni od nuklearnih energetskih postrojenja ili nisu. Linearna hipoteza polazi od pretpostavke da je broj dodatnih smrtnih slučajeva zbog zračenja ovisan samo o ukupnom zračenju primljenom od grupe ljudi, a ne o visini doze pojedinca (što znači da je efekt isti ako npr. 10 ljudi primi dozu od 0.1 Sv svaki ili 1 000 ljudi dozu od 0.001 Sv svaki). Velik broj znanstvenika osporava tu pretpostavku smatrajući da su vrlo male doze zračenja manje opasne ili da čak postoji donja granica ispod koje one postaju neopasne.

Radioaktivnost u okolini termoelektrana

Okolina termoelektrana je također podvrgnuta dodatnom radioaktivnom zračenju zbog sadržaja prirodnih izotopa urana i torija u ugljenu (tablica 3).

Tablica 3. Radioaktivnost prirodnih radionuklida u ugljenu nekih zemalja

Zemlja	U-238 (Bq / kg)	Th-232 (Bq / kg)
SR Njemačka	15 – 40	5 – 20
Poljska	2 – 40	7 – 110
Velika Britanija (prosječno)	17	17
SAD	16 – 23	8 – 23
SSSR (prosječno)	28	***
Jugoslavija		
— Šoštanj	76	50
— Trbovlje	56	36
— Obrenovac	38	48
— Tuzla	12	46
— Plomin	533	21

Dimni plinovi termoelektrana sadrže izotope radija Ra-226 i Ra-228. Ti izotopi nastaju raspadom uranovi izotopa. Radioaktivnost koju emitira veća termoelektrana (reda 2 000 MW) za Ra-226 je oko 1.5×10^9 Bq i za Ra-228 oko 9.5×10^8 Bq. Izotop Ra-226 je veoma toksičan, toksičniji od stroncija 90 i stroncija 89.

Radioaktivni izotopi emitirani iz termoelektrana dovode u području 30 km oko termoelektrane do godišnjih doza zračenja od oko 1.14 mSv na koštano tkivo i oko 0.93 mSv na plućno tkivo (podaci iz SSSR-a, a slični su i iz drugih izvora). Doze su proporcionalne vlačini termoelektrane i sadržaju radionuklida u ugljenu. Među našim ugljenima vrlo visoke koncentracije radionuklida ima ugljen iz Plomina.

Utjecaj produkata izgaranja na okolinu

Iako emisije radionuklida iz termoelektrana nisu ni pošto zanemarive, osnovni negativni utjecaj tih objekata na okolinu potječe iz kemijskih produkata izgaranja (sumpor-dioksid, dušikovi oksidi, ugljik-monoksid i dioksid, teški metali, benzpiren, leteći pepeo itd.).

Za termoelektrane ložene našim lignitima vrijede sljedeći prosječni podaci za ispuštanje produkata izgaranja.

— sumpor-dioksid	14 – 15 g / kWh
— oksidi dušika	3 – 4 g / kWh
— ugljik-monoksid	0.1 g / kWh
— leteći pepeo oko	2 g / kWh.

Tipični lignit sadrži oko 1 % sumpora. Koncentracija sumpor-dioksida ovisi o sadržaju sumpora u pepelu, načinu odsumporavanja, veličini termoelektrane i visini dimnjaka.

Propisi većine zemalja traže ugradnju postrojenja za odsumporavanje i postrojenja za čišćenje dimnih pli-

nova termoelektrana od oksida dušika iako to bitno poskupljuje njihovu gradnju.

Zagađeni zrak u okolišu termoelektrana uzrokuje oboljenja dišnih organa i rak pluća. Postoji provjerna korelacija između koncentracije posebno opasnog 3.4 benzpirena u dimnim plinovima i broja oboljenja od raka dišnih organa.

Usporedba stvarnog rizika stanovništva i radnika termoelektrane i nuklearne elektrane iste snage treba obuhvatiti sve tehnološke faze: od iskopa rude i transporta rude do pogona elektrane i deponiranja otpada. Prema podacima iz Velike Britanije broj smrtnih slučajeva u rudnicima ugljena po jedinici proizvedene energije u elektrani 20 do 100 puta je veći nego u rudnicima urana. (Čak je i doza zračenja, ako se radi o rovskom kopu, i to prije svega zbog nakupljanja radona u rudniku više od 10 puta veća po jedinici energije za rudare u rudnicima ugljena nego u rudnicima urana.) Treba pritom, naravno, uzeti u obzir činjenicu da je količina ugljena koju po jedinici energije treba iskopati bitno veća od količine uranove rude.

Zasada ima malo detaljnih analiza koje uspoređuju rizik okoline zbog rada termoelektrane i nuklearne elektrane u normalnom pogonu uzimajući u obzir sve faze tehnološkog procesa. Jedna od takvih analiza izrađena je u SSSR-u. U toj se je analizi pokušalo sakupiti domaća i svjetska iskustva. Rezultat studije pokazuje da se odnos rizika, tj. odnos broja smrtnih slučajeva u okolini po jedinici proizvedene energije u termoelektrani i nuklearnoj elektrani, kreće između nekoliko desetaka do nekoliko stotina. Bez obzira na nesigurnosti u procjeni, nedvojbeno je da je rizik za zdravlje i život ljudi u okolini termoelektrane znatno viši nego u okolini nuklearne elektrane.

To vrijedi u normalnom pogonu. Obično se pritom postavlja pitanje što je u slučaju akcidenata.

Jedina nesreća u nuklearnim elektranama koja je rezultirala ljudskim žrtvama jest ona na nuklearnoj elektrani Černobil. Dr. Robert Gale (američki medicinski ekspert koji je radio u SSSR-u na liječenju ozračenih nakon havarije u NE Černobil, a ujedno se bavio analizama radioloških posljedica te nesreće) dao je neke informacije koje se odnose na usporedbu ekološkog utjecaja nuklearnih elektrana i termoelektrana uz uvaženje utjecaja akcidenata poput onog u Černobilu. Iako je dr. Gale poznat po konzervativnim procjenama posljedica zračenja (i zbog toga često citiran od protivnika nuklearne energetike), njegovo je mišljenje da bi supstitucija nuklearnih elektrana u SSSR-u, koje sada daju 11% električne energije, termoelektranama povećala u toku idućih 50 godina dodatni broj žrtava zbog rada elektrana za oko 50 puta. Pritom su uzete u obzir posljedice havarije u NE Černobil, ali se pretpostavlja da sličnih havarija u budućnosti neće biti.

Te se usporedbe odnose samo na izravan utjecaj nuklearnih elektrana i termoelektrana na ljudsko zdravlje. Utjecaj produkata izgaranja termoelektrana na biljni svijet (kisele kiše), kao i na globalnu ekologiju (efekt staklenika zbog emisije ugljik-dioksida u at-

mosferu) nije kvantificiran, iako upravo taj utjecaj može u budućnosti dovesti od ekološke katastrofe širokih razmjera.

HAVARIJE NA NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Kada se u javnosti govori o prihvatljivosti ili neprihvatljivosti nuklearnih elektrana s gledišta sigurnosti, obično se kao bitan faktor zaziranja od nuklearne tehnologije navode havarije na nuklearnim elektranama, pri čemu se neizostavno, kao izraziti primjer takve pojave, navodi havarija na nuklearnoj elektrani Černobil.

Zbog toga je korisno nešto detaljnije upoznati tu nuklearnu elektranu i okolnosti koje su dovele do nesreće.

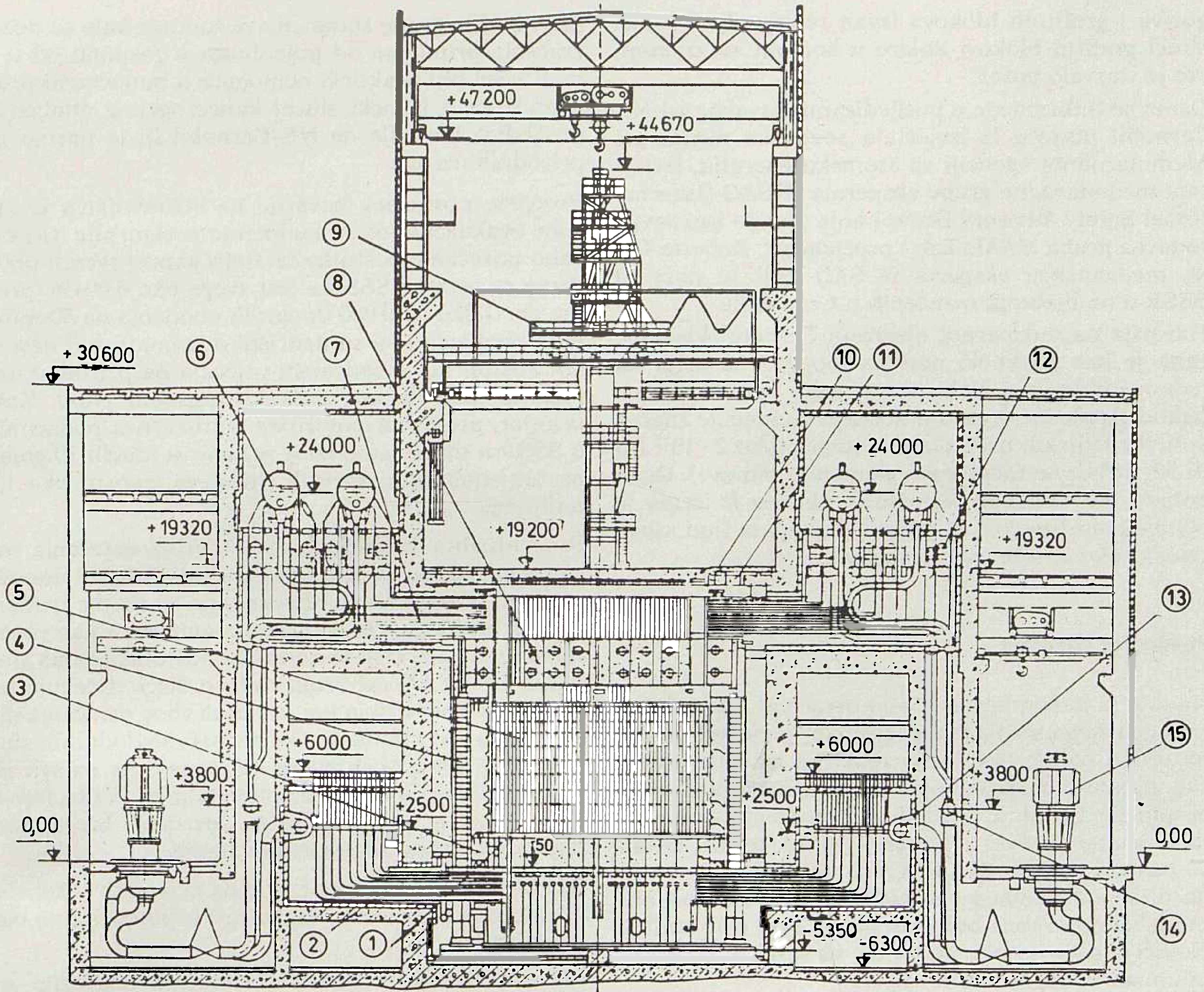
Tip reaktora nuklearne elektrane u Černobilu ne pripada ni u jedan od tipova koji se primjenjuju u nuklearnoj energetici izvan SSSR-a. To je reaktor koji se koristi grafitnim moderatorom i vodenim hlađenjem, a izvedbom podsjeća na reaktore prve generacije kojima je osnovni cilj bila proizvodnja fisibilnog plutonija i kod kojih se proizvedena energija smatra nusproduktom. U Sovjetskom Savezu se takvi reaktori upotrebljavaju u energetici i grade na više lokacija (tipično po 4 reaktora na lokaciji, od kojih po dva koriste istu turbogeneratorsku zgradu). Nuklearne elektrane s tim tipovima reaktora poznate su pod kraticom RBMK (reaktor boljšoj moćnosti kipjašči). Tipske snage elektrane s tim reaktorima su 1 000 MW i 1 500 MW (tzv. RBMK 1 000 i RBMK 1 500). Nuklearne elektrane RBMK 4 × 1 000 MW izgrađene su na 4 lokacije (Lenjingrad, Kursk, Černobil i Smolensk). Najstarija elektrana s ovim tipom reaktora izgrađena je nedaleko od Lenjingrada (u pogonu od 1974. godine). Nuklearne elektrane RBMK 1 500 grade se na novoj lokaciji (Ignalino)

Nuklearna elektrana Černobil 4 na kojoj se je dogodila havarija u pogonu je bila od kraja 1983. godine (slika 1).

Jezgra reaktora NE Černobil sastoji se od grafitnih blokova kroz koje prolazi 1 661 rashladni kanal koji sadrži nuklearno gorivo. Dimenzije grafitne jezgre su velike: promjer 12 m, a visina 7 m. U rashladnim kanalima jezgre cirkulira voda i djelomično isparava. Mješavina vode i pare iz svakog kanala skuplja se u kolektore i odlazi u separatore gdje se para s tlakom od oko 70 bara odvaja i šalje u turbinu. Preostalu vodu recirkulacijske crpke preko donjih kolektora vraćaju u reaktor. Gorivo je oksid obogaćenog urana. Izmjena gorivih elemenata obavlja se kontinuirano (bez obustave reaktora) pomoću stroja za izmjenu goriva na gornjoj platformi).

Sa sigurnosnog stajališta (posebno u vezi s nastankom i posljedicama havarije) bitno je primijetiti tri nepovoljne karakteristike ovog reaktora:

1. Reaktor pri niskim nivoima snage ima tzv. pozitivni koeficijent reaktivnosti parnih mjehurića (reaktivnost i snaga reaktora rastu s porastom sadržaja pare u rashladnim kanalima). Ova je okolnost



Slika 1. Presjek kroz reaktorsko postrojenje NE Černobil

- 1 — Reaktor
- 2 — ulazni rashladni cjevovodi
- 3 — donja biološka zaštita
- 4 — bočna biološka zaštita
- 5 — grafitni blokovi
- 6 — separatori pare
- 7 — izlaz rashladnog fluida iz reaktora
- 8 — gornja biološka zaštita

- 9 — stroj za izmjenu nuklearnog goriva
- 10 — gornja platforma
- 11 — potporna metalna konstrukcija gornje platforme
- 12 — uređaji za kontrolu nepropusnosti gorivih elemenata
- 13 — povratni cjevovod napojne vode
- 14 — tlačni kolektori
- 15 — cirkulacijska pumpa

odigrala bitnu ulogu u nastanku havarije u reaktoru.

2. Reaktor nema zaštitnu oblogu (tzv. kontejnment) koja štiti okolinu u slučaju ispuštanja radioaktivnih tvari iz primarnog dijela nuklearne elektrane.
3. Regulacija reaktora je dosta teška zbog prostorne nestabilnosti pri maloj snazi i zbog toga što regulacijske i zaustavne šipke sporo ulaze u jezgru.

Havarija na nuklearnoj elektrani Černobil 4 (četvrti blok) dogodila se u noći između 25. i 26. travnja 1986. Havarija je nastala kao posljedica nepravilno izvedenog testa kojim je trebalo pokazati da se rashladne pumpe reaktora mogu neko vrijeme napajati iz vlastitog generatora u slučaju ispada vanjske električne mreže. Da bi stvorili uvjete za izvođenje testa, operatori su doveli reaktor u područje male snage, u kojem je koeficijent reaktivnosti parnih mjehurića po-

zitivna, isključivši prethodno zaštitne sisteme (kako reaktor ne bi ispao iz pogona dok se test izvodi) i izvukli iz jezgre više regulacijskih šipki nego što propisi dozvoljavaju (kako bi snagu reaktora stabilizirali na nivou potrebnom za izvođenje testa). Nakon toga su isključili napajanje rashladnih pumpi (simulirajući ispad električne mreže).

Ovaj manevar je doveo do naglog smanjenja protoke i povećanja sadržaja pare u rashladnim kanalima, a snaga reaktora je, zbog pozitivnog temperaturnog koeficijenta reaktivnosti počela brzo rasti. Intervencija operatora da obustave reaktor bila je neuspješna zbog sporog ulaska apsorpcijskih šipki u jezgru.

Snaga reaktora je (prema proračunu) za 4 sekunde narasla na 100 puta veću vrijednost od nominalne. To je dovelo do udarnog tlačnog vala pare u rashladnim kanalima, eksplozije jezgre i izbacivanje dijela

goriva i grafitnih blokova izvan reaktorske zgrade. Vrući grafitni blokovi dolaze u kontakt sa zrakom, što je izazvalo požar.

Osnovne informacije o posljedicama havarije na NE Černobil potječu iz izvještaja sovjetske misije pri Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju, izvještaja međunarodne grupe eksperata INSAG (International Safety Advisory Group) koja djeluje kao savjetodavna grupa MAAE, kao i procjene dr. Roberta Gale, medicinskog eksperta iz SAD koji je radio u SSSR-u na liječenju ozračenih u Černobilu.

Havarija na nuklearnoj elektrani Černobil klasificirana je kao praktički najveća moguća havarija na jednoj nuklearnoj elektrani. U toku nekoliko dana nakon eksplozije reaktora došlo je do emisije znatne količine fizijskih produkata iz jezgre (oko $2 \cdot 10^{18}$ Bq ili $50 \cdot 10^6$ Ci ne računajući plemenite plinove). Osim gotovo 100% emisije plemenitih plinova iz jezgre je oslobođeno 10–20% hlapljivih elemenata (jod, cezij, telur) i oko 3–6% težih elemenata.

Posljedice havarije

Najviše je nakon havarije bilo ozračeno 300 radnika iz pogonskog osoblja i vatrogasne brigade koji su neposredno nakon eksplozije reaktora ušli u reaktorsku zgradu radi gašenja požara i sanacije posljedica eksplozije. Od tih je 31 naknadno podleglo od posljedica primljene doze zračenja i/ili opekotina. Ostali su poslani na bolničko liječenje. Bitno je primijetiti da nitko od okolnog stanovništva nije stradao niti mu je bila potrebna bolnička njega. Broj ozračenih u okolici mogao je biti manji da su se brže poduzele mjere zbrinjavanja stanovništva.

Oko 30 sati nakon eksplozije počela je evakuacija oko 135 000 ljudi iz naselja u okolici elektrane. Prema procjeni kolektivne doze radioaktivnog zračenja koje je primilo evakuirano stanovništvo iznosilo je prema izvještaju INSAG-a iz svibnja 1986. $1.6 \cdot 10^4$ čovjek-sieverta.

Na osnovi procjenjene doze i poznate statističke ovisnosti između doza zračenja i posljedica, očekivano povećanje broja fatalnih kancerogenih oboljenja kod evakuiranog stanovništva u narednih 70 godina jest 0.6%. Po toj osnovi treba u idućih 70 godina očekivati oko 160 dodatnih slučajeva smrti od raka među evakuiranim stanovništvom u odnosu na 27 000 prirodnih slučajeva tog oboljenja (što odgovara prije navedenoj 20. postotnoj vjerojatnosti smrti od kancerogenih oboljenja iz prirodnih uzroka).

Dr. Gale je, koristeći se drugim izvorima informacija, ocijenio integralnu dozu evakuiranog stanovništva na nešto veći iznos nego INSAG (na $2.2 \cdot 10^4$ čovjek-sievert), uz koju bi i postotak povećanja oboljenja od raka bio nešto veći (0.8% umjesto 0.6%).

Treba uzeti u obzir daje navedeni postotak oboljenja iz prirodnih uzroka raka podložan statističkim kolebanjima i nesigurnostima koje su mnogo veće od ocijenjenih povećanja tog postotka kod evakuiranog stanovništva. Iz te konstatacije proizlazi zaključak da će

čak i kod te grupe stanovništva (unutar koje su doze zračenja primljene od pojedinaca u rasponu od 0.1 do 0.5 Sv) biti praktički nemoguće u budućnosti procijeniti da li je neki slučaj kancerogenog oboljenja posljedica havarije na NE Černobil ili je nastao iz prirodnih uzroka.

Procjene posljedica havarije na stanovništvo izvan zone evakuacije još su kudikamo nesigurnije. Očekivano povećanje postotka fatalnih kancerogenih oboljenja za ostatak SSSR-a jest svega oko 0.004% (prema dr. Galeu u 20 000 dodatnih oboljenja na 50 milijuna oboljenja koji su neovisni o razmatranoj nesreći). Postoji niz mogućnosti utjecaja na prirodne uzročnike raka (hrana, pušenje, zagađeni zrak). Kao primjer, prema raspoloživim statističkim podacima u SSSR-u može samo zbog pušenja u idućih 70 godina broj dodatnih smrtnih slučajeva iznositi oko 10 milijuna.

Procentualno se najveći porast broja oštećenja od primljene doze zračenja među evakuiranim stanovništvom očekuje među djecom čije su majke trudnice bile ozračene. Oštećenje se manifestira kao mentalna retardacija čiji je normalni postotak prema statistici 0.8 do 1% od broja rođene djece. Očekuje se mogućnost povećanja tog postotka zbog ozračenja na 2 do 2,5%, što prema dr. Galeu znači 13 dodatnih slučajeva. Iz sovjetskih izvora se saznaje da su sva ta djeca rođena, da se nalaze pod stalnom kontrolom i da zasada nema indikacija za povećanje broja anomalija u odnosu na normalno stanje.

Bez obzira na to, neosporno je da je trudnice trebalo promptno i prioritarno evakuirati iz potencijalno ugrožene zone.

Pri razmatranju posljedica ozračenja obavezno se pažnja posvećuje i genetskim efektima. Prema stavovima međunarodnih ekspertnih grupa i institucija (INSAG, ICRP), kao i prema mišljenju dr. Galea, postotak dodatnih genetskih oštećenja zbog apsorbirane doze zračenja nekoliko je puta manji od postotka povećanja kancerogenih oboljenja. Na osnovi istog izvora proizlazi da postotak genetskih defekata pri normalnoj populaciji iznosi oko 10%, tj. od 3,5 milijarde ljudi na sjevernoj hemisferi (statistički) njih 350 milijuna ima genetske anomalije bez obzira na nuklearne elektrane). Dodatni broj genetskih anomalija koji je uzrokovan havarijom u Černobil procjenjuje se na 17 000 (povećanje od 0.0048%).

Pri interpretaciji ovih brojki potreban je oprez jer su one uglavnom zasnovane na nesigurnoj procjeni dugoročnih efekata malih doza zračenja.

Takvi podaci se često koriste za manipulaciju s javnim mišljenjem. Ako bi se, primjera radi, ista metoda procjena posljedica zračenja primijenila na određivanje dodatnog broja smrtnih slučajeva u sjevernoj hemisferi u toku idućih 70 godina zbog medicinske dijagnostike i terapije (prosječna doza pojedinca je prema tablici 2. 0.4 mSv godišnje) dolazi se do brojke od jednog milijuna. Ovo je gotovo 25 puta više od broja žrtava koje, prema dr. Galeu, u istom razdoblju prouzročiti posljedice Černobilske katastrofe.

Isti odnos, naravno, vrijedi i za broj genetskih anomalija.

Prema najnovijim analizama i mjerenjima sovjetskih eksperata izlazi da su doze stanovništva procijenjene neposredno nakon nesreće na NE Černobil, bile previsoke. Prof. dr. Iljin, potpredsjednik Medicinske akademije nauka SSSR-a nedavno je izjavio da su stvarne doze unutrašnjeg zračenja od cezija 137 10 do 20 puta niže, a vanjske doze oko 2 puta niže od očekivanih. Na osnovi tih podataka će, naravno, i procjene o posljedicama zračenja biti odgovarajuće niže.

Povoljna je okolnost što svaki kvar na nuklearnim postrojenjima dovodi do široke mobilizacije svjetske stručne javnosti na analizama i prevenciji mogućnosti ponavljanja takvog ili sličnih kvarova. Akcije u nacionalnim okvirima i međunarodnom planu poslije kvarova na nuklearnim elektranama Otok tri milje i Černobil upućuju na ozbiljnost i dalekosežnost mjera koje su poduzete ili su u fazi provedbe. Svaki ozbiljniji kvar na nuklearnim postrojenjima povlači lavinu istraživačko-analitičkih aktivnosti koje do najveće razumno moguće mjere smanjuju vjerojatnost ponavljanja okolnosti koje su dovele do kvara, a time i rizik od pogona nuklearnih postrojenja.

Slično se postupa i u mnogim drugim područjima visokih tehnologija (npr. u avionskoj industriji i astronautici). Nasuprot tome, za mnoge se klasične nesreće smatra da su posljedica više sile i ne izazivaju nikakve posebne akcije.

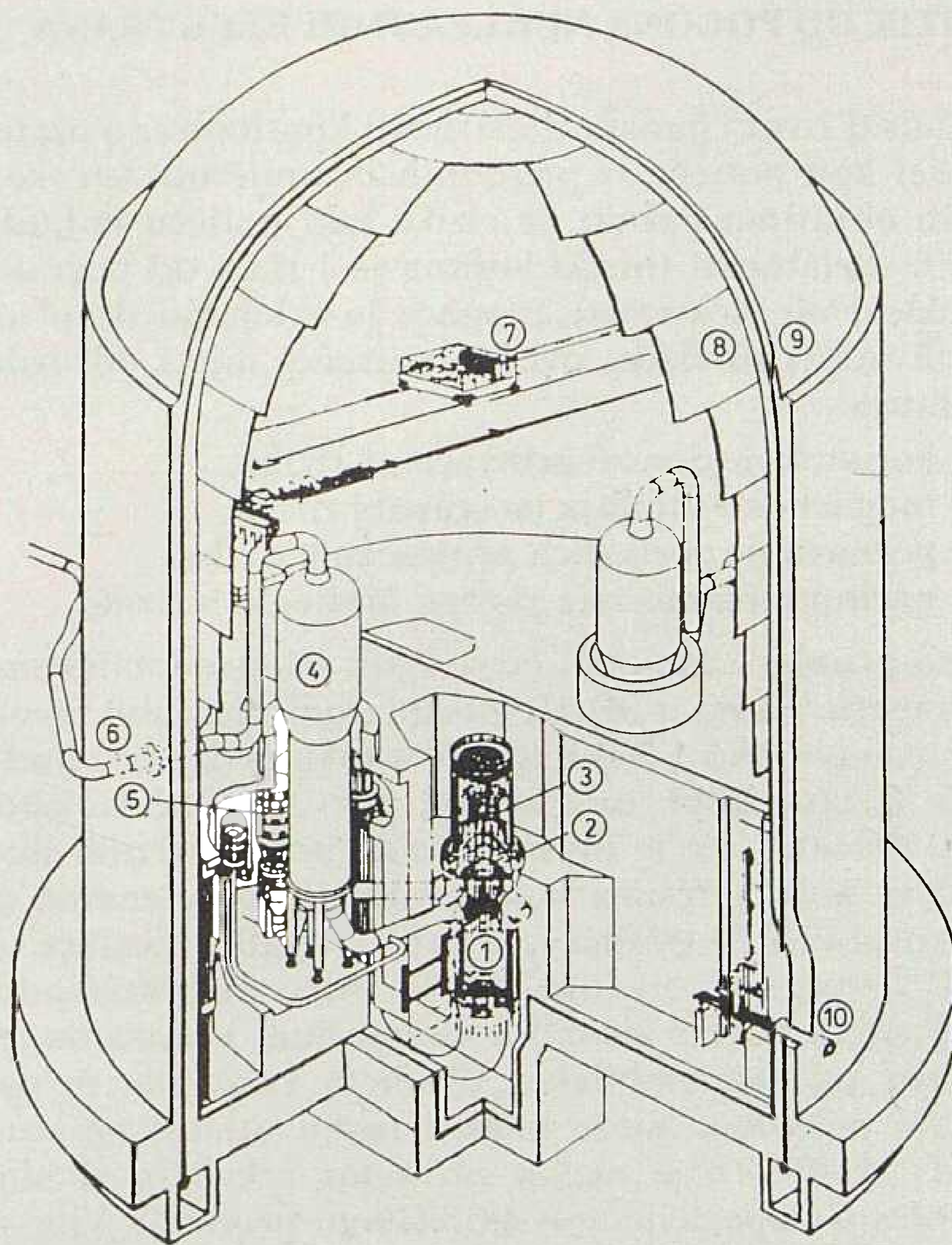
Sigurnost NE Krško s aspekta posljedica havarije u NE Černobil

Pri razmatranju posljedica potencijalnih havarija u nuklearnim elektranama za našu zemlju, a posebno nakon opisanih događaja na nuklearnoj elektrani u Černobilu, normalno se postavlja pitanje u kojoj bi mjeri naša nuklearna elektrana u Krškom mogla biti uzročnikom takvog nemilog događaja.

Nuklearna elektrana Krško jest elektrana s tlakovodnim reaktorom (PWR), koji je prije opisan, i svojim tehničkim karakteristikama bitno se razlikuje od nuklearne elektrane u Černobilu (slika 2).

Reaktor je građen i moderiran običnom vodom, što omogućuje kompaktnu izvedbu (jezgra je promjera oko 3 m, kod NE Černobil 12 m) i stabilne karakteristike. Lako se drži pod kontrolom, sadrži 33 apsorpcijske šipke (NE Černobil 211), koje po potrebi brzo ulaze u jezgru radi gašenja nuklearne reakcije (vrijeme ulaza šipki u jezgru je oko 2 s, kod NE Černobil oko 16 s). Reaktor nuklearne elektrane u Krškom ima u svim pogonskim uvjetima negativan temperaturni koeficijent reaktivnosti moderatora (što je tehnički uvjet da elektrana uopće može ući u pogon). Negativni temperaturni koeficijent reaktivnosti fizikalno ograničava nekontrolirano povećanje snage reaktora, a zbog toga i nastanak havarije kakva se dogodila na nuklearnoj elektrani u Černobilu.

Veoma je bitno, nadalje, primijetiti da nuklearna elektrana Krško (za razliku od nuklearne elektrane u



Slika 2. Nuklearna elektrana Krško

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 1 — reaktor | 6 — izlazni parovod |
| 2 — reaktorska posuda | 7 — polarni kran |
| 3 — upravljanje regulacionim šipkama | 8 — čelični kontejnment |
| 4 — parogeneratori | 9 — betonski kontejnment |
| 5 — cirkulaciona pumpa | 10 — izlazni kanal za gorivo |

Černobilu) ima reaktor i komponente primarnog kruga zatvorene u nepropusnoj čeličnoj posudi (tzv. kontejnment), čiji je zadatak zaštititi okolinu u slučaju ispuštanja radioaktivnosti iz reaktorske jezgre.

Iz navedenih razloga evidentno je da kvar koji se dogodio na nuklearnoj elektrani u Černobilu nije relevantan za tip reaktora kakav ima naša nuklearna elektrana.

Sve to, naravno, ne znači i da na NE Krško ne treba intenzivno nastaviti s aktivnostima koje vode povećanju sigurnosti pogona elektrane i sigurnosti okoline, ponajprije na:

- poboljšanje obuke i uvjeta rada operatora i drugog pogonskog osoblja radi smanjenja vjerojatnosti kvara zbog ljudskog faktora
- poboljšanju nadzora nad kvalitetom opreme i sistema u toku pogona elektrane
- intenziviranju rada na determinističkim i probablističkim analizama sigurnosti radi utvrđivanja scenarija mogućih kvarova, te vjerojatnosti njihovog nastanka i njihovih posljedica
- poboljšanju spremnosti osoblja elektrane i okoline za što veće smanjivanje posljedica mogućih kvarova.

RIZIK OD POGONA NUKLEARNIH ELEKTRANA

Ljudski život i ljudske djelatnosti kontinuirano prate rizici koji potječu iz prirodnih ili umjetnih uzroka. Ako obratimo pažnju na rizike koji potječu iz ljudskih djelatnosti (među kojima je i rizik od pogona nuklearnih elektrana), moguće je zaključiti da nivo prihvatljivosti rizika ovisi u najvećoj mjeri od ovih faktora:

1. koristi koje donosi prihvaćanje rizika,
2. mogućnosti utjecaja na stupanj rizika,
3. poznavanje posljedica prihvaćanja rizika,
4. načinu informiranja javnog mnijenja o riziku.

Kao primjer razmotrit će se rizik u automobilskom prometu. Samo u SR Hrvatskoj godišnje gubit život u prometu oko 1 200 ljudi, ili u toku prosječne ljudske životne dobi, uz sadašnji nivo saobraćaja, oko 100 000 ljudi, što je znatno više od broja smrtnih slučajeva koji će prema konzervativnim procjenama u toku idućih 70 godina izazivati posljedice nesreće u NE Černobil u cijelom svijetu. Nivo prihvatljivosti tog rizika vrlo je visok jer većina ljudi smatra da je korist od automobilskog prometa značajna, te da svaki pojedinac može imati izravan utjecaj na stupanj rizika. To je razlog što nema nikakvih javnih protesta i opozicije automobilskom prometu. Vjerojatno toga ne bi bilo da je broj smrtnih slučajeva i nekoliko puta veći.

S druge strane, nivo prihvatljivosti rizika u avionskom prometu mnogo je niži jer pojedinac na stupanj rizika ne utječe.

Kod nuklearnih elektrana nivo prihvatljivog rizika ekstremno je nizak jer znatan broj ljudi nije uvjeren da su one nužne. Pojedinac ne može utjecati na rizik, a karakter rizika je, prema mišljenju znatnog broja ljudi, nedovoljno poznat.

Nasuprot tome, nivo prihvatljivog rizika kod termoelektrana je bitno viši jer su već generacije stekle navike na zagađenje zraka proizvodima izgaranja (tj. smatra se da se radi o poznatom riziku), bez obzira na to što je objektivno, rizik smrti u okolini termoelektrana nekoliko desetaka do nekoliko stotina puta veći nego u okolini nuklearnih elektrana i što su posljedice radijacije na ljudsko zdravlje bolje istražene od posljedica mnogih kemijskih polutanata.

Kad se govori o informiranju javnog mnijenja o riziku, treba primijetiti sljedeće:

Nesumnjivo je da postoje određeni razlozi i interesi za namjerno poticanje javnog mnijenja protiv nuklearne energetike.

Nuklearna energija je u svijesti ljudi povezana s eksplozijama atomskih bomba krajem drugoga svjetskog rata, što je stvorilo potencijalnu predispoziciju za zaziranje javnosti od tog novog energetskeg izvora. Međutim, bez obzira na to, nuklearna energetika se u poslijeratnom razdoblju ubrzano razvijala u mnogim zemljama (uključivši i našu). U ranim 50-im godinama osnivaju se mnogi nuklearni instituti, grade istraživački nuklearni reaktori, istražuju nuklearne sirovine i planiraju gradnje eksperimentalnih

nuklearnih elektrana. I u našoj zemlji su u tom razdoblju izgrađena tri eksperimentalna nuklearna reaktora — dva u Vinči i jedan u Ljubljani. I tada je bilo dosta kvarova na nuklearnim postrojenjima koji su rezultirali ozračenjem ljudi i okoline. Među najpoznatijim nuklearnim akcidentima su bili onaj u Windscaleu (Velika Britanija) i na reaktoru RB u Vinči. Unatoč tome u sve to vrijeme nije bilo nikakvog uznemiravanja ni protesta javnosti zbog razvoja nuklearne energetike.

Zahvaljujući svim tim naporima i istraživanjima, sredinom 60-ih godina nuklearne elektrane dosižu svoju tehničku i komercijalnu zrelost. Ta su postrojenja tada po svojim performansama, sigurnosnim karakteristikama i ekonomskim pokazateljima postala privlačna za primjenu u elektroprivredi. Mnoge se elektroprivredne organizacije u SAD i drugdje počinju zanimati za gradnju nuklearnih elektrana. Tek nakon toga (u 1969. godini) se u SAD (u Kaliforniji) pojavljuju prvi napisi protiv gradnje tih objekata.

Pojava nuklearne energetike kao tehnički zrelog i ekonomski prihvatljivog energetskeg izvora ugrozila je interese i monopol na tržištu energije nosilaca klasičnih energetskeg izvora (to su ponajprije velike naftne kompanije u SAD i ugljene korporacije u Evropi).

Kao potvrda tim stavovima može poslužiti situacija u Japanu, gdje danas postoji 35 nuklearnih elektrana u pogonu i 10 u gradnji i gdje, iako je jedino ta zemlja osjetila posljedice primjene nuklearnog oružja, nema veće interne opozicije razvoju nuklearne energetike. Siromaštvo u energetskeg izvorima u Japanu nije dozvolilo stvaranje unutarnje opozicije čije bi ekonomske interese ugrožavala nuklearna energetika.

Najefikasniji način borbe protiv ovog novog energetskeg izvora jest korištenje potencijalnog straha javnosti od nuklearne energije. Program akcija protiv nuklearne energetike bio je vrlo djelotvoran. Trebalo je najprije angažirati nekoliko bivših službenika nuklearnih institucija, čiji ugled garantiraju naučne kvalifikacije, da posiju sumnju u sigurnost nuklearnih elektrana. Koristeći tako dobivene podloge, pokrenute su protestne akcije niza neformalnih grupa, prvenstveno mladih, koji su i inače protestirali protiv svih vladinih akcija.

Da bi odgovorili ovom izazovu, vladini regulatorni organi postavljaju sve nove i nove zahtjeve na nuklearne elektrane (posebno nakon kvara na elektrani Otok tri milje). Njihova se gradnja produžuje i zbog toga postaju sve skuplje, pa interes elektroprivrede za njihovu gradnju opada.

Kampanja protiv nuklearnih elektrana prenosi se nakon otprilike 5 godina iz SAD u Zapadnu Evropu, a naknadno iz nje i na našu zemlju. U Evropi se stvari dodatno kompliciraju jer osim onih koji za to imaju ekonomskih interesa, i političke partije u opoziciji nastoje iskoristiti protivnike nuklearne energije u borbi za vlast.

Jasno da u takvim odnosima prihvatljivost nuklearnih elektrana postaje neizvjesna, jer ne ovisi o njihovim tehničkim ni ekonomskim parametrima.

Prihvatljivost rizika od pogona nuklearnih elektrana moguće je postići jedino uvjerenjem javnosti da su one nužne i da je rizik od njihova rada manji od rizika bilo kojeg alternativnoga energetskeg objekta.

LITERATURA

- [1] Reactor Safety Study USNRC WASH-1400 (NUREG 75/014)
- [2] German Risk Study, EPRI NP — 1804 — SR
- [3] Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident saf. series 75 INSAG 1
- [4] The health impact of Chernobyl-an interview with Dr R. Gale, Nucl. Europe 5 / 87.
- [5] Jadernaja energetika, celavjek i okruzajuscaja sreda Energoizdat, Moskva, 1981.
- [6] M. MESAROVIC, »Usporedna analiza utjecaja nuklearnih i klasičnih elektrana na okolinu«, Čovjek i životna sredina 5 / 1980.
- [7] A. BAUMAN, J. KOVAČ, »Tehnološki povišena prirodna radioaktivnost u termoelektranama na ugalj, Čovjek i životna sredina 9 / 1984.
- [8] Comparing the hazards of coal and uranium mining ATOM, March 1987.

NUCLEAR POWER PLANT AND IMPACT ON THE ENVIRONMENT

In the article is analyzed a risk of nuclear power plant and it is compared with risks of other human activities. From the stand point of normal operation it is compared a nuclear power plant and thermal power plant on coal. It is described the accident of NPP Chernobil and differances of that reactor type to the one in NPP Krsko.

KERNKRAFTWERKE UND IHR EINFLUSS AUF DIE UMWELT

Man analysiert das Risiko bezüglich der Kernkraftwerke, verglichen mit den Risiken bezüglich anderer menschlichen Aktivitäten. Vom Standpunkt des normalen Betriebes werden Kernkraftwerke und Wärmekraftwerke mit Kohlebetrieb verglichen. Das Unglück von Tschernobyl wird beschrieben sowie der Unterschied zwischen diesem Reaktortyp und desjenigen in Krško.

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Проанализирован риск, вызываемый атомными электростанциями, и сравнивается с рисками, вызываемыми другими деятельностью людей. С точки зрения нормальной эксплуатации сравниваются атомные электростанции и тепловые электростанции на угле. Описана авария АЭС Чернобыль, а также различие того типа реакторов от реактора, имеющегося на АЭС «Кршко».

Naslov pisca:

Prof. dr. Danilo Feretić, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet
41000 Zagreb, Unska 17,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
 1987-09-5



»Dalekovođ« Elektroprivredna radna organizacija za projektiranje, gradnju, montažu i proizvodnju

Proleterskih brigada 37, telef. 511-455, 513-822

Novi rasvjetni stupovi serije SUN

Na osnovi dugogodišnjeg iskustva pri izradi poligonalnih limenih stupova razvijena je serija stupova uzdužno usadnih. Osnovno obilježje SUN stupova je usadno nastavljanje segmenata, navlačenjem gornjeg segmenta na donji. Sigurnost ovakvog nastavka je provjerena ispitivanjem prototipa, što je dokumentirano atestom Građevinskog instituta iz Zagreba.

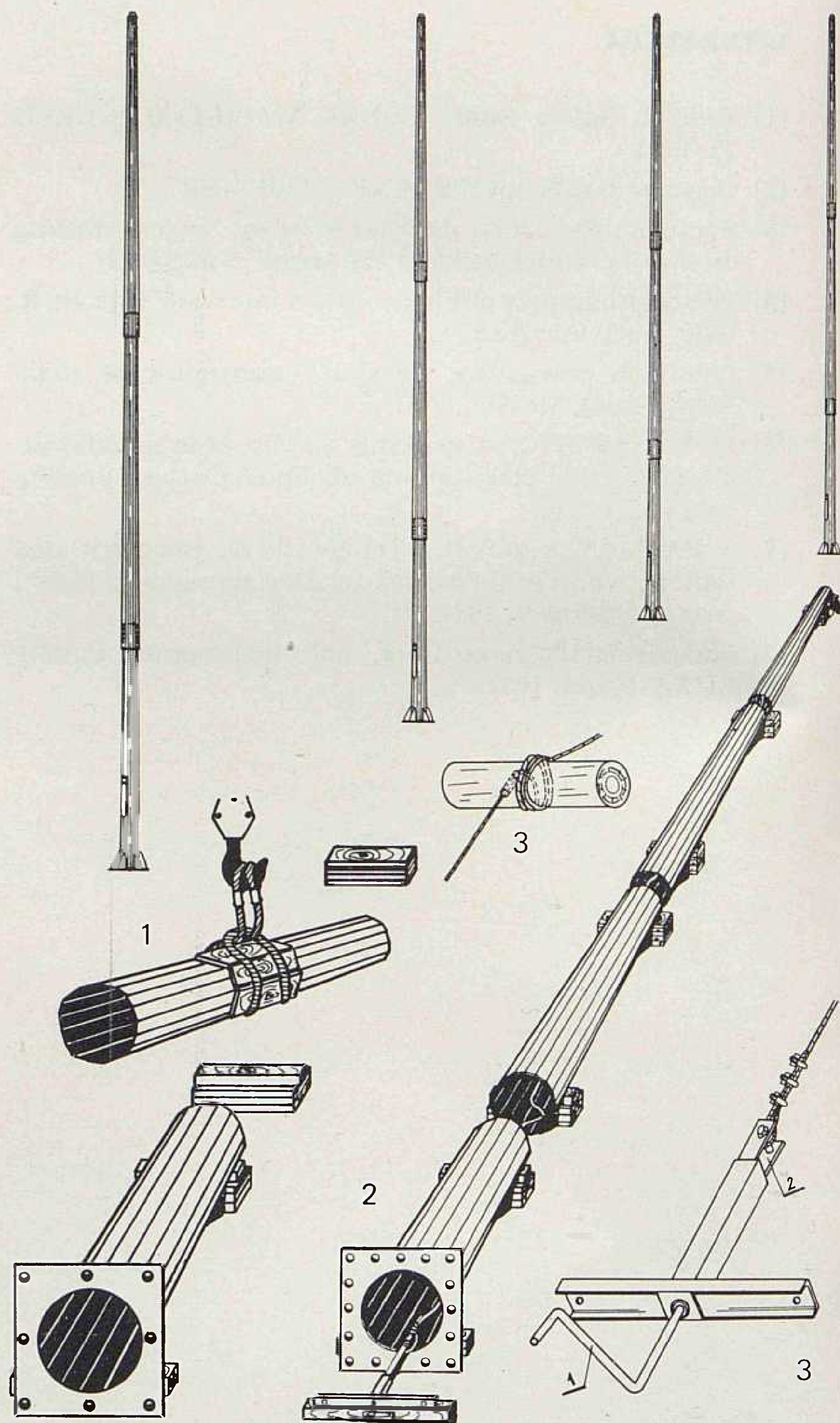
Serijski SUN obuhvaća stupove visine 14, 15, 16, 18 i 20 m. Za svaku visinu imamo više tipova zbog različitog opterećenja koje stup može nositi. Materijal stupova je čelik, a antikoroziivna zaštita je vrućim cinčanjem.

Namjena stupova je mnogostruka: rasvjeta prometnica, rasvjeta industrijskih pogona, rasvjeta luka i skladišta, gromobranska zaštita, nošenje antena i sl.

Isporuka stupova SUN sadrži:

- isporuku stupa s temeljnim vijcima
- isporuku opreme.

Oprema ovisi o namjeni stupa i u narudžbi je treba specificirati. Isporučujemo: rasvjetne košare, nasadnike za svjetiljke, gromobranske hvataljke, ljestve s leđnom zaštitom.



OTOK TRI MILJE I ČERNOBIL

Vladimir Vuković, Zagreb

UDK 621.039.52 : 577.4

STRUČNI RAD

Sličnost dramatične obustave rada ovih dviju velikih nuklearnih energetske jedinice, a različitost s obzirom na posljedice i projekt reaktora i njegovih sigurnosnih i zaštitnih sistema bila je poticaj za ovaj članak koji obuhvaća:

- projekt reaktora i reaktorskih sistema s komparacijom funkcija
- analizu okolnosti koje su dovele do akcidenta s kronologijom razvoja događaja, te
- kratkoročne i dugoročne posljedice izazvane akcidentima.

S obzirom na općenito slabije poznavanje eksplodiranog reaktora u Černobilu, u komparativnom tretmanu veća će se pažnja posvetiti ovom tipu reaktora.

Ključne riječi: nuklearna elektrana, reaktor, nuklearna sigurnost.

PROJEKT REAKTORA I REAKTORSKIH SISTEMA S KOMPARACIJOM FUNKCIJA

1. Uvod

U ranim jutarnjim satima 28. ožujka 1979. došlo je do kvara na jedinici broj 2 nuklearne elektrane Three Mile Island (TMI-2), koji se tada ocjenjuje kao najteži akcident u povijesti eksploatacije komercijalnih nuklearnih elektrana u Americi. Za Komisiju predsjednika Cartera izrađena je studija u kojoj se (u ono vrijeme) procjenjuju troškovi akcidenta na 1 do 2 milijarde dolara, uz pretpostavku da bi reaktor bio osposobljen za pogon do siječnja 1983, odnosno u pesimističkoj varijanti do siječnja 1985. Ta se predviđanja nisu ostvarila, a što se zapravo događalo, vidjet će se kasnije.

Sedam godina nakon ovog akcidenta na drugom kraju Zemlje, u Ukrajini, u noći od 25. na 26. travnja eksplodirao je reaktor, srušena je reaktorska zgrada i poginulo je tridesetak ljudi. U oba slučaja dogodilo se nešto neočekivano, nešto (ne)moguće. Ako jednom sve padne u zaborav, čovječanstvu će ostati pouke koje će biti iskorištene i neiskorištene.

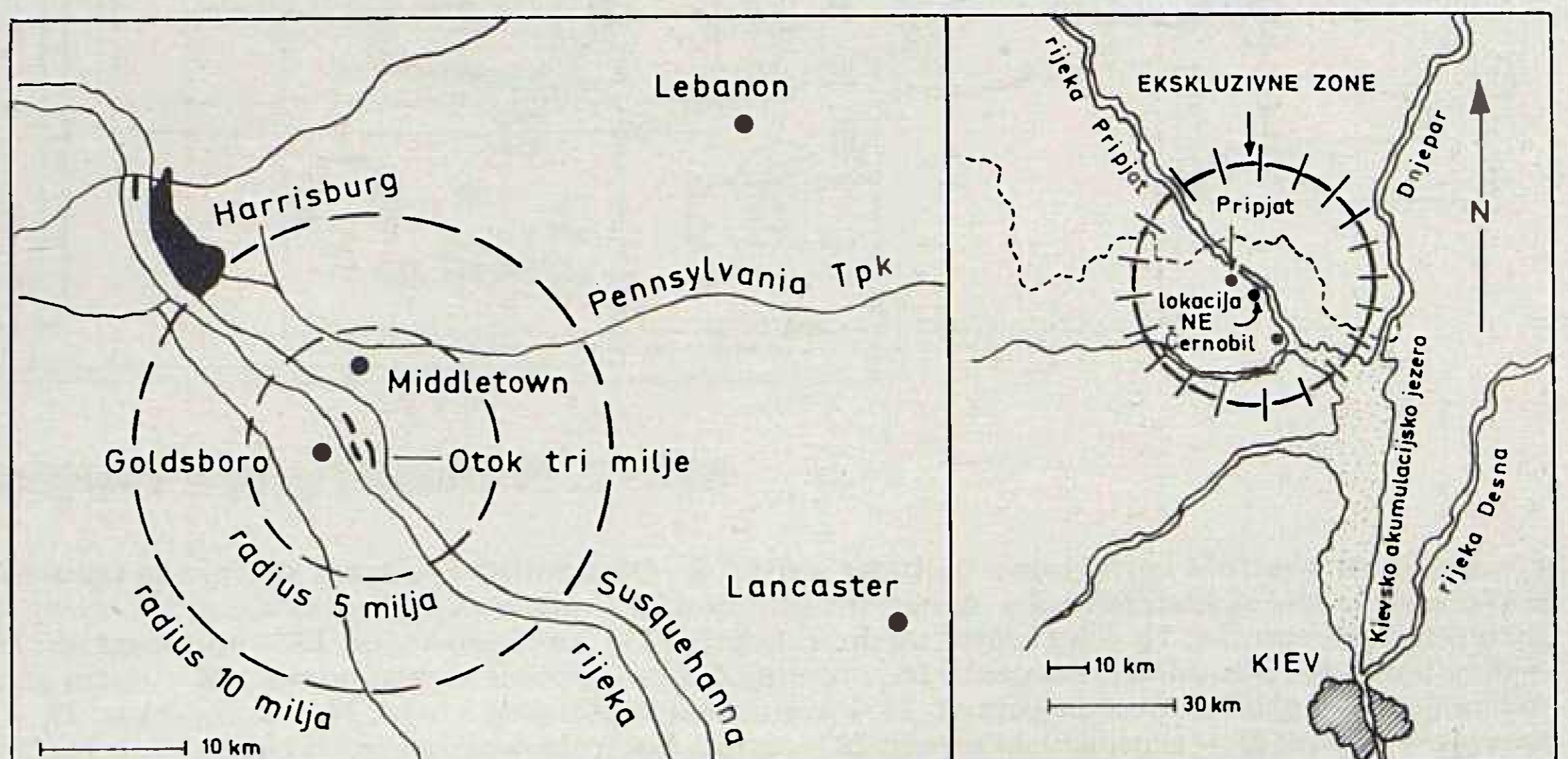
2. Lokacija i tehničke karakteristike

Na slici 1. prikazane su lokacije ovih elektrana. Američka elektrana je locirana na otoku Three Mile Island rijeke Susquehanna, oko 10 milja jugoistočno od grada Harrisburga u Pennsylvaniji.

Sovjetska elektrana smještena je oko 15 km sjeverozapadno od Černobila ili oko 100 km sjeverno od Kijeva na rijeci Pripjat u Ukrajini. Velik dio doline između Pripjata i Dnjepra ograđen je da se dobije prostorni vodni rezervoar za hlađenje elektrane.

U tablici 1. dani su osnovni podaci tehničkih karakteristika oštećenih reaktorskih jedinica TMI-2 i Černobil-4.

Interesantno je napomenuti da su oba reaktora stavljena u pogon relativno kasno, dakle s relativno mnogo iskustva u nuklearnoj energetici. Ipak, černobilski reaktor je poseban tip postrojenja, bez međunarodnog iskustva, specijalne konstrukcije s dosta komplikiranim upravljanjem. Prva jedinica puštena je u eksploataciju u Lenjingradu 1974. godine, da bi deset godina kasnije reaktor iste snage i četvrti po redu u Černobilu bio stavljen u pogon 1984. godine.



Slika 1. Lokacija Three Mile Island i černobilske elektrane

Tablica 1. Karakteristike postrojenja TMI-2 i Černobil-4

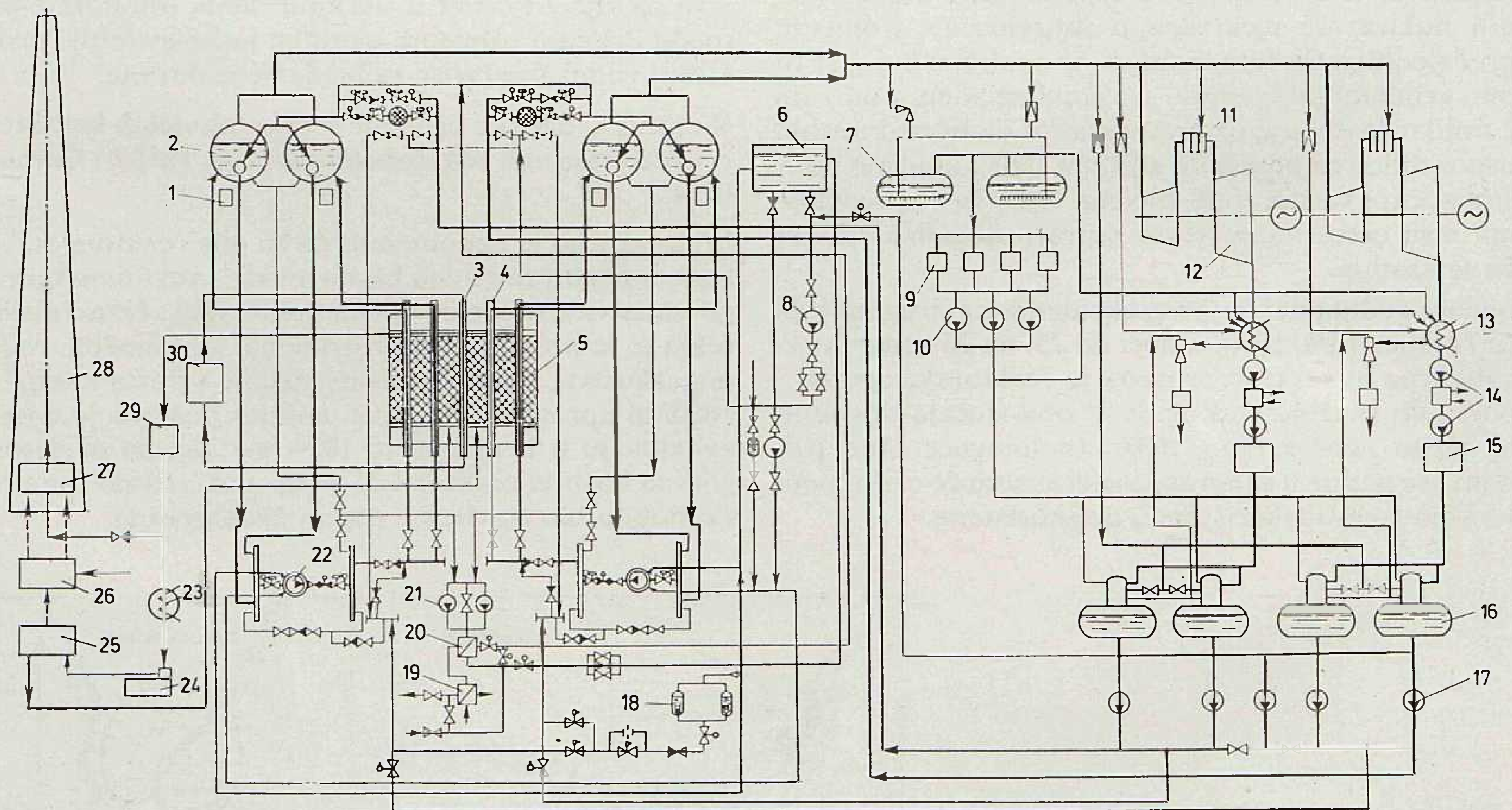
	NE Černobil	Postrojenje TMI-2
Broj jedinica u eksploataciji	4	2
Termička snaga reaktora	3 200 MWt	2 788 MWt
Godina početka rada reaktora	1984.	1978.
Snaga turboagregata po reaktoru	2 × 500 MWe	1 × 926 MWe
Tlak pare pred turbinom	65 kp/cm ²	62 kp/cm ²
Temperatura svježe pare	280 °C	293 °C
Protok svježe pare	5800 t/h	5300 t/h
Debljina zida reaktorske zgrade	—	1,22 m
Nazivni tlak reaktorske zgrade	—	4,20 kp/cm ²
Promjer otvora za opremu	—	7,00 m
Projektant elektrane	—	Burns & Roe
Proizvođač reaktora	—	B & W
Proizvođač jezgre	—	B & W
Proizvođač optočnih pumpi	—	Westinghouse
Proizvođač goriva	—	B & W
Proizvođač parnog sistema	—	B & W
Proizvođač turbine	—	Westinghouse

3. Reaktor s optočnim sistemom

3.1. RBMK (Reaktor Boljšoj Moščnosti Kipjaščij) reaktorski sistem s ostalom opremom jedne energetske jedinice shematski je prikazan na slici 2. Na slici 3. dan je presjek kroz reaktorsku i turbinsku zgradu s rasporedom glavne opreme, dok slika 4. prikazuje razmještaj opreme prostorno.

RBMK-1000 je oznaka za kanalni vrelovodni reaktor električne snage 1 000 MWe, moderiran grafitom. Sastoji se od vertikalnih tlačnih cijevi kroz koje cirkulira (djelimično isparava) hladilo. U 1 661 cijev smješteni su snopovi goriva, a u 211 cijevi kontrolni i zaštitni uređaji (Černobil-4). Sve su te cijevi smještene u vertikalne provrte od grafita, koji u horizontalnom presjeku čine kvadratnu rešetku s korakom 250 mm (slika 5).

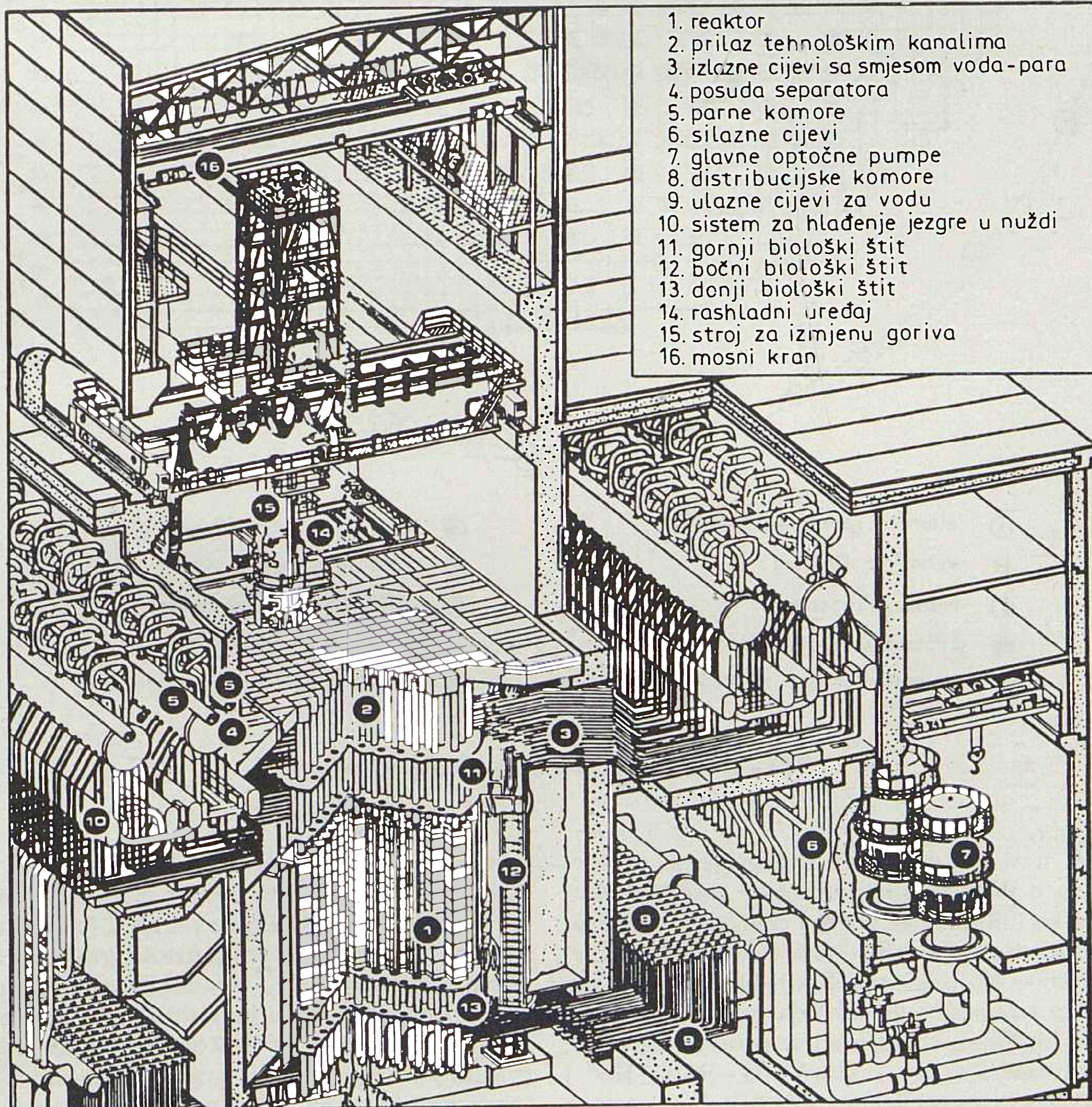
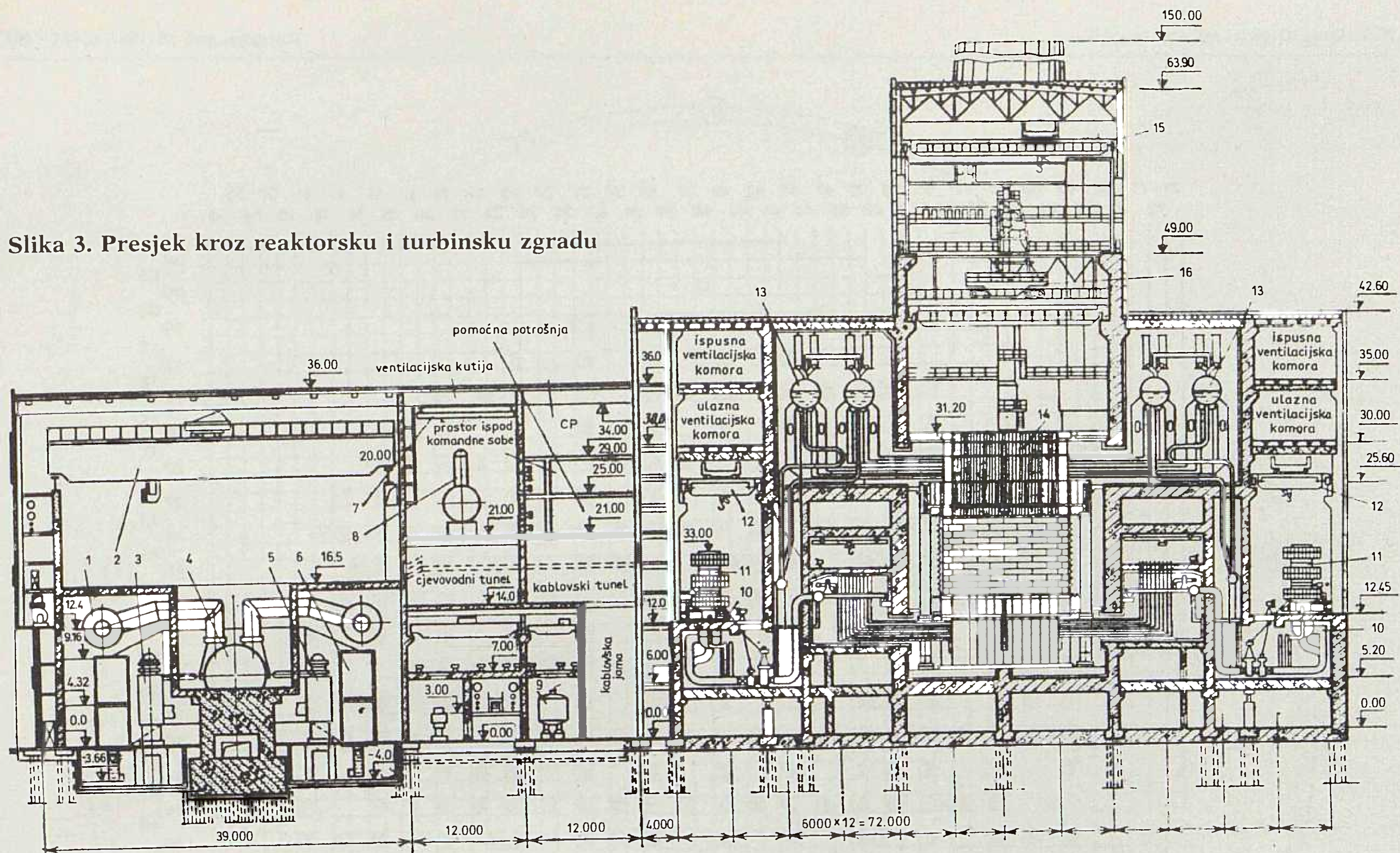
Reaktor je opremljen sa dva identična optočna kruga koji se sastoje od cirkulacijskih pumpi (3 u radu i 1 rezervna po svakom krugu), paralelnih vertikalnih tlačnih cijevi, separatora pare i sistema cjevovoda s pomoću kojih se cirkulacijski krug povezuje i zatvara. Slika 6. prikazuje reaktor u vertikalnom presjeku. Jezgra, u obliku vertikalnog cilindra, ima ekvivalentni promjer 11,8 i 7 m visine. Bočno i na krajevima obložena je grafitnim reflektorima debljine 1 m, odnosno 0,5 m. Tlačna cijev s grafitnim stupom, u čijoj se osi cijev nalazi, naziva se energetskim kanalom. Grafitni stupovi su sastavljeni od grafitnih blokova (250 mm × 250 mm × 600 mm visine) s provrtima



Slika 2. Shematski prikaz energetskog bloka

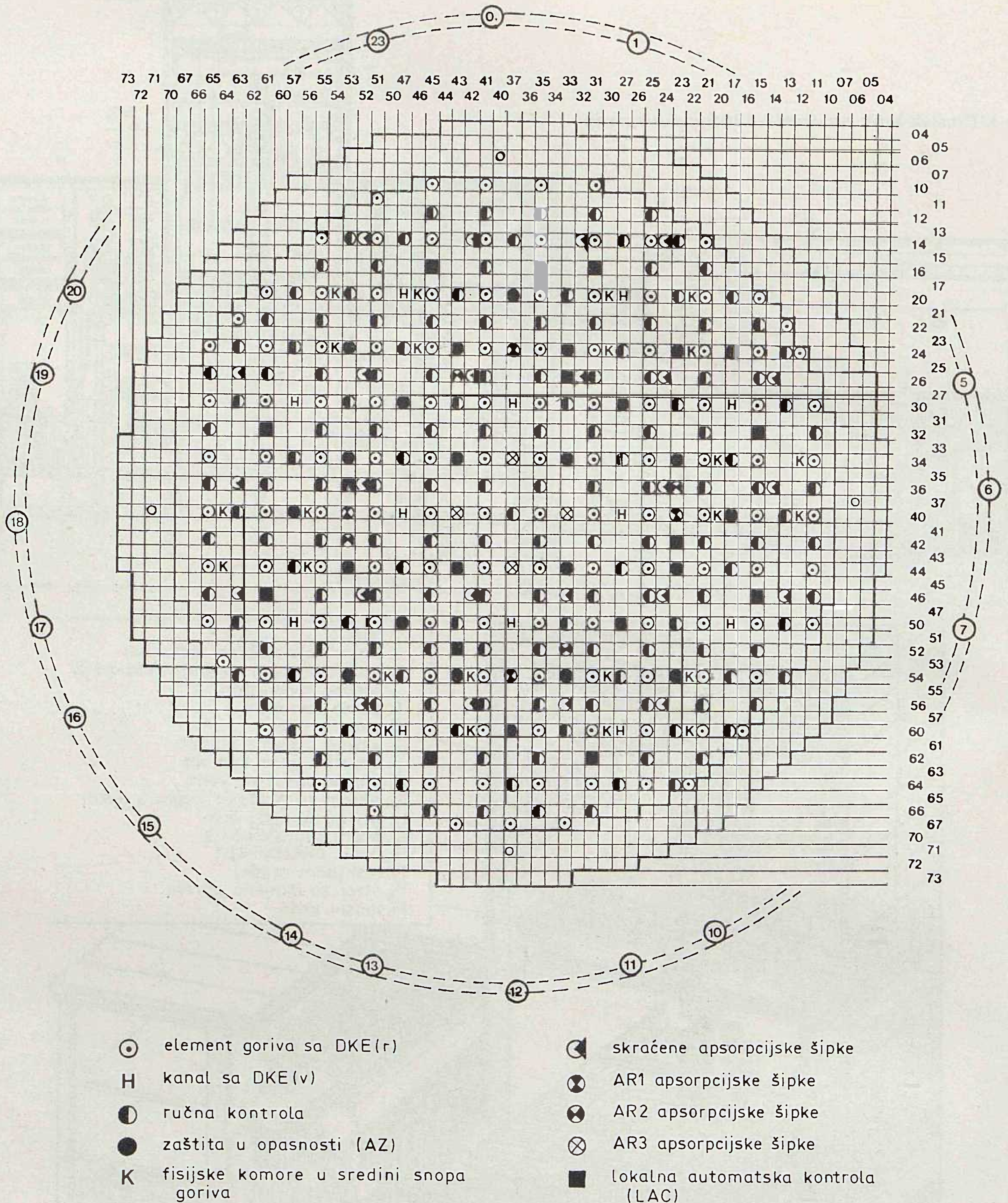
1 — sistem za kontrolu hermetičnosti obloge goriva; 2 — separator; 3 — kanal sistema za upravljanje i zaštitu; 4 — energetski kanal; 5 — reaktor; 6 — spremnik napojne vode za slučaj akcidenta; 7 — rasteretni spremnik; 8 — napojna pumpa za slučaj akcidenta; 9 — kondenzatori rasteretnih spremnika; 10 — pumpe kondenzata rasteretnih spremnika; 11 — separator međupregrijač; 12 — turbogenerator; 13 — kondenzator; 14 — kondenzatorske pumpe prvog i drugog stupnja; 15 — zagrijači niskog tlaka (pet posredno sjedinjeni); 16 — otplinjač; 17 — napojne elektropumpe; 18 — tlačni akumulatori; 19 — dohladivači; 20 — regeneratori; 21 — pumpe za ohladivanje; 22 — glavna optočna pumpa; 23 — kondenzator plinskog kruga; 24 — kompresor; 25 — postrojenje za čišćenje helija; 26 — spremnik za plin; 27 — mokri spremnik za plin; 28 — ventilacijski toranj; 29 — sistem kontrole nepropusnosti energetskih kanala; 30 — pumpni izmjenjivač topline sistema upravljanja i zaštite

Slika 3. Presjek kroz reaktorsku i turbinsku zgradu



1. reaktor
2. prilaz tehnološkim kanalima
3. izlazne cijevi sa smjesom voda-para
4. posuda separatora
5. parne komore
6. silazne cijevi
7. glavne optočne pumpe
8. distribucijske komore
9. ulazne cijevi za vodu
10. sistem za hlađenje jezgre u nuždi
11. gornji biološki štit
12. bočni biološki štit
13. donji biološki štit
14. rashladni uređaj
15. stroj za izmjenu goriva
16. mosni kran

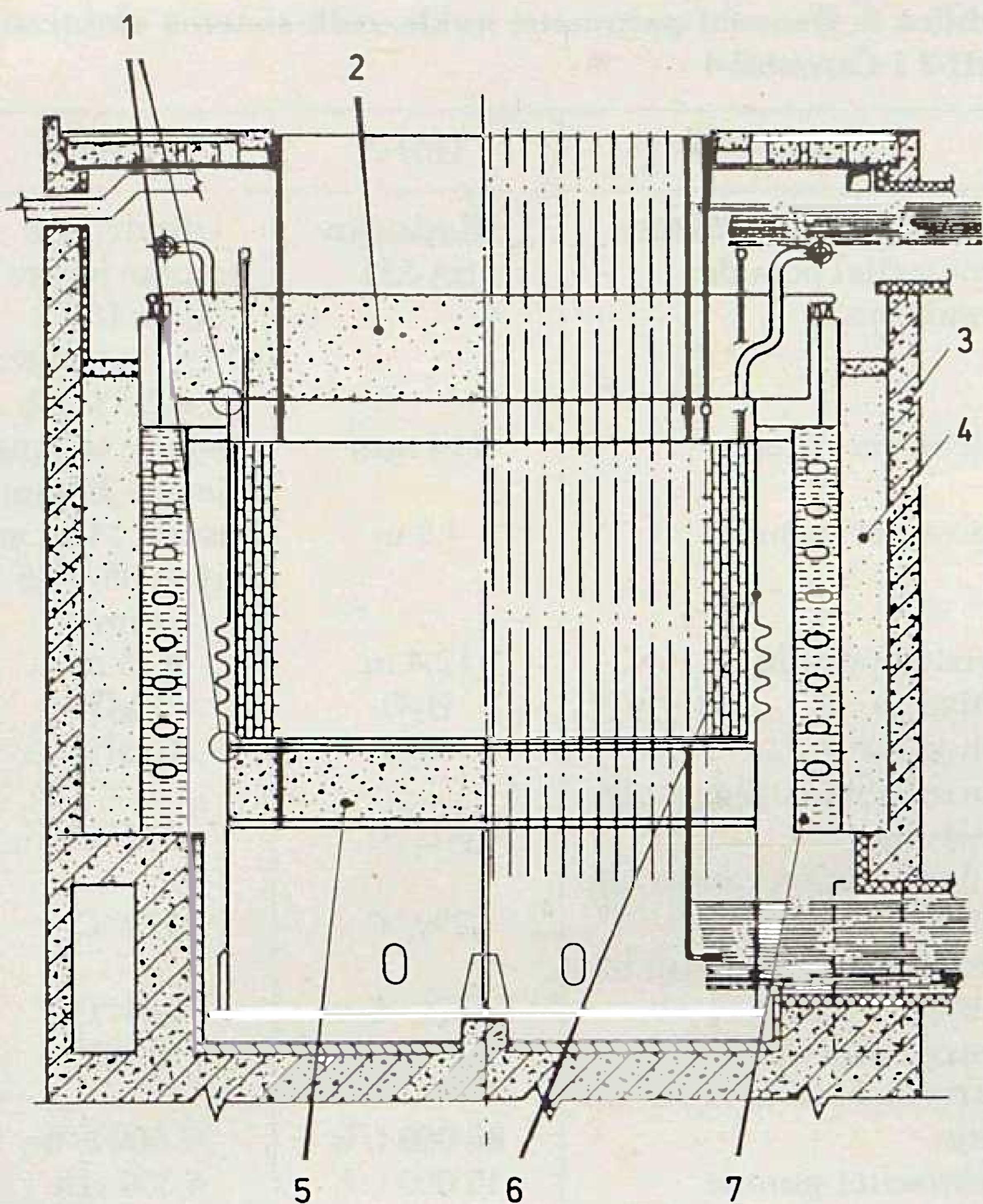
Slika 4. RBMK trodimenzionalno



Slika 5. Razmještaj kontrolnih šipki i detektora

od 114 mm u vertikalnoj osi. Ovi grafitni stupovi smješteni su u nepropusni reaktorski prostor cilindričnog oblika (cilindrični plašt s donjom i gornjom pločom, odnosno metalnom konstrukcijom ispunjenom betonom — biološki štiti). Radi sprečavanja oksidacije grafita i poboljšanja odvoda topline s grafita na kanale s hladilom reaktorski je prostor ispunjen plinom volumetrijskog sastava 85–90% He i 15–10% N₂. Da bi se spriječio gubitak helija, prostor između nepropusne zatvorene jezgre i biološke zašti-

te napunjen je dušikom pod tlakom koji je za oko 50–100 mm H₂O veći od tlaka u reaktorskom prostoru. Cijeli prostor reaktora sadrži 2 488 stupova složenih od grafitnih blokova (gustoća grafita 1,65 g/cm³). Masa grafita je 1 700 t po reaktoru. Cirkulacija smjese He i N₂ i hladila u kanalima ograničava temperaturu grafita na 700 °C. Zone najviših temperatura grafita su na krajevima grafitnih blokova, a najniže temperature su na površinama provrta u blokovima. Najveća razlika temperature na pojedinom grafit-



Slika 6. Vertikalni presjek reaktora

- 1 — cilindrični plašt zavaren za biološki štiti čini nepropusni reaktorski prostor
 2 — gornji biološki štiti (čelična konstrukcija ispunjena betonom)
 3 — beton
 4 — pijesak
 5 — donji biološki štiti
 6 — cilindrični čelični plašt
 7 — bočni štiti (cilindrični međuprostor ispunjen vodom)

nom bloku je oko 150°C . U grafitu se razvija oko 5% energije reaktora zbog usporavanja neutrona i apsorpcijom gama-zračenja. Prazni prostor u grafitnim stupcima s lagano cirkulirajućom smjesom helija i dušika služi također za detekciju integriteta kanala (funkcija vlage i temperature plina).

Izmjena gorivavrši se svakodnevno dok je reaktor u pogonu, bez redukcije snage (na nominalnoj snazi u stabilnom stanju 1 do 2 elementa goriva na dan). Izmjena se obavlja strojem (robotom) na taj način da, nakon što odmakne odgovarajući poklopac i poravna se s koordinatama kanala, izjednači svoj tlak i tlak kanala, odbrtvi kanal, izvadi istrošeni snop goriva i zamijeni ga svježim. Tako dugo dok je stroj spojen s prostorom kanala goriva, mali protok čiste vode propušta se kroz termohidrauličku brtvu iz stroja u kanal goriva, čime se stvori prepreka za ulaz vruće radioaktivne vode iz kanala u stroj.

Biološki štiti je projektiran tako da brzine doze za vanjsko ozračivanje u centralnoj prostoriji i zgradi za opsluživanje ne prelazi $2,8 \times 10^{-2}$ mSv/h (2,8 mrem/h) za vrijeme izmjene goriva. Kad gorivo prolazi preko poda centralne prostorije, brzina gama-doze blizu stroja za izmjenu goriva brzo dostiže 0,72 mSv/h. Integralni tridesetogodišnji fluks brzih neutrona s energijama iznad 0,1 MeV, za reaktorski ometač i oblogu metalne konstrukcije blizu jezgre, ne prelazi 10^{20} n/cm². RBMK reaktoru konstruktori pripisuju sljedeće pozitivne karakteristike:

- nema reaktorske tlačne posude čija proizvodnja nije jednostavna i može biti ograničenje za jediničnu snagu reaktora
- nisu potrebni komplicirani i skupi generatori pare
- mogućnost kontinuirane izmjene goriva i neutronske balansiranja
- fleksibilnost gorivnog ciklusa prilagodljivog tržištu
- mogućnost pregrijavanja pare u reaktoru
- visoku raspoloživost i trajnost reaktora jer se kontrolira kanal po kanal u pogledu protoka hladila i/ili detekcije kvarova
- kontrolu aktivnosti u svakome kanalu i zamjenu oštećenih sklopova u pogonu.

No, svakako da postoje i nedostaci:

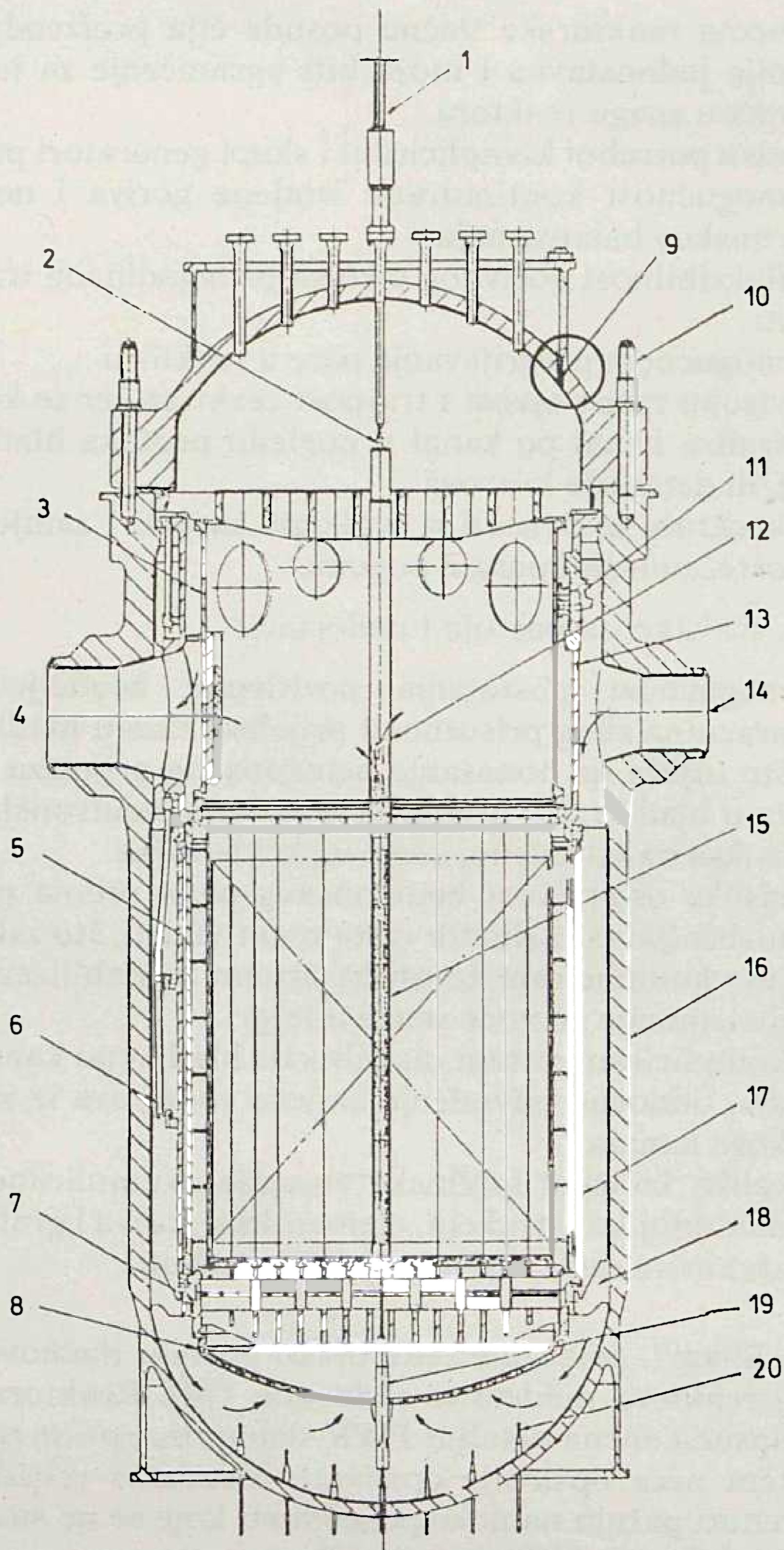
- mogućnost postojanja pozitivnog koeficijenta praznina zbog prisutnosti prijelaza faza u hladilu, što utječe na ponašanje neutronske prijelaza faza u hladilu, što utječe na ponašanje neutronske fluksa na određenoj snazi u akcidentima
- visoka osjetljivost neutronske polja prema perturbacijama različitih vrsta reaktivnosti, što zahtijeva komplicirani kontrolni sistem za stabilizaciju distribucije gustoće snage u jezgri
- komplicirani sistem distribucije hladila po kanalima, odnosno odvođenje smjese voda-para iz svakoga kanala
- velika količina toplinske energije akumulirane u metalnoj konstrukciji, elementima goriva i grafitu
- stanovita radioaktivnost pare u turbini.

3.2. Slika 7. prikazuje reaktorsku posudu tlačnovodnog reaktora nuklearne elektrane TMI. Reaktorska je posuda slična ostalim PWR sistemima, pa se ovaj sistem neće opširnije opisivati. Možda je vrijedno skrenuti pažnju na neke posebnosti koje se ne susreću kod drugih PWR-sistema. To su generatori pare s ravnim »jednoprolaznim« cijevima. U dva optočna kruga uz dva generatora pare ugrađene su četiri optočne pumpe kao aktivne komponente. Kao što se iz slike 8. vidi, jezgra reaktora nije bitno niže smještena od rashladnih površina primarnog kruga.

Na tablici 2. dani su osnovni podaci za bitne parametre nuklearnih sistema za proizvodnju pare energetskih jedinica Černobil-4 i TMI-2. Neki elementi se (zbog različitosti tipova) ne mogu međusobno uspoređivati, ali to ne isključuje mogućnost uspoređivanja u potpunosti.

4. Gorivo i jezgra reaktora

4.1. RBMK ima u osnovi isto gorivo kao i tlačnovodni reaktori, samo što se veličina i oblik elemenata donekle razlikuju. Na slici 9. dan je uzdužni presjek tablete i šipke goriva za RBMK-1000. Gorivni materijal je uranijev oksid u obliku sinteriranih keramičkih tableta promjera 11,5 i visine 15 mm. Gustoća gorivog materijala je najmanje 10,4 g/cm³. Tablete su složene u cjevčice s dijometričkom razlikom u dimenzijama 0,18 do 0,38 mm (cjevčica — tableta) i ta-



Slika 7. Posuda reaktora TMI-2

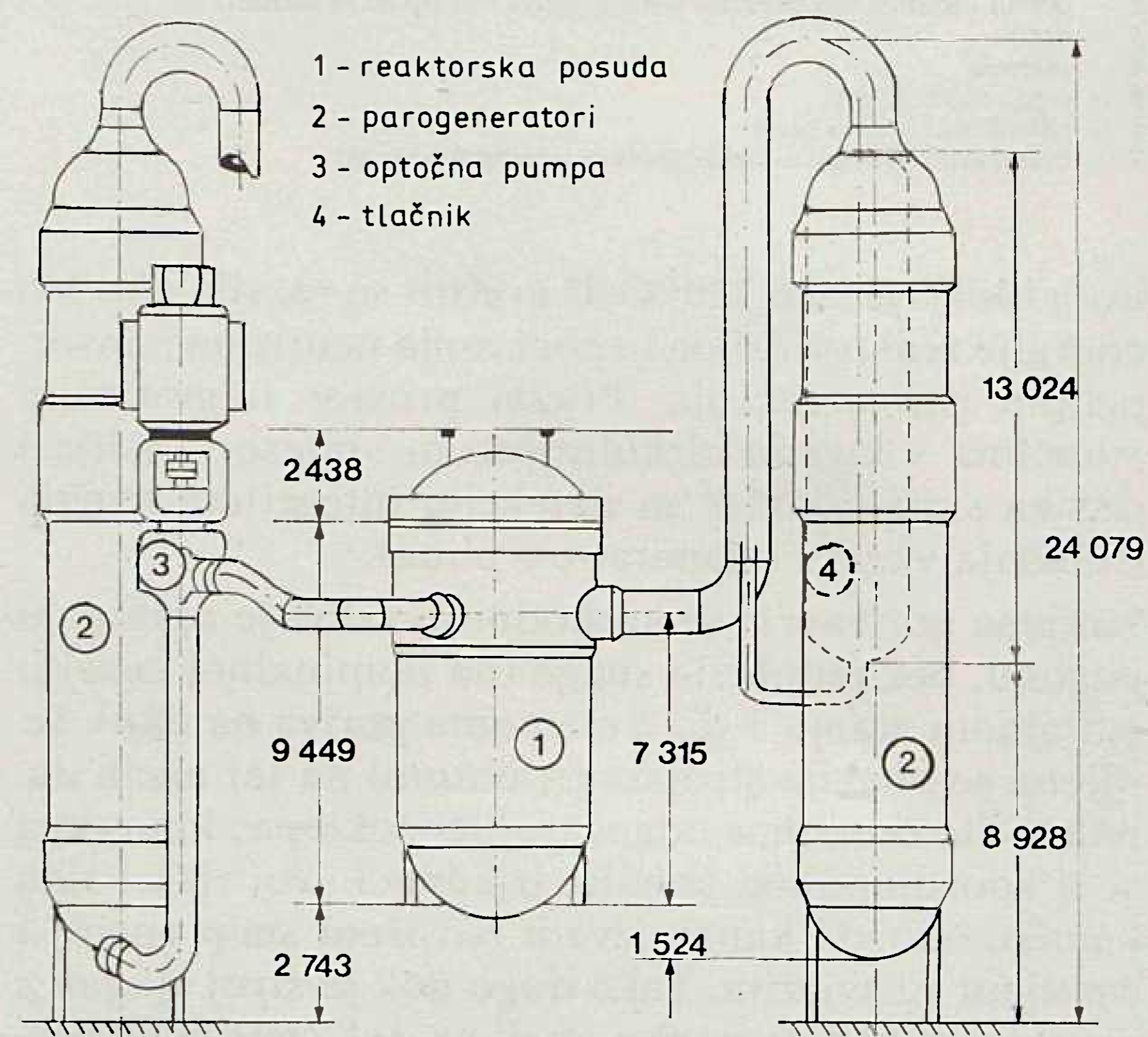
1 – pogon kontrolne šipke, 2 – sklop kontrolne šipke, 3 – omotač prostora vodilica, 4 – izlazni priključak, 5 – omotač jezgre, 6 – cijev za držanje uzoraka, 7 – donja vodilica, 8 – usmjerivač protoka, 9 – odzračni priključak, 10 – pričvrtni vijak, 11 – interni odzračni ventil, 12 – vodilica kontrolne šipke, 13 – nosač jezgre, 14 – ulazni priključak, 15 – element goriva, 16 – reaktorska posuda, 17 – toplinski štiti, 18 – vodilica, 19 – vodilica priključka instrumentacije u jezgri, 20 – priključak instrumenta

ko čineći šipku goriva. Vanjski promjer šipke je 13,6 mm, s najmanjom debljinom stijenke od 0,825 mm. Materijal cjevčice je cirkonijeva legura sa 1% Nb (legura 110). Procjep između tableta i cjevčica ispunjen je helijom inicijalnog tlaka $\sim 1 \text{ kp/cm}^2$ radi poboljšanja prijelaza topline. Srednja masa goriva u šipci je 3,6 kg, a u elementu goriva 115 kg.

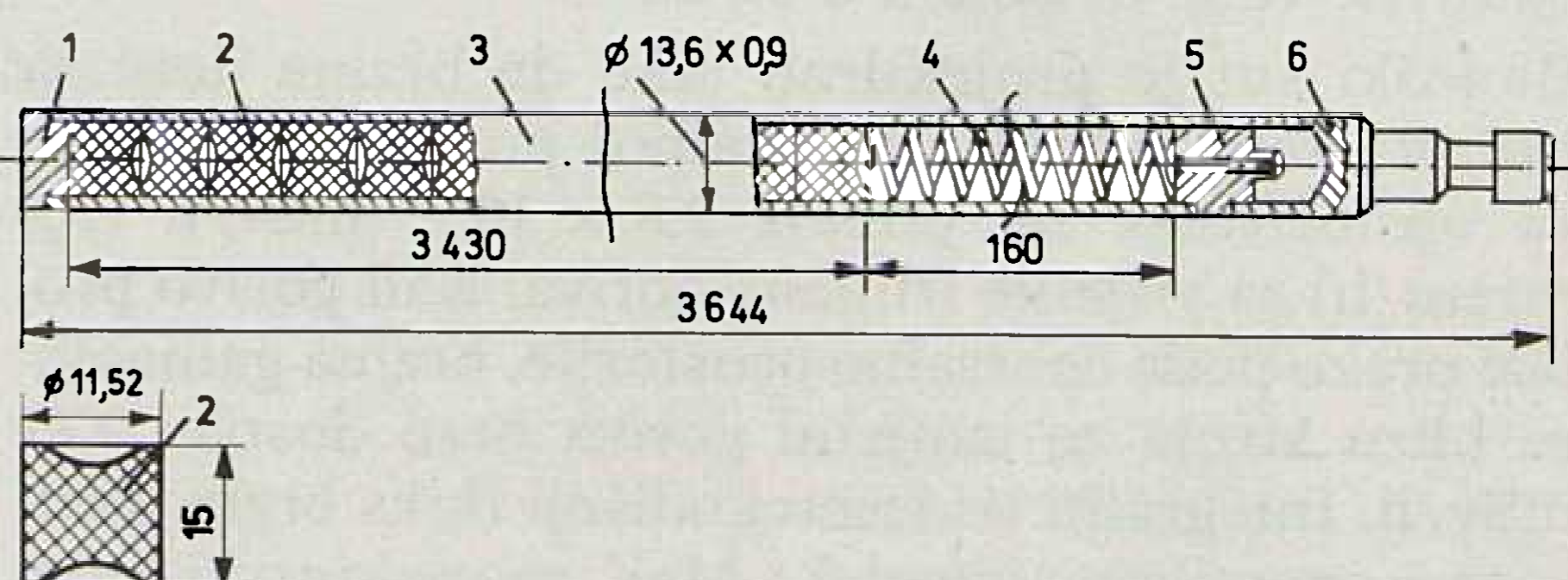
Na slici 10. prikazan je raspored šipki goriva u elementu (snopu) goriva. Svaki snop sadrži 18×2 šipki goriva raspoređenih u heksagonalnoj rešetki. Geometriju šipki goriva održavaju distančne rešetke i centralna cijev s osovinom koje ujedno drže zajedno gornji i donji dio snopa. Kompletni kanal za gorivo treba održavati u zadanoj geometriji snopova goriva, integritet tlačne granice hladila, kontrolirati protok hladila i omogućiti izmjenu goriva. U tu je svrhu tlač-

Tablica 2. Osnovni parametri nuklearnih sistema elektrana TMI-2 i Černobil-4

Parametar	TMI-2	Černobil-4
oblik posude reaktora	cilindričan	cilindričan
materijal posude reaktora	SA-533	omotač jezgre 08 Cr 18 Ni 10 Ti; tlač.cijevi, Zr + 2,5% Nb posuda; 16 mm cijevi; 4,25 mm posuda 14,52 mm cijevi 88/79,5 mm
debljina stijenke	214 mm	9,75 mm
promjer posude	4,8 m	9,75 m
visina posude	12,4 m	9,75 m
hladilo	H ₂ O	H ₂ O
moderator	H ₂ O	Grafit
prosječna temperatura hladila	302 °C	277 °C
ulazna temperatura hladila	292 °C	270 °C
izlazna temperatura hladila	320 °C	284 °C
broj optočnih pumpi	4	6 + 2
protok hladila kroz reaktor	60 000 t/h	37 600 t/h
kapacitet pumpe	15 000 t/h	6 300 t/h



Slika 8. Razmještaj komponenata optočnog sistema TMI-2



Slika 9. Konstrukcija šipke goriva RBMK reaktora

1 – čep, 2 – tableta goriva, 3 – cjevčica (obloga), 4 – opruga, 5 – tuljak, 6 – vršak

na cijev izvedena od više dijelova. Središnji dio je od cirkonijske legure Zr + 2% Nb (cijev promjera 88 mm i debljine stijenke 4 mm), a gornji i donji kraj od nerđajućeg čelika (08 Cr 18 Ni 10 Ti) povezan prijelaznim spojem s pomoću difuznog zavarivanja u vakuumu.

Obogaćenje svježeg goriva je 2% U-235, a istrošeno gorivo ima sljedeći izotopski sastav u kg/t:

U-235	4,5
U-236	2,4
Pu-239	2,6
Pu-240	1,8
Pu-241	0,5

4.2. Gorivo u TMI-2 reaktoru je standardno gorivo za PWR, a iz tablice 3. vide se razlike u glavnim karakteristikama.

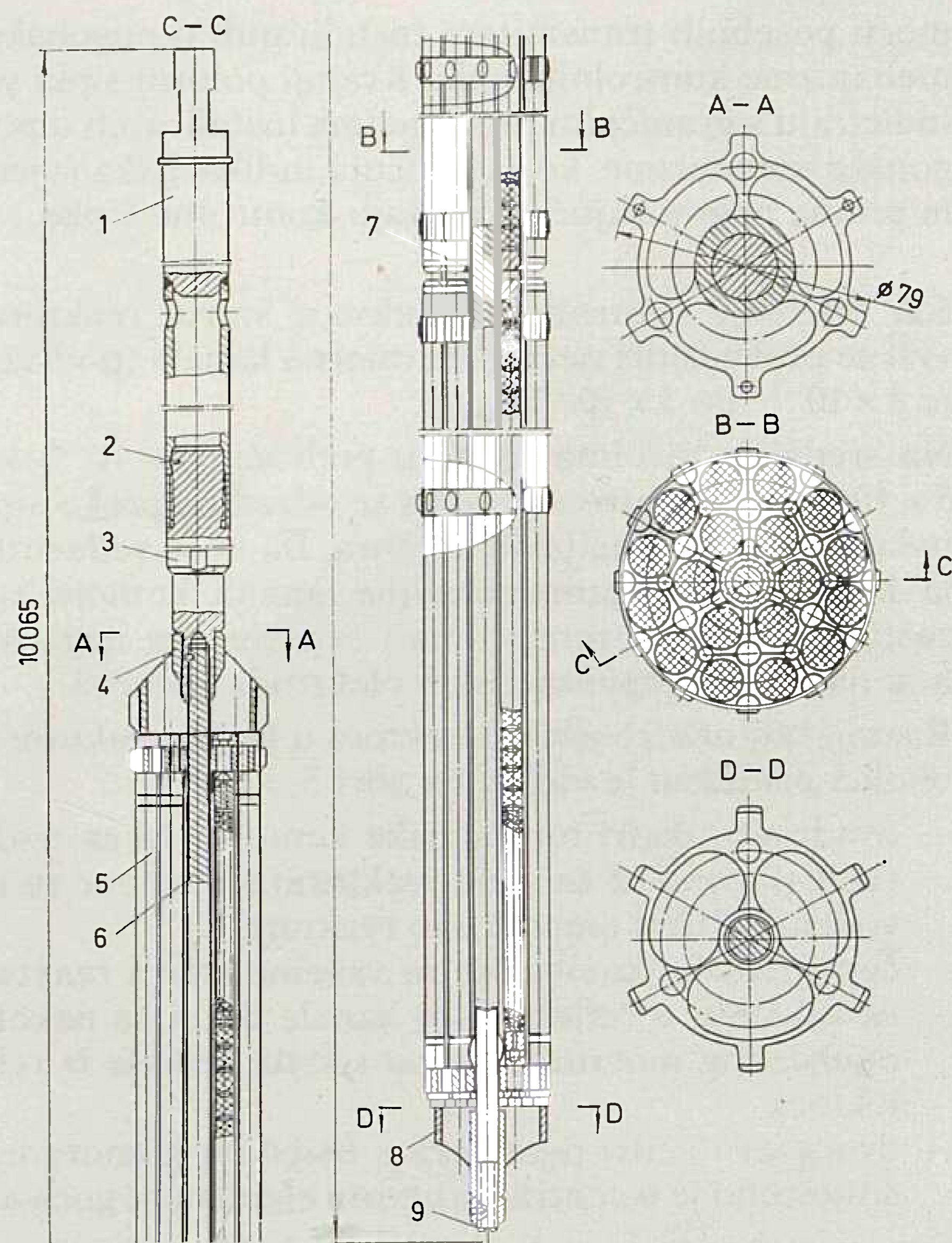
Tablica 3. Glavne karakteristike jezgre i goriva

Parametar	Reaktorska jedinica	
	TMI-2	Černobil-4
količina goriva	94 t	190 t
obogaćenje, U-235	2,54%	2%
broj elemenata goriva	177	1661
korak snopova	21,8 cm	25 cm
korak šipki	1,44 cm	—
broj šipki u snopu	208	18+18
prosječna specifična snaga	90 kW/l	42,4 kW/l
očekivani odgor	28 800 MWd/tu	20000 MWd/kt U
linearno opterećenje	62,43 kW/m	15,29 kW/m
dimenzije tablete (h · d)	1,09 × 0,94 cm	15 × 11,5 mm
maksimalna temperatura u centru	2299 °C	2100 °C
materijal obloge goriva	Zr-4	Zr + 1,0% Nb
debljina obloge	0,67 mm	0,825 do 0,830 mm
dimenzija aktivnog dijela jezgre h.d	3,64 × 3,27 m	7,00 × 11,8 m
postotak pare u vodi na izlazu iz jezgre	—	~ 14%
prirast tlaka u pumpi	—	15 kp/cm ²
kvaliteta svježe pare	—	< 0,1%

5. Kontrolni sistemi i zaštita reaktora

5.1. Kontrolni i zaštitni sistem (CPS) RBMK reaktora obavlja funkciju:

- kontrole nivoa snage preko određivanja neutronskog fluksa reaktora i njegova perioda u svim radnim uvjetima od 8×10^{-12} do $1,2 N_{nom}$
- kontrole starta reaktora od hladne obustave do potrebnog nivoa snage
- automatske regulacije snage reaktora na zadanom nivou i promjene snage sa zadanog nivoa
- ručne kontrole distribucije gustoće snage kroz jezgru i regulacije reaktivnosti za kompenzaciju odgora, refleksiju i druge efekte



Slika 10. Snop goriva za RBMK

1 — ovjesište, 2 — tuljak, 3 — prelazni dio, 4 — završni dio, 5 — šipka goriva, 6 — nosač snopa, 7 — tuljak, 8 — završetak, 9 — matica

- automatske stabilizacije radijalno-azimutske distribucije gustoće snage
- preventivne zaštite pri nagloj kontroliranoj redukciji snage reaktora do sigurnosnih nivoa (zaštitni nivo 1 = 50% N_{nom} i zaštitni nivo 2 = 60% N_{nom})
- zaštite u opasnosti, kada se parametri reaktora ili proizvodne jedinice mijenjaju kao rezultat akcidenta (zaštitni nivo 5).

Ovaj sistem obuhvaća:

- senzore neutronskog fluksa s uređajima za njihovo pozicioniranje u reaktoru
- kontrolne šipke (apsorbere) s mehanizmom za pomicanje unutar kanala u reaktoru
- uređaje CPS mjernog podsistema koji pretvaraju informacije iz neutronskih detektora i generiraju diskretne signale za slijedni precesing u CPS logičkom podsistemu kao što su analogni signali za indikaciju i ispisivanje reaktorskih parametara
- uređaje CPS logičkog podsistema koji izvode unaprijed zadane kontrolne i zaštitne algoritme i generiraju komande za pokretanje kontrolnih šipki u normalnim uvjetima i u opasnosti, za promjenu nivoa snage ili režima rada
- izlazne uređaje za pokazivanje i zapisivanje reaktorskih i CPS parametara itd.

Svih 211 CPS pogonskih mehanizama ugrađeno je s gornje strane CPS-kanala u reaktoru. Položaj kontrolnih šipki prikazuje se na kontrolnoj ploči s po-

moću posebnih transmitera instaliranih u pogonske mehanizme kontrolnih šipki. Krajnji položaj šipki se indiciraju s graničnim prekidačima instaliranih u pogonske mehanizme, koji uključuju indikacijska svjetla prema odgovarajućem položaju kontrolne šipke.

5.2. Mjerenje neutronske fluksa u startu reaktora vrši se preko četiri nezavisna mjerna kanala (područje 8×10^{-12} do $3 \times 10^{-7} N_{\text{nom}}$).

Na srednjim nivoima snage u području 3×10^{-8} do $5 \times 10^{-2} N_{\text{nom}}$ neutronske fluks se određuje preko signala četiriju ionizacijskih komora. Da bi se reducirala interferencija gama-pozadine, kanali komora su zaštićeni olovnom mrežicama i regulacijom negativnog napona kompenzacijskih elektroda komora.

Razmještaj neutronske detektora u jezgri reaktora i okolici približno je vidljiv na slici 5, i to:

- dvadeset i četiri ionizacijske komore (16 za područje pogona i 8 za start reaktora) smještene su u vodeni zaštitni omotač oko reaktora
- četiri fizijske komore se za vrijeme starta reaktora spuštaju u reflektorske kanale da bi se nakon pouzdanog monitoringa, po startu, izvukle iz reflektora
- dvadeset i četiri detektora s fizijskim komorama smješteno je u centralne otvore elemenata goriva.

Sistem za kontrolu radijalne distribucije energije u reaktoru opskrbljeno je sa 130 detektora (DKEr), raspoređenih po elementima goriva u suhu centralnu nosivu cirkonsijsku cijev unutrašnjeg promjera 6,5 mm (u osi snopa po cijeloj dužini).

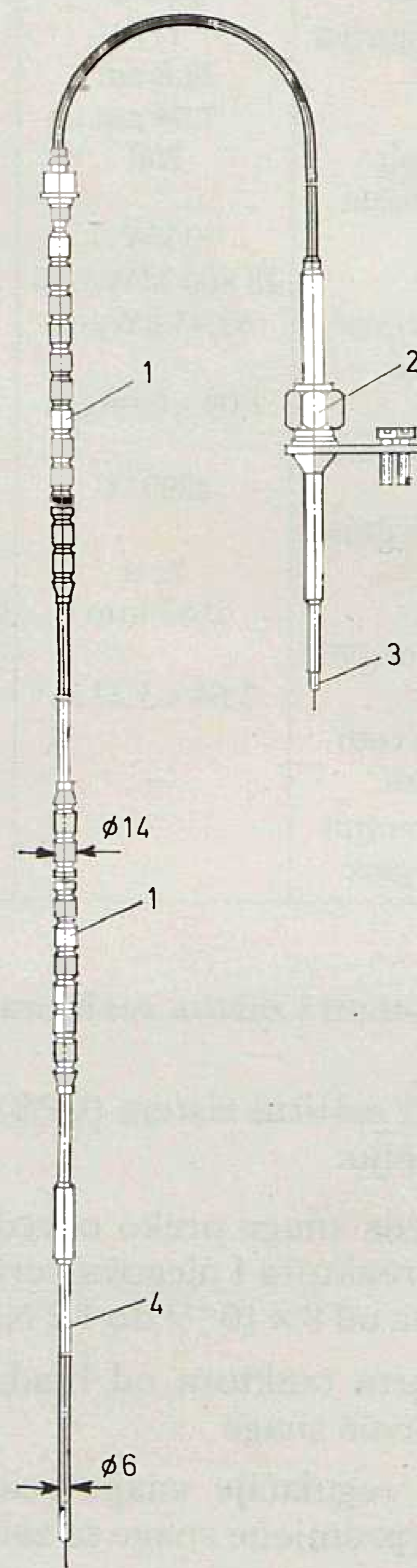
Na slici 11. prikazana je konstrukcija ovih detektora. Detektor se sastoji od senzora (4) smještena u hermetičku oblogu od nerđajućeg čelika vanjskog promjera 6 mm, hermetičkog rastavljivog spoja (2), kabla (3) u hermetičkoj oblozi i elemenata biološke zaštite (1). Radi zaštite obloge senzora od korozije šupljina je ispunjena argonom. Cjelokupna dužina detektora je 16,167 m a senzorski dio ima 8,5 m dužine. Senzorski element načinjen je od β -emitera, srebra. To je zapravo visokotemperaturni kabel vanjskog promjera 3 mm s centralnom žilom od srebra (0,65 mm promjera), ovojnicom od antikorozijskog čelika i izolacijom od magnezijevog oksida debljine 0,8 mm. Osjetljivost takvog detektora je $5 \times 10^{-20} \text{ A} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s/n}$ po metru dužine. Maksimalna temperatura senzora, kao rezultat radijacijskog zagrijavanja, viša je od temperature hladila i iznosi oko 250°C . Trajnost detektora, prema apogonskim podacima iznosi u prosjeku 97 000 h.

Za kontrolu vertikalne distribucije gustoće neutronske fluksa u jezgri je ugrađeno 12 detektorskih sklopova, ravnomjerno raspoređenih (oznaka H na slici 5). Svaki detektorski sklop ima sedam beta-emiterskih detektora (srebro), koji su ravnomjerno raspoređeni po visini (slika 12). Svaki senzorski element je spirala od kabla (s vanjskim promjerom 62 mm i visinom 105 mm). Ukupna dužina kabla u spirali je 2,6 m. Ovih 7 detektora smješteno je u suhu hermetičku čahuru koja se hladi s vanjske strane protokom vodom čija temperatura ne prelazi 70°C . Kroz

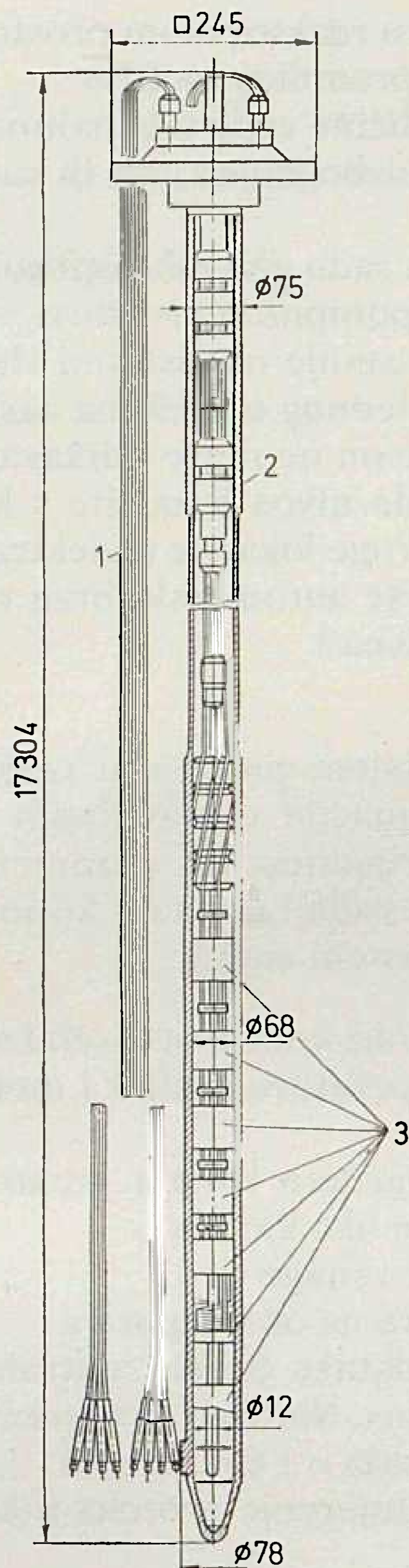
sredinu detektorskog sklopa prelazi cijev koja služi periodičkoj kalibraciji osjetljivosti detektora s pomoću troosne fizijske komore koja se može vertikalno gibati i u neradnoj poziciji izvući iz jezgre. Unutrašnjost kućišta detektorskog sklopa (DKEv) napunjena je smjesom argona i helija radi smanjenja radijacijskog zagrijavanja tako da temperatura senzora ne prelazi 150°C . Srednja vrijednost trajanja detektora, prema pogonskim podacima, iznosi 40 000 h.

Računalni programi obavljaju sljedeće funkcije izračunavanja:

- snage svakog elementa goriva
- rezervu snage od kritičnog toplinskog fluksa u svakom elementu
- temperature grafita u jezgri
- reaktorske snage na bazi toplinskog bilansa
- sadržaja pare na izlazu iz svakog kanala
- toplinskog iskorištenja reaktora
- odavanje energije svakog elementa goriva i cijelog reaktora
- postave monitora radijalne i vertikalne gustoće snage u jezgri
- karakteristike vertikalne distribucije gustoće snage



Slika 11. Detektor za kontrolu radijalne distribucije neutronske fluksa u reaktoru



Slika 12. Detektor za kontrolu vertikalne distribucije gustoće fluksa neutrona

1 — kabel, 2 — hermetička zaštitna cijev, 3 — senzori

- elemente za regulaciju protoka vode kroz svaki kanal
- operativne rezerve reaktivnosti
- reaktorskih termohidrauličkih parametara
- preporuka za izmjenu pojedinih elemenata goriva.

5.3. Automatska regulacija snage reaktora provodi se preko triju identičnih sklopova automatskih regulatora za prosječnu snagu reaktora. Svaki se sklop sastoji od četiri ionizacijske komore koje su smještene oko reaktora i daju signale na bazi kojih se četiri šipke automatske regulacije istovremeno pomiču. Signal za automatsku regulaciju generira se zbrajanjem relativnog odstupanja snage iz tri do četiri ionizacijske komore mjernih kanala, prema zadanom nivou. Na taj način automatski regulator ostaje u funkciji i kada jedan od mjernih kanala ostane izvan funkcije. Primjenom ionizacijskih komora različitih osjetljivosti omogućava se rad regulatora u raznim područjima:

- mala snaga 0,5 do 10% N_{nom}
- velika snaga 5,0 do 100% N_{nom} .

U području malih snaga automatski regulator AR3 kontrolira reaktor preko jedne skupine regulacijskih šipki, a u području velikih snaga kontrola se vrši sa dva regulatora (AR1 i AR2) i dviju skupina regulacijskih šipki (1 skupina sadrži 4 šipke).

Stabilizacija distribucije gustoće snage postiže se lokalnim automatskim regulatorima (LAR) i lokalnim zaštitnim sistemom za nuždu. LAR je projektiran na bazi nezavisne regulacije snage po 12 lokalnih zona jezgre reaktora s pomoću 12 regulacijskih šipki.

Jedan od regulatora radnog područja (AR1/AR2) uključen je, dok je drugi u »vrućoj« rezervi. Drugi se automatski uključuje ako se prvi automatski isključi zbog kvara. Da bi prijelaz bio »miran« bez pomicanja kontrolnih šipki, automatska korekcija debalansa izvrši se preko automatskog korektora. Dok su regulatori radnog područja u funkciji, AR3 može biti »on-line« za nadkompenzaciju automatskog regulatora koji je uključen. U tom slučaju, kada šipke uključenog regulatora izađu do prekidača srednjeg položaja što odgovara 75 do 100% ubačenosti šipke, AR3 šipke se automatski miču prema dolje, ali kad prekidač srednjeg položaja dođe do 25–0% ubačenosti, AR3 šipke se miču prema gore. LAR šipke se kontroliraju preko fizijskih komora smještenih u jezgri oko šipki lokalne automatske regulacije na udaljenosti od 0,63 m od šipki. Senzori ovih komora premazani su sa U-235 kemijskim spojem koji ima i zaštitnu elektrodu za gubitak redukcije upotrebljivog signala. LAR sistem se uključuje na AUTO pošto se dobije informacija da je postignuta zahtijevana distribucija gustoća snage u svih 12 zona lokalne kontrole u jezgri. LAR je tada glavni sistem za automatsku regulaciju snage na području 10 do 100% N_{nom} . AR sistem prosječne snage je u rezervi i uključuje se ako se LAR isključi zbog kvara i kroisti se u području 20 do 100% N_{nom} . Sistem AR koristi 24 ionizacijske komore iz područja reflektora, a LAR sistem, 24 fizijske komore locirane u centralnim otvorima posebnih elemenata goriva.

Kontrola reaktora je dosta složena jer stanje jezgre s čvrstim moderatorom i velikih dimenzija (sadrži goriva za 50 kritičnih masa) zavisi od mnogo parametara (reaktivnost je npr. ovisna o lokaciji u jezgri, temperaturi hladila, temperaturi grafita, temperaturi goriva, frakciji praznina, odgoru, obogaćenju goriva, prisutnosti apsorpcijskog materijala uključivši ksenon itd.). Dakle, projekt i geometrija jezgre zahtijevaju velik broj kontrolnih šipki kako bi se ostvarila lokalna i globalna kontrola.

Černobil-4 reaktor u kontrolno zaštitnom sistemu ima 211 kontrolnih apsorpcijskih šipki sa B_4C . One su funkcijski raspoređene u 4 grupe:

- 139 šipki pod ručnom kontrolom ulazi sa gornje strane reaktora
- 24 skraćene šipke pod ručnom kontrolom ubacuje se s donje strane u reaktoru
- 24 šipke za slučaj opasnosti jednoliko je raspoređeno kroz jezgri i
- 24 šipke za automatsku kontrolu, od kojih je 12 pod lokalnom automatskom kontrolom (LAC, 12

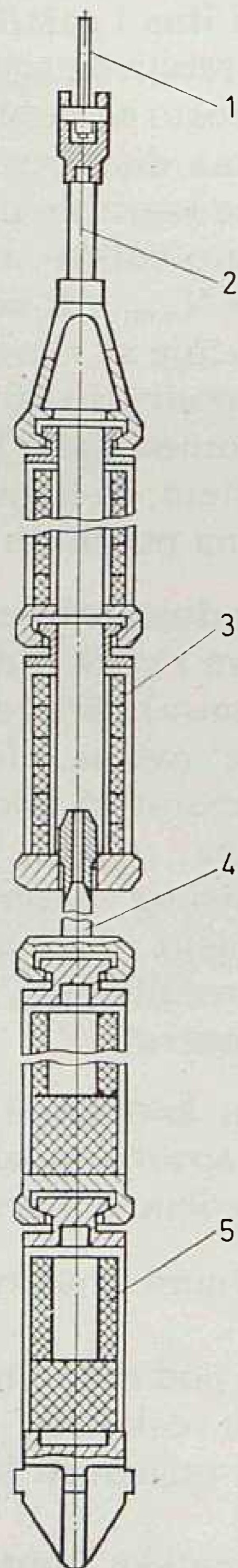
zona u jezgri), a 12 je pod kontrolom prosječne snage (3 skupine po 4 šipke).

Kontrolna šipka s apsorpcijskim materijalom prikazana je na slici 13. Sa (1) označeno je čelično uže, sa (2) šipka, (3) označuje apsorpcijske prstenove, (4) teleskopske spojnice i (5) element utega.

Automatska regulacija održava snagu u tolerancijama $\pm 1\%$ od zahtijevane u području 20 do 100% N_{nom} i $\pm 3\%$ u području 3,5 do 20% N_{nom} .

U slučaju opasnosti automatski se ubacuju sve apsorpcijske šipke u jezgru (izuzev skraćene). Dvadeset i četiri šipke su jednoliko razmještene po jezgri i služe za zaštitu od opasnosti. One se u startu prve izvlače potpuno u gornji položaj. Brzina kontrolnih šipki je 0,4 m/s. Kada se pogonski mehanizam isključi od električnog napajanja, šipke gravitacijom padaju u jezgru također brzinom 0,4 m/s jer je ona ograničena hidrauličkim otporom kanala. Parametri koji iniciraju ubacivanje svih kontrolnih šipki u jezgru (Nivo 5 opasnosti) jesu signali iz jedno od sljedećih situacija:

- snaga reaktora 110% N_{nom}
- redukcija reaktorskog perioda na 10 s
- pad ili prijelaz zadanog nivoa u obje polovice separatora
- prijelaz zadanog tlaka u tlačnoj granici optoćnog kruga



Slika 13. Kontrolna apsorpcijska šipka (sklop)

- prijelaz tlaka u reaktorskom prostoru
- pad nivoa u spremnicima CPS
- smanjenje količine vode u kanalima CPS
- ispad obaju turbogeneratorskih ili samo jednog koji je u radu
- ispad 3 do 4 u radu glavnih recirkulacijskih pumpi u bilo kojem pumpnom prostoru
- beznaponsko stanje na sistemu vlastite potrošnje ili indikacija jednog od režima zaštitnog nivoa (3, 2 ili 1) a da se on ne može održavati ili pak aktiviranje komande nivoa 5 zaštite s kontrolne ploče ili bilo koje druge lokacije u elektrani. (Zaštitni nivoi 3, 2 i 1 vrše automatski brzu redukciju snage do zadanih nivoa.)

5.4. Nadzorni sistem procesa u reaktoru osigurava operateru informacije u vizualnom i dokumentarnom obliku s vrijednostima parametara koji definiraju svaki režim rada i uvjeta u kojima reaktor radi. Ovaj nadzorni sistem sadrži:

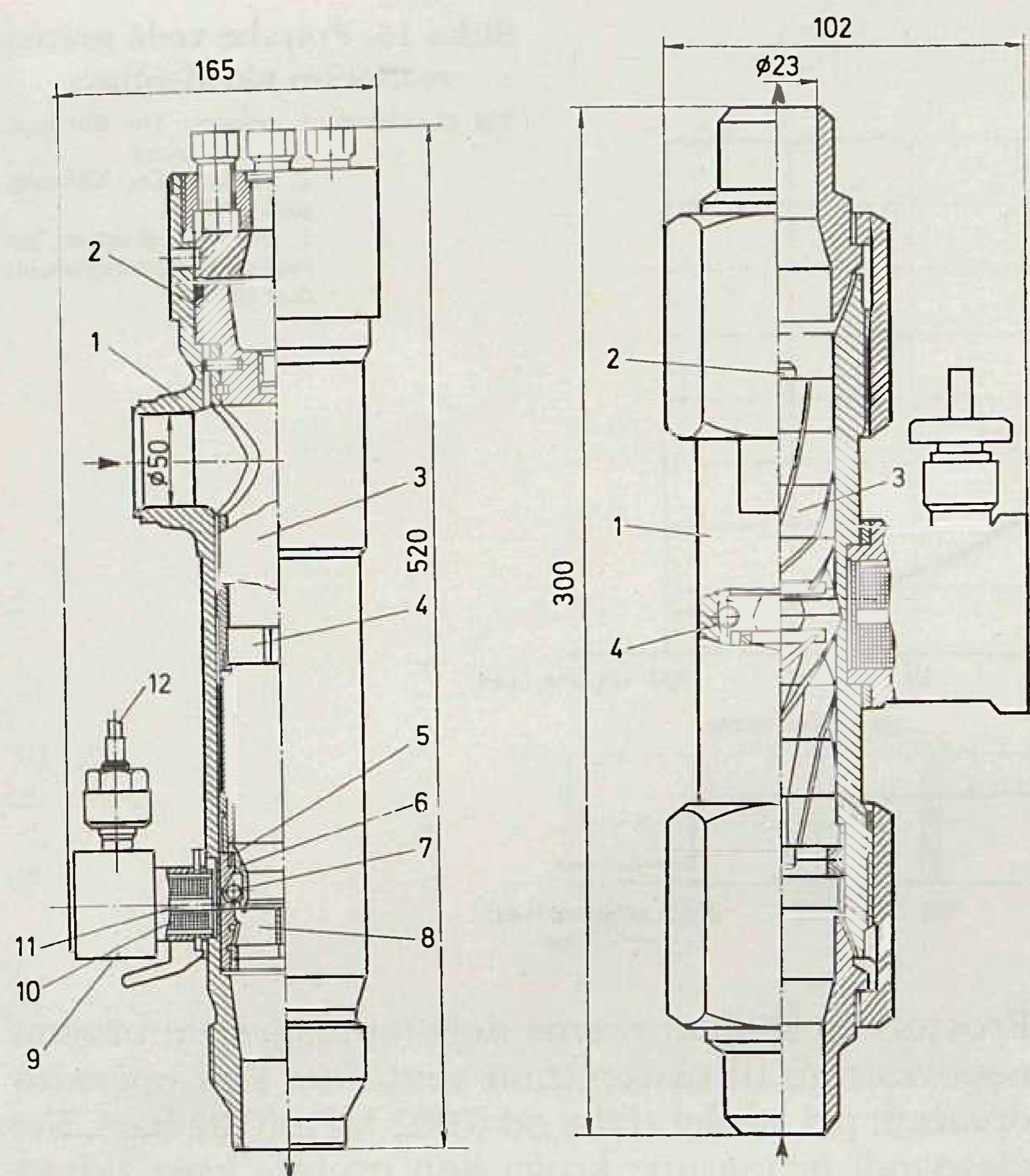
- kontrolu protoka vode u svakom kanalu
- kontrolu temperature grafita i metalne konstrukcije
- kontrolu integriteta kanala preko temperature i vlažnosti plina oko kanala
- nadzor gustoće snage
- detekciju kvara na oblozi goriva
- procesing podataka preko centralnog nadzornog sistema »Skala«. Nadziru se sljedeće vrijednosti:
 - protok hladila u 1 661 mjestu
 - kontrolno mjerenje protoka u kanalu u 227 točaka
 - mjerenje temperature metalne konstrukcije i biološkog štita u 381 točki
 - mjerenje temperature grafita na 46 mjesta
 - radijalno i vertikalno mjerenje snage u 214 točaka
 - mjerenje temperature plina u 2 044 točke
 - mjerenje aktivnosti hladila u 1 661 točki.

Na slici 14. prikazan je mjerni element protoka vode kroz kanale radi svoje specifičnosti. Ovdje sponzor predstavlja feromagnetična kuglica.

6. Sigurnosni sistemi

6.1. Sistem za hlađenje jezgre u opasnosti (slika 15) treba kratkotrajno i/ili dugotrajno odvoditi toplinu raspadanja i akumuliranu toplinu u slučaju prekida normalnog hlađenja. Bitne su mu karakteristike:

- Kako se prekid tlačne granice hladila može dogoditi na jednom od dva optočna kruga (prema zamisli projekta), sigurnosni sistem identificira oštećeni i neoštećeni optočni krug
- Da bi se u puknuti optočni krug brzo injektirala voda, predviđeni su tlačni akumulatori vezani na ove krugove preko brzo djelujućih ventila. Akumulatori (spremnici) su pod tlakom od 10 MPa (100 bar). Za dugotrajno injektiranje vode ova se dovodi s električnim pumpama iz dekompresio-



Slika 14. Mjerači protoka vode kroz kanale (primarni mjerni pretvarači s feromagnetičnom kuglicom)

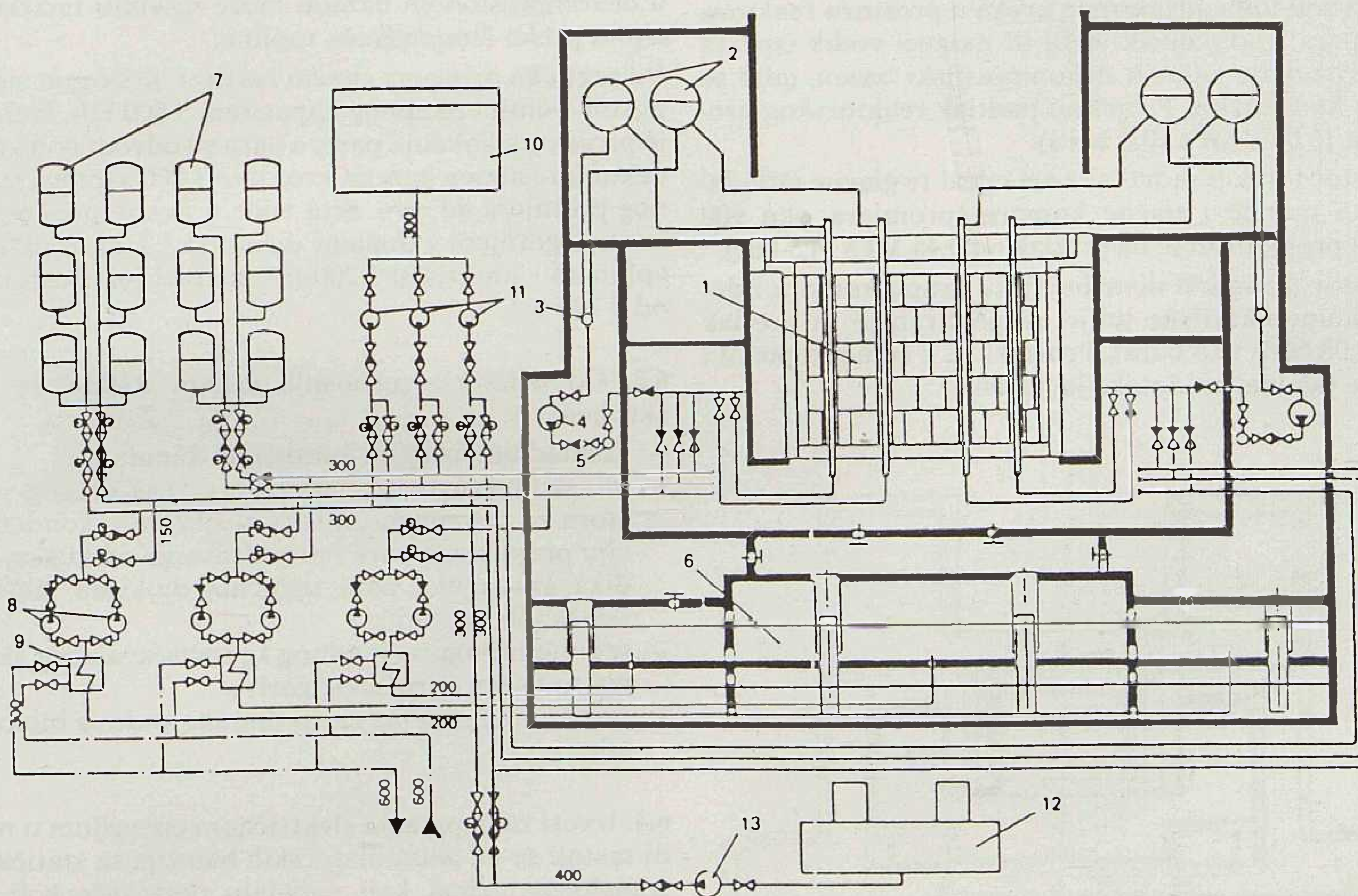
nog bazena u puknuti optočni krug. Pumpni sistem sastoji se od 3 pumpna kruga, svaki 50% kapaciteta, i to s visokotlačnim i niskotlačnim pumpama. Za dugotrajni rad voda iz dekompresijskog bazena hladi se preko izmjenjivača topline

- Dvod vode za neoštećeni optočni krug vrše 3 paralelno električne pumpe iz spremnika čistog kondenzata. Kapacitet svake pumpe je 50% potrebne protočne mase vode.

Da se spriječi pregrijavanje i taljenje goriva, količine injektirane vode trebaju iznositi prema vrijednostima na slici 16. Sistem za hlađenje jezgre u opasnosti automatski se pokreće na signal »maximum design basis accident« (maksimalni hipotetički kvar predviđen projektom) koji signal nastaje iz sljedećih indikacija:

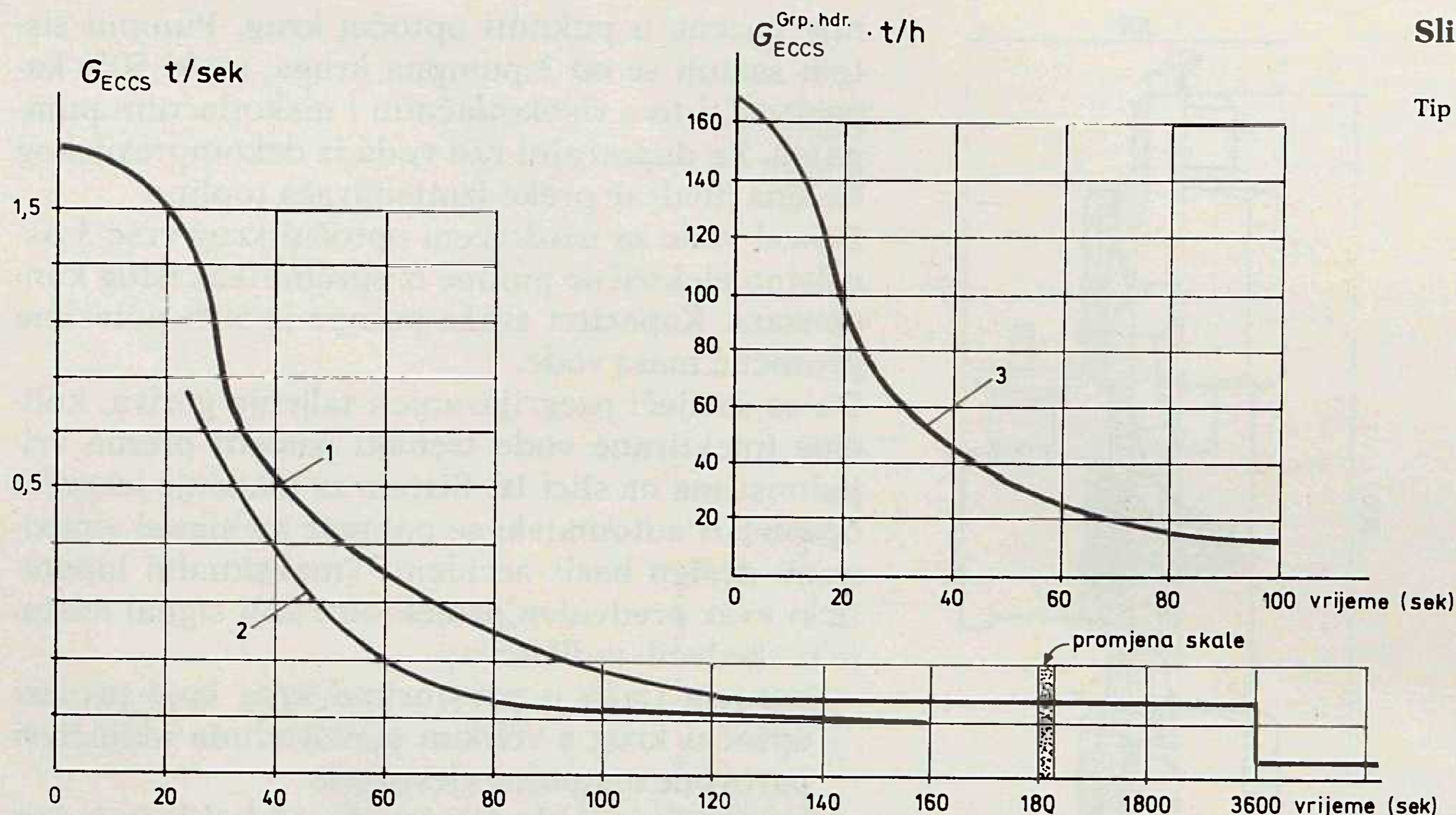
- porasta tlaka u prostorima kroz koje prolazi optočni krug s velikim cjevovodima uključivši parovode i napojne cjevovode
- koincidencije dvaju signala od kojih je jedan identifikacijski od oštećenog kruga a drugi jedan od sljedećih:
 - pad nivoa u separatorima pare
 - pad razlike tlaka između tlačne komore cirkulacijske pumpe i separatora pare.

Djelovanje zaštite reaktora opisan je točki 5.3 (nivo 5 opasnosti).



Slika 15. Sistem za hlađenje jezgre u nuždi

1 – Reaktor, 2 – paroseparator, 3 – usisna komora, 4 – glavna optočna pumpa, 5 – tlačna komora, 6 – dekompresijski bazen, 7 – tlačni akumulatori, 8 – pumpe za hlađenje u nuždi, oštećene polovice reaktora, 9 – izmjenjivači topline, 10 – spremnik čistog kondenzata, 11 – pumpe za hlađenje neoštećene polovice reaktora, 12 – otplinjač, 13 – napojna pumpa



Slika 16. Potrebe vode prema različitim akcidentima

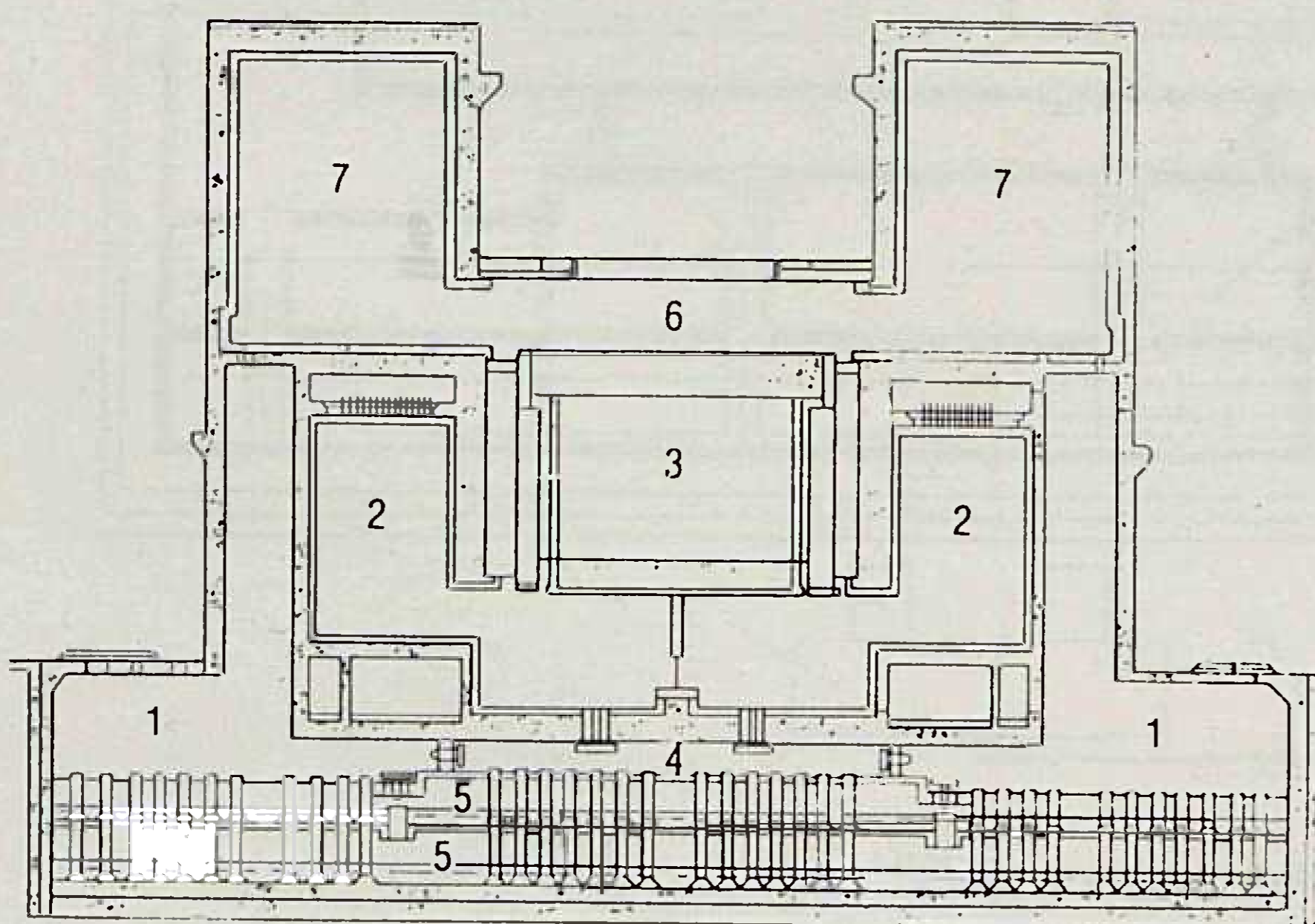
Tip akcidenta: 1. pucanje Du 900 mm tlačne komore
2. pucanje Du 300 mm padne cijevi
3. pucanje grupne komore kao i protupovratnog ventila

6.2. RBMK sistem nije zatvoren u kontejnmentu klasične izvedbe iako reaktorska zgrada posjeduje određene elemente kontejnmenta. Na slici 1.7. prikazana je reaktorska zgrada s dekompresijskim bazenom ispod reaktora. U »sovjetskim radnim dokumentima« kontejnment se naziva »sistemom za lokalizaciju akcidenta«. Izveden je u više različitih prostora i s različitim projektnim nadtlakom. Svi prostori s cjevovodima ili tlačnim posudama primarnog kruga pod laganim su podtlakom.

U slučaju loma primarnog kruga u prostoru reaktora (3), para, voda, dušik, helij ili mogući vodik ispušta se kroz dvije cijevi u dekompresijski bazen, gdje se para kondenzira. Projektni nadtlak reaktorskog prostora je 0,08 MPa (0,8 bara).

Prostor (1) koji sadrži silazne cijevi te glavne cirkulacijske pumpe i tlačne komore (promjera oko 900 mm) projektiran je na pretlak od 0,45 MPa (4,5 bar).

Prostor (2) sadrži distribucijsku grupu komora i donje komunikacijske linije, projektiran je za pretlak od 0,08 MPa (0,8 bara). Prostori 1 i 2 su nepropusni i služe također za detekciju curenja.



Slika 17. Reaktorska zgrada

Prostori su spojeni prema dekompresijskom bazenu nepovratnim ili rasteretnim ventilima koji općenito otvaraju pri razlici tlaka od 0,002 MPa (0,02 bar). Svi cjevovodi primarnog kruga koji prolaze kroz zidove navedenih prostora ili reaktorskog prostora imaju izolacijske ventile, osim cjevovoda primarnog kruga od izlaza iz jezgre do ulaza u separatore pare. U slučaju loma na tome dijelu proizvedena para može se skupljati i djelomično kondenzirati s ugrađenim ventilacijskim sistemom. Održavanje temperature vode u dekompressionom bazenu može se vršiti recirkulacijom preko izmjenjivača topline.

Od pretlaka primarni sistem zaštićen je s osam sigurnosnih ventila ukupnog kapaciteta 5 800 t/h, kao što je projektna količina pare, a para se odvodi pod vodu dekompressionog bazena kroz oko 1 200 sapnica izlaznog promjera 40 mm. Sloj vode u dekompressionom bazenu gornjem i donjem deo je 1,2 m, a ukupni volumen vode iznosi 3 200 m³ sa zračnim prostorom od 3 700 m³.

6.3. Od ostalih sigurnosnih sistem RBMK je opskrbljen:

- rashladnim krugom kontrolnih kanala
- plinskim krugovima atmosfere reaktorskog prostora za promjenu omjera dušik/helij, kondenzaciju propuštene pare i pročišćavanje od kisika, vodika, amonijaka, pare, ugljičnog dioksida, metana i dušičnih nečistoća
- redundantnog rashladnog i pročišćavajućeg sistema za bazen istrošenog goriva
- rashladnog sistema za spremnike vode za biološki štit.

6.4. Izvori za napajanje električnom energijom u nuždi sastoji se od akumulatorskih baterija sa statičkim transformatorima koji napajaju potrošače koji ne podnose prekid napajanja energijom i dizel-generatori koji napajaju potrošače koji toleriraju vrlo kratka vremena prekida napajanja električnom energijom.

Dizel-generatori kapaciteta 5,5 MW služe kao nezavisni izvor električne energije za 6 kV sistem podijeljen u tri sekcije (svaka sa svojim izvorom). Vrijeme pokretanja dizel-generatora je 15 sekundi, a opterećenja se preuzimaju korak po korak u razmaku od 5 sekundi. Signal za pokretanje je nestanak napona na sigurnosnim sabirnicama ili projektni akcident.

7. Komparacija kontrolnih, sigurnosnih i zaštitnih sistema

Budući da je TMI-2 jedinica uglavnom dobro poznati PWR sistem u standardnoj izvedbi i s kontejnmentom, komparacija RBMK sistema opisanih u točkama 5. i 6, zbog preopširnosti ovdje se neće dalje vršiti. Iz opisa je dovoljno vidljiva sva složenost RBMK sistema.

NPP »THREE MILE ISLAND« AND NPP »CHERNOBIL«

In the article is discussed about dramatical operations in two NPPs and different consequences as result of project of reactor, safety and protection systems characteristics:

- design of reactor and reactor systems with functional comparison
- analysis of conditions that resulted in an accident with chronological data
- short and long term consequences of accidents

Due to less data of Chernobil reactor, in the article is given greater attention to that type of reactor.

DREIEMEILENINSEL UND TSCHERNOBYLL

Die Ähnlichkeit der dramatischen Arbeitsstilllegung dieser beiden großen nuklearen energetischen Einheiten und die Verschiedenheit bezüglich der Folgen und das Projekt des Reaktors und seiner Sicherheits und Schutzsysteme war ein Ansporn für diesen Artikel der folgendes umfaßt:

- Projekt des Reaktors und der Reaktorsysteme mit der Komparation der Funktionen
- Analyse der Umstände die zum Akzidents führten mit einer Chronologie der Ereignisse
- Kurzfristige und langfristige Fragen die auch durch Akzidenzen hervorgerufen wurden.

Da der explodierte Reaktor in Tschernobyll allgemein weniger bekannt ist wird man im komparativen Teil diesem Reaktortyp mehr Beachtung widmen.

ОСТРОВ ТРИ МИЛЬЕ И ЧЕРНОБЫЛЬ

Сходство приостановления работы этих двух крупных атомных энергетических единиц и различие, принимая во внимание последствия и проект реакторов, а также систем безопасности и защиты, явились побуждением данной статьи, охватившей:

- проект реакторов и реакторных систем со сравнением функций;
- анализ обстоятельств, вызвавших акцидентом, с хронологией событий, а также
- краткосрочные и долгосрочные последствия, вызванные акцидентом.

Учитывая вообще недостаточную осведомленность о реакторе в Чернобыле, во время сравнения большее внимание уделяется этому типу реакторов.

Naslov pisca:

Vladimir Vuković, dipl. inž.
Nuklearna elektrana Krško,
68270 Krško, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
 1987-09-25



ASTRA

**SPONZOR-SUORGANIZATOR
UNIVERZIJADE'87**

ZAGREB
JUGOSLAVIJA



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

- opskrba poljoprivrede sjemenskom robom, re-produkcijskim materijalom, strojevima i alatima;
- opskrba stranih brodova i jahti u domaćim luka-ma i marinama.

Djelatnosti na vanjskom tržištu:

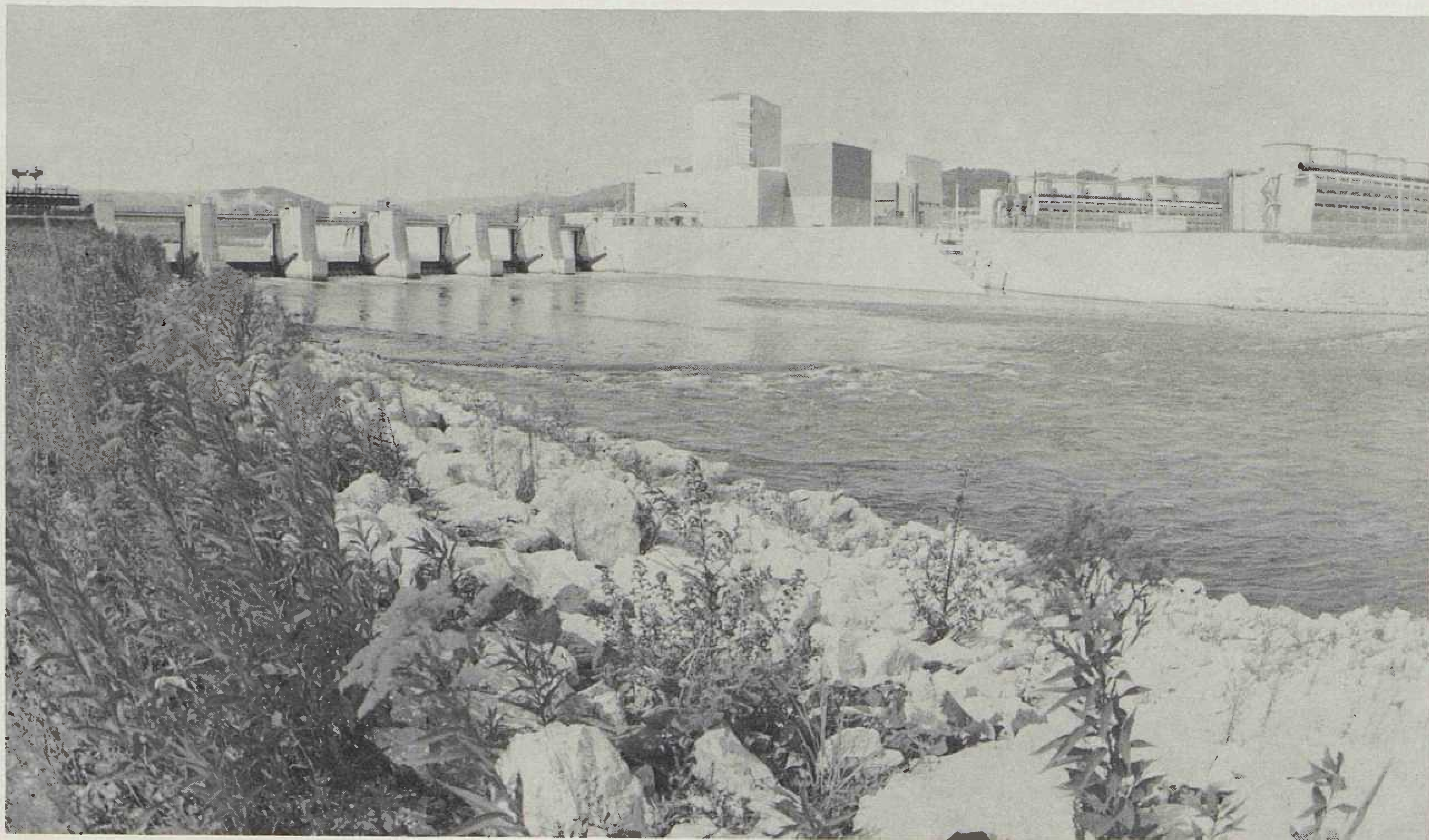
- izvoz-uvoz kompletnih objekata, postrojenja i opreme za sve grane industrije;
- izvoz-uvoz brodova i aviona;
- izvoz-uvoz poljoprivredno-prehrambenih proiz-voda;
- međunarodno trgovinsko posredovanje;
- međunarodna trgovina putem mreže inozemnih firmi i predstavništava;
- zastupanje inozemnih firmi.

Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

- ugostiteljsko-hotelijska djelatnost putem vlastitih hotela, ugostiteljskih objekata, sport-sko-rekreacijskih sadržaja, te prodaja avio-ka-rata i aranžmana putem vlastite turističke agen-cije;
- prodaja, održavanje i popravak automobila iz programa VOLKSWAGEN-AUDI, te tehnički pregled svih vrsta vozila;

OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

- **OOUR ZASTUPSTVO INOZEMNIH FIRMI**, Za-greb, Gajeva 5
- **OOUR MEĐUNARODNA TRGOVINA**, Zagreb, Gajeva 5
- **OOUR MAŠINOIMPEX**, Zagreb Varšavska 9
- **OOUR ZA VANSJKU I UNUTRAŠNJU TRGOVI-NU POLJOPRIVREDNO-PREHRAMBENIH PROIZVODA**, Zagreb, Harambašićeva 19
- **OOUR AUTOMOBILNE DJELATNOSTI**, Velika Gorica, Zagrebačka bb
- **OOUR UGOSTITELJSTVO**, Stubičke toplice
- **OOUR UGOSTITELJSTVO TOPLICE**, Krapin-ske Toplice
- **OOUR UGOSTITELJSTVO KUMROVEC**, Tu-heljske Toplice



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

ISPITIVANJE UKUPNE PROPUSNOSTI KONTEJNMENTA U NE KRŠKO

Mr. Berislav Nadinić, Zagreb

UDK 621.039.58
PREGLEDNI RAD

Opisuju se osnovne izvedbeno-projektne karakteristike kontejnmenta NE Krško, primjena mjerne opreme i značajke programa za sakupljanje, odnosno analizu rezultata ispitivanja sveukupne propusnosti kontejnmenta, te osnovni rezultati ispitivanja provedenih u NE Krško 1986. godine.

Ključne riječi: NE, kontejnment, sveukupna propusnost.

1. UVOD

NE Krško je prva nuklearna elektrana izgrađena u Jugoslaviji, a isporučilac opreme bila je tvrtka Westinghouse. Izgradnja elektrane počela je 1974. godine, a u komercijalnoj upotrebi nalazi se od 1982. godine. Zbog nedostatka vlastite regulativne ili njene nedovoljnosti na mnogim područjima vezanim za izgradnju, pogon i održavanje elektrane odlučeno je da se u svim pitanjima koja ne pokriva uopće ili ne u potpunosti domaća regulativna osloni na regulativu zemlje isporučioaca opreme, tj. na američku regulativu. Uloga NRC-a (Nuclear Regulatory Commission) preuzeo je »Republički energetska inspektor SR Slovenije«.

Tako se u skladu sa referencama navedenim u poglavlju 7 u rujnu i listopadu 1986. godine pristupilo ispitivanjima propusnosti kontejnmenta NE Krško. Konceptiju ispitivanja ukupne propusnosti kontejnmenta (tip A*) definirali su stručnjaci Instituta za elektroprivredu Zagreb koji su također izradili i savrateći software potreban za provedbu ispitivanja. Prikupljena iskustva pri provođenju ispitivanja, kao i najznačajniji rezultati prezentirani su u ovom članku s ciljem da se s njima upozna šira javnost, jer ne smije se zaboraviti da je kontejnment posljednja barijera za ispuštanje radioaktivnih tvari u okolinu u slučaju akcidenta, te da je njegovo stanje usko vezano za sigurnost svih nas.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE KONTEJNMENTA NE KRŠKO

NE Krško posjeduje kontejnment koji se sastoji od samostojeće čelične ljuske (primarni kontejnment) i vanjskog omotača od betona (sekundarni kontejnment). Između ta dva dijela kontejnmenta nalazi se

međuprostor (anulus) u kojem se održava pritisak niži od atmosferskog te se na taj način stvara još jedna dodatna barijera eventualnom prodoru radionuklida u okolinu. Kontejnment NE Krško ima oblik cilindra s polukuglom na vrhu. Prema podacima iz [2] osnovne karakteristike kontejnmenta NE Krško dane su u tablici 1.

Tablica 1. Osnovne karakteristike kontejnmenta NE Krško

Naziv karakteristične veličine	Jedinica	Vrijednost
visina primarnog kontejnmenta	m	43.3
dijametar primarnog kontejnmenta	m	32.08
debljina bočnih stijenki	m	0.038
radijus kupole	m	16.05
debljina stijenke kupole	m	0.019
materijal primarnog kontejnmenta	—	uglični čelik
visina sekundarnog kontejnmenta	m	52.1
dijametar sekundarnog kontejnmenta	m	35.1
debljina bočnih stijenki	m	0.76
radijus kupole	m	22.59
debljina stijenke kupole	m	0.61
materijal sekundarnog kontejnmenta	—	armirani beton
projektni tlak	bar	4.1021
projektna temperatura	C	128.00
slobodni volumen	m ³	40800.00
maksimalno dozvoljeno propuštanje	%/dan	0.2

3. OPREMA KORIŠTENA ZA PROVEDBU ISPITIVANJA PROPUSNOSTI KONTEJNMENTA

Oprema korištenja za provedbu ILRT-testa može se u principu podijeliti na dvije osnovne grupe. U prvu grupu se mogu ubrojiti svi upotrijebljeni mjerni in-

* Ispitivanje ukupne propusnosti kontejnmenta (Integrated Leakage Rate Test) često se označava samo kraticom ILRT, što će se i u ovom članku vrlo često koristiti.

strumenti, a u drugu sistemi za sakupljanje i obradu podataka.

a) Mjerni instrumenti

U kontejnmentu NE Krško instalirani su za potrebe ILRT testa sljedeći instrumenti:

- 24 komada otpornih termometara (RTD)
- 6 komada davača temperature rosišta
- 2 precizna mjerača tlaka
- 1 instrument za mjerenje kontroliranog ispuštanja zraka iz kontejnmenta
- 1 instrument za mjerenje tlaka zraka na mjestu kontroliranog ispuštanja
- 1 instrument za mjerenje temperature zraka na mjestu kontroliranog ispuštanja.

Osim ovih instrumenata korištena su još dva odgovarajuća instrumenta za mjerenje tlaka i temperature okoline.

Izbor instrumenata i njihove kalibracije izvršeni su u skladu s preporukama iz reference 4.

b) Sistemi za skupljanje i obradu podataka

Za provedbu testa ukupne propusnosti kontejnmenta NE Krško korištena su dva potpuno neovisna sistema, primarni i sekundarni. Primarni sistem bio je tzv. data acquisition system, tj. sistem koji je automatski prikupljao i obrađivao podatke s mjernih davača sve do finalnih rezultata, dok je sekundarni sistem bio tzv. backup sistem i obrađivao je podatke koji su se upisivali ručno. U sekundarni sistem podatke su upisivali operateri prema ispisu primarnog sistema, a u slučaju kvara primarnog sistema podaci za sekundarni sistem uzimali bi se sa ILRT-test panela na čijem su se pisaču ispisivale sve vrijednosti očitavanja davača u kontejnmentu.

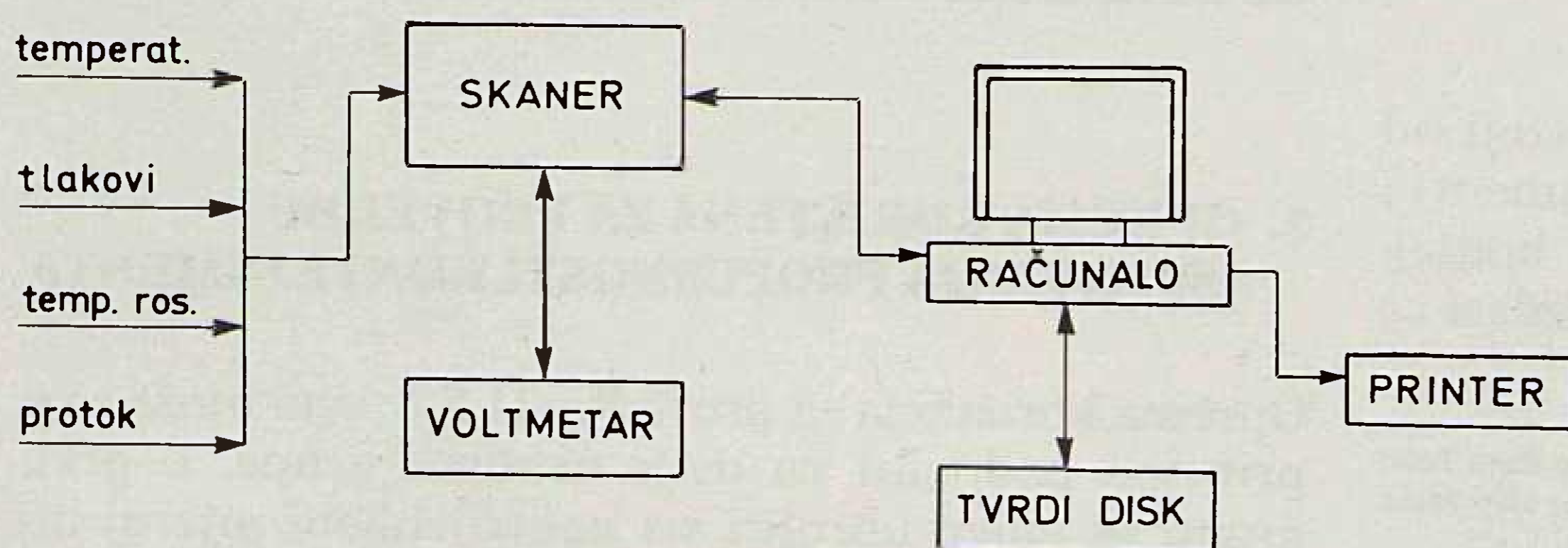
Komponente primarnog sistema bile su sljedeće:

- računalo HP 150 (Touchscreen PC) sa jednim 3,5" diskom i jednim hard diskom od 20 Mb
- skaner s integriranim voltmetrom (HP 3497A)
- voltmetar (HP 3456A)
- printer (HP ThinkJet).

Blok-shema primarnog sistema dana je na slici 1.

Komponente sekundarnog sistema bile su sljedeće:

- računalo HP 150 (Touchscreen PC) sa jednim 3,5" diskom i jednim hard diskom od 20 Mb
- printer (HP ThinkJet).



Slika 1.

4. KARAKTERISTIKE SOFTWARE RAZVIJENOG ZA PROVEDBU ILRT-TESTA U INSTITUTU ZA ELEKTROPRIVREDU ZAGREB

Za potrebe provedbe ILRT-testa u NE Krško u Institutu za elektroprivredu Zagreb razvijen je kompleksan kompjutorski program s velikim mogućnostima obrade i prezentacije rezultata. Osnovne karakteristike ovog programa nazvanog »ILRTCOD« su sljedeće:

- automatsko sakupljanje mjernih vrijednosti (automatski mod rad) ili ručni upis mjernih vrijednosti prema podacima s test-panela (test-panel u NE Krško relativno je zastarjeli sistem za skupljanje podataka vezanih uz ILRT-test koji očitava analogne sisteme s mjernih davača, pretvara ih u odgovarajuće fizikalne veličine te ih zatim ispisuje na jednom malom pisaču)
- pretvaranje mjernih analognih signala u fizikalne veličine uz točnost od 6 značajnih digita
- mogućnost rada na primarnom i sekundarnom sistemu bez ikakvih izmjena
- mogućnost praćenja svih faza ILRT testa uz uvažavanje njihovih posebnosti (faze ILRT testa su:
 - a) kompresija
 - b) stabilizacija
 - c) istjecanje
 - d) verifikacija)
- mogućnost promjene težinskih faktora instrumenata u kontejnmentu u toku testa
- mogućnost isključivanja neispravnih instrumenata iz procesa obrade u toku testa, ali i njihovo ponovno uključivanje u slučaju uspješno otklonjenog kvara
- automatsko očitavanje instrumenata u unaprijed odabranom proizvoljnom vremenskom intervalu (za provedbu ILRT testa u NE Krško izabran je vremenski interval od 10 minuta)
- mogućnost prelaza sa automatskog moda rada na ručni mod i obrnuto, što može biti značajno u slučaju otkazivanja određenih komponenti sistema za sakupljanje i obradu podataka, npr. skanera, voltmetra ili pojedinih multipleksera
- široki spektar kontrola upisanih vrijednosti od operatera kada se izabere ručni mod rada
- proračun parametara atmosfere kontejnmenta: tlaka, temperature, temperature rosišta i pripadnog parcijalnog tlaka vodene pare i kontrolirane količine ispuštenog zraka
- proračun mase zraka u kontejnmentu

- proračun sveukupnog propuštanja kontejnmenta po tehnici sveukupnog vremena i masenih točaka
- određivanje proračunske propusnosti metodom najmanjih kvadrata te proračun gornje granice propusnosti za 95 % statističku sigurnost
- praćenje i provjera različitih kriterija značajnih za uspješan završetak svake pojedine faze testa (npr. proračun EPRI (Electric Power Research Institute) kriterija za završetak osnovnog ispitivanja)
- ispis svih očitanih mjernih vrijednosti, međurezultata i finalnih rezultata kao i adekvatnih kriterija nakon svakog očitavanja instrumenata. (U tablici 2 dan je za primjer prikaz jednog takvog ispisa na printeru za vrijeme faze istjecanja. Potrebno je napomenuti da su sve veličine u danom ispisu u angloameričkim jedinicama zbog toga što je naručilac tako tražio.)
- mogućnost da se na zahtjev u toku testa grafički prikaže bilo koja očitana mjerna vrijednost, bilo koji međurezultat ili finalni rezultat u funkciji vremena (moguće je birati vremenski interval). Tako je moguće ukupno prikazati 69 različitih grafova, što uveliko olakšava praćenje testa i značajnih trendova promjena, a time i donošenje odgovarajućih odluka. Primjeri ovih grafičkih prikaza

Tablica 2. Primjer ispisa koji daje program »ILRTCOD« nakon svakog očitavanja

SUMMARY OF MEASURED DATA								Reading no. 38
DRY-BULB SENSOR TEMPERATURE READINGS degF:								
<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7</i>	<i>T8</i>	
74.9909	75.06144	76.01784	75.04440	74.84520	74.98416	75.29328	74.80776	
<i>T9</i>	<i>T10</i>	<i>T11</i>	<i>T12</i>	<i>T13</i>	<i>T14</i>	<i>T15</i>	<i>T16</i>	
74.67576	74.58240	74.73648	74.58240	74.61744	74.32224	74.41362	74.39328	
<i>T17</i>	<i>T18</i>	<i>T19</i>	<i>T20</i>	<i>T21</i>	<i>T22</i>	<i>T23</i>	<i>T24</i>	
74.17608	74.20584	74.41512	74.36496	74.09352	74.09856	74.10336	74.03904	
MEAN:	74.61969	STANDARD DEVIATION:		4650824				
DEWPOINT TEMPERATURE SENSOR READINGS degF								
<i>DPT1</i>	<i>DPT2</i>	<i>DPT3</i>	<i>DPT4</i>	<i>DPT5</i>	<i>DPT6</i>			
69.21500	0.00000	87.06330	69.23540	71.94379	75.25111			
MEAN:	70.54172	STANDARD DEVIATION:		3.1508				
ABSOLUTE PRESSURE SENSOR READINGS psia:								
<i>P1</i>	<i>P2</i>							
59.37003	59.38357							
MEAN:	59.3768	STANDARD DEVIATION:		9.573524E-03				
OUTSIDE AIR BAROMETRIC PRESSURE	psia	14.60348						
OUTSIDE AIR TEMPERATURE	degF	56.56810						
CALCULATED DATA:								
WEIGHTED AVE.DRY-BULB TEMPERATURE	degF	74.42674						
WEIGHTED AVE.DEWPOINT TEMPERATURE	degF	71.06744						
WEIGHTED AVE.WATER VAPOR PRESSURE	psia	0.37638						
AVE. CONTAINMENT PRESSURE	psia	59.37680						
AVE. CONTAINMENT AIR PARTIAL PRESSURE	psia	59.00042						
MASS POINT TECHNIQUE								
THE MEASURED CONTAINMENT AIR MASS	lbm	429364.125						
THE ESTIMATED LSF LEAKAGE RATE	%/24 hours *	-2.459644107148051D-03						
CHANGE IN ESTIMATED LSF LEAKAGE RATE FROM LAST POINT	%/24 hours	2.86813301499933D-04						
THE ESTIMATED UCL LEAKAGE RATE	%/24 hours	* 8.242031559348106D-03						
DIFERENCE (EPRI 7)	%/24 hours	.0107016758993268						
FACTOR (EPRJ 6) FOR THE LSF STABILIZ. 7	%/hour	1.698682069778442						
TOTAL TIME TECHNIQUE								
THE MEASURED LEAKAGE RATE	%/24 hours	2.66335785761476D-03						
THE ESTIMATED LSF LEAKAGE RATE	%/24 hours	-3.752663359045982D-02						
CHANGE IN ESTIMATED LSF LEAKAGE RATE FROM LAST POINT	%/24 hours	1.016640104353428D-03						
THE ESTIMATED UCL LEAKAGE RATE	%/24 hours	.1284936679697037						
VALUES FOR LAST 5 HOURS								
THE MEAN OF THE MEASURED LEAKAGE RATE	%/24 hours	-3.751489799469709D-03						
THE ESTIMATED LSF LEAKAGE RATE	%/24 hours	9.44803562015295D-03						
THE ESTIMATED UCL LEAKAGE RATE	%/24 hours	4.208168387413025D-02						

dani su u 5. poglavlju ovog članka, gdje se obrađuju rezultati

- mogućnost grafičkih prikaza samo na ekranu računala ili na ekranu računala i printeru
- mogućnost preračuna rezultata testa na novo vrijeme početka testa (npr. ako se počne s izvođenjem faze istjecanja ILRT-testa, a zatim se ustanovi da nije došlo do zadovoljavajuće stabilizacije atmosfere, u kontejnmentu, može se izabrati novo vrijeme početka testa na osnovi kojeg se preračunaju svi dotadašnji međurezultati i finalni rezultati, i to u toku rada sistema za sakupljanje i obradu podataka).

Program »ILRTCOD« pisan je u GW Basicu nadograđenom komandama za komunikaciju sa svim ostalim komponentama sistema korištenjem Hewlett Packardovog software pod nazivom »HP-IB Comand Library For MS-DOS«. Zbog osjetljivosti rezultata na točnost varijabli koje sudjeluju u proračunu, kao i praćenju vrlo velikih kumulativnih vrijednosti koje zahtijeva metoda najmanjih kvadrata korištena je dvostruka preciznost kod svih proračunavanja u programu (16 značajnih digita plus decimalni zarez).

5. PRIKAZ REZULTATA ISPITIVANJA

Ispitivanje propusnosti kontejnmenta NE Krško odvijalo se onako kako je to prikazano u sljedećoj tablici (prikaz po fazama).

Tablica 3. Terminski plan ispitivanja

Faza	Početak		Kraj		Trajanje (hh.mm)
	datum	vrijeme	datum	vrijeme	
Kompresija	1.10.1986.	23.50	4.10.1986.	5.50	54.00
Stabilizacija	4.10.1986.	8.00	4.10.1986.	16.00	8.00
Istjecanje	4.10.1986.	16.10	5.10.1986.	1.30	9.20
Verifikacija	5.10.1986.	3.00	5.10.1986.	7.00	4.00

Kompresija

Kompresija kontejnmenta NE Krško odvijala se nakon sveobuhvatnih priprema 54 sata, kako je to prikazano u tablici 2. Parametri atmosfere kontejnmenta nakon prekida rada kompresora bili su sljedeći:

- srednja temperatura zraka u kontejnmentu 24.1707 C
- srednja temperatura rosišta u kontejnmentu 21.9368 C
- srednji tlak zraka u kontejnmentu 4.1033 bar
- srednji parcijalni pritisak vodene pare u kontejnmentu 0.0263 bar
- srednji parcijalni pritisak zraka u kontejnmentu 4.0770 bar.

Iz navedenih podataka vidljivo je da je kontejnment NE Krškog bio tlačćen na puni tlak, tj. na tlak koji je bio jednak projektnoj vrijednosti.

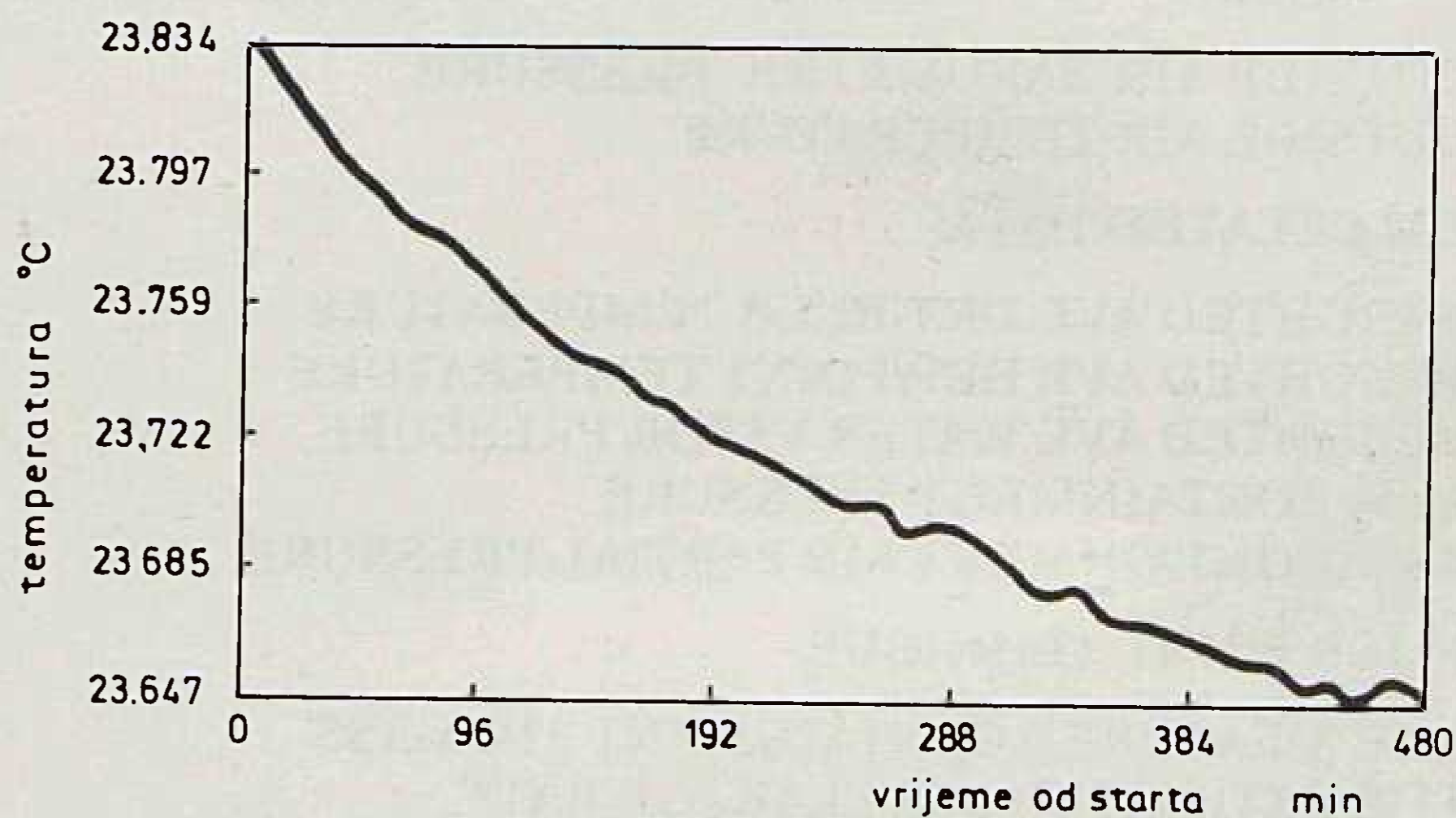
Stabilizacija

Prema zahtjevima iz [4] nakon faze kompresije, kad se u kontejnmentu postigne željeni tlak, potrebno je pričekati određeno vrijeme kako bi se temperaturno polje u kontejnmentu stabiliziralo. Stabilizacija temperaturnog polja uvjet je pristupanju osnovnom testu propusnosti. Kriterij koji treba biti ispunjen kako bi se smatralo da je stabilizacija temperaturnog polja u kontejnmentu zadovoljavajuća, jest prema [4] taj da veličina prosječne razlike između srednje vrijednosti razlika temperatura za posljednja 4 sata i razlike temperatura za posljednji sat ne prelazi vrijednost od 0.3 C/h. Minimalno vrijeme stabilizacije, bez obzira na prije navedeni kriterij, iznosi 4 sata prema [4].

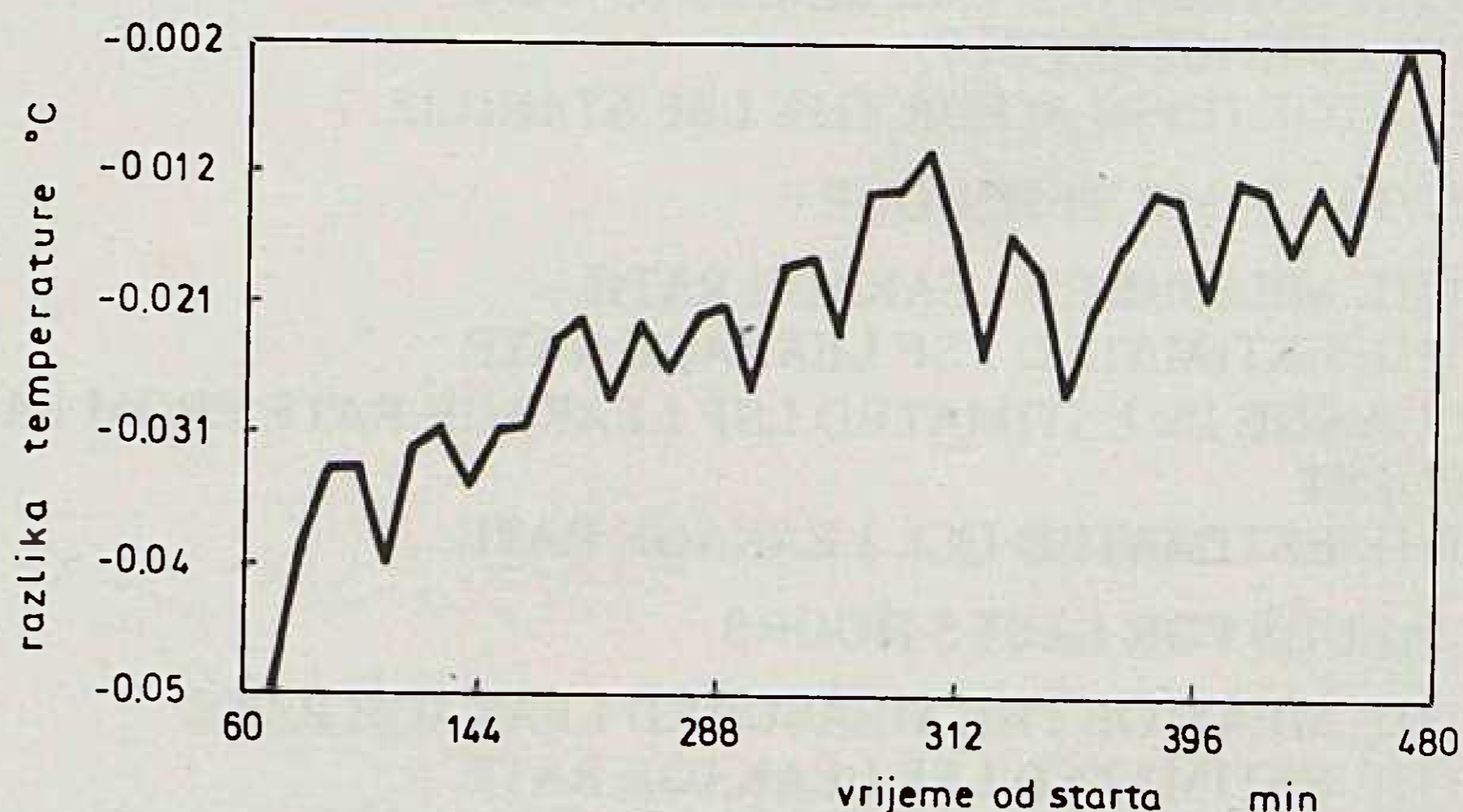
Zbog boljeg pregleda zadovoljavanja ovog kriterija u slučaju kontejnmenta NE Krško na

- slici 2. prikazana je promjena srednje temperature u kontejnmentu za vrijeme faze stabilizacije
- slici 3. prikazana je razlika srednjih temperatura u kontejnmentu u posljednjem satu
- slici 4. prikazana je razlika prosječnih srednjih temperatura u posljednja 4 sata
- slici 5. prikazan je kriterij stabilizacije temperaturnog polja u kontejnmentu, tj. kretanje prosječne razlike između srednje vrijednosti razlika temperatura za zadnja 4 sata i razlike temperature za posljednji sat.

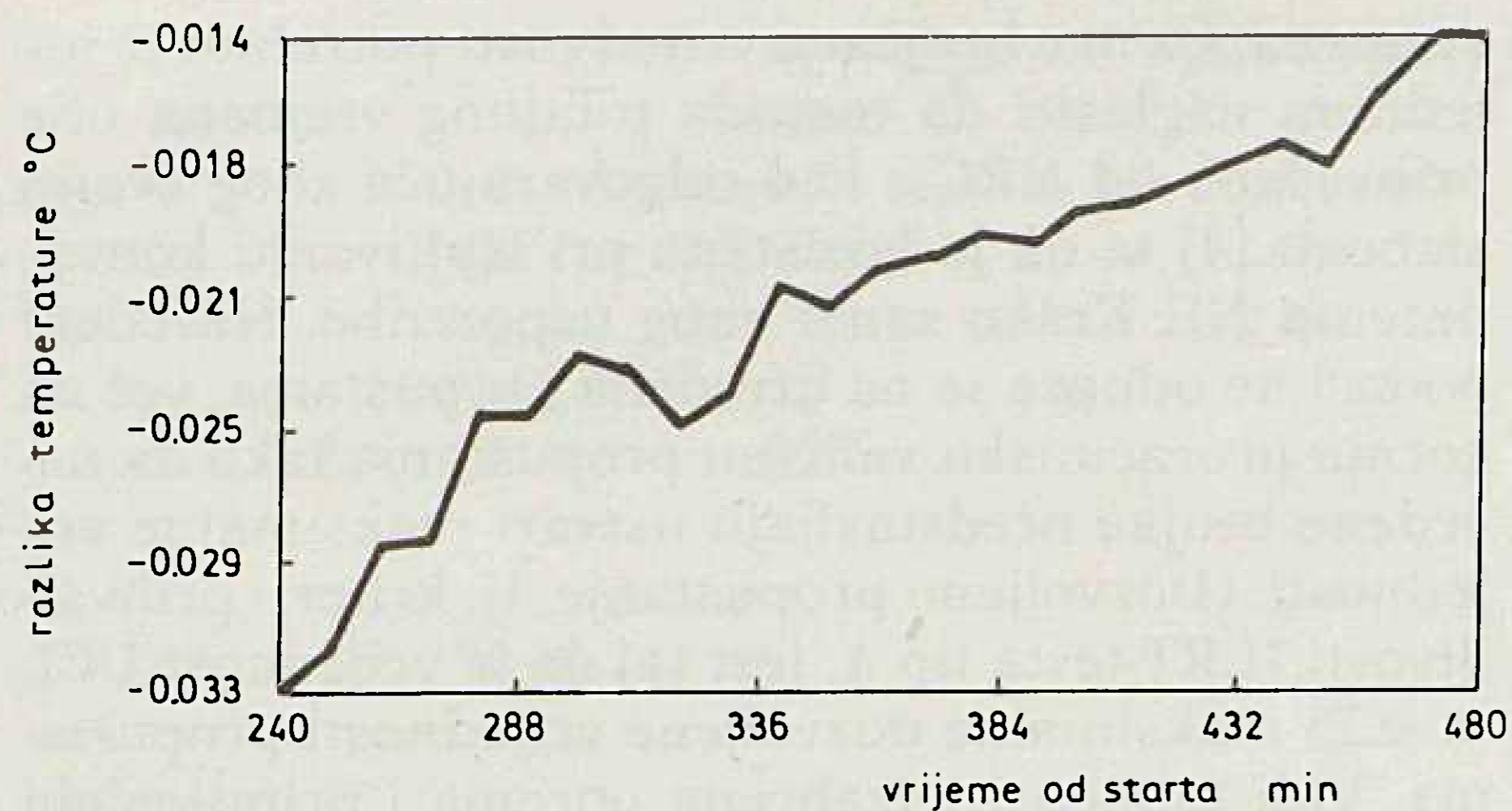
Osim navedenog kriterija za stabilizaciju atmosfere kontejnmenta praćeni su zbog usporedbe i drugi krite-



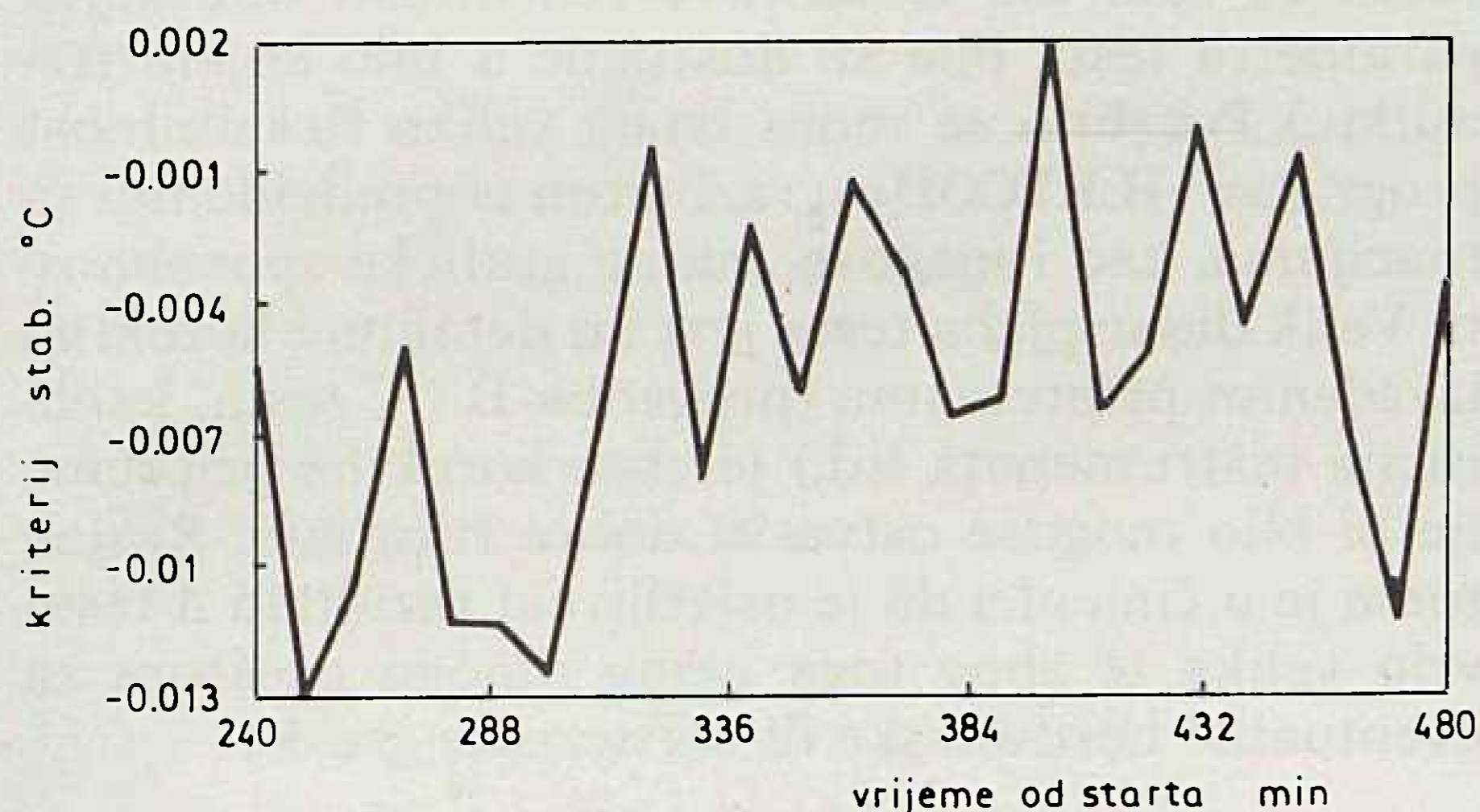
Slika 2. Temperatura zraka u kont. tokom stab. faze



Slika 3. Srednja raz. temp. u posljednjem satu



Slika 4. Srednja razlika temp. preko zadnja 4 sata



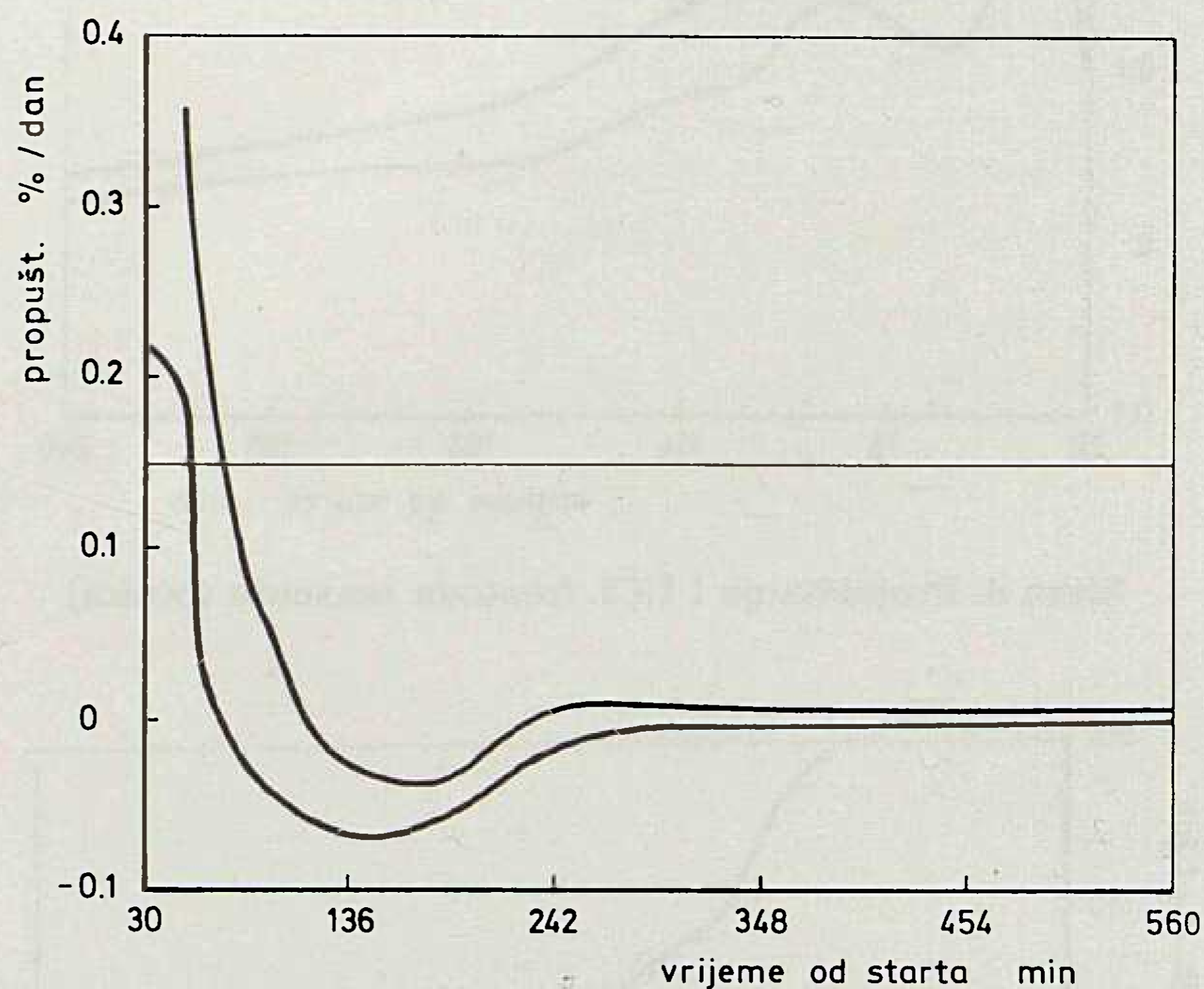
Slika 5. Razlika delta 14 — delta T1 (kriterij stab.)

riji prema [6], ali zbog nedostatka prostora oni nisu grafički prikazani u ovom članku. Fazi istjecanja pristupilo se tek pošto su bili ispunjeni svi navedeni kriteriji.

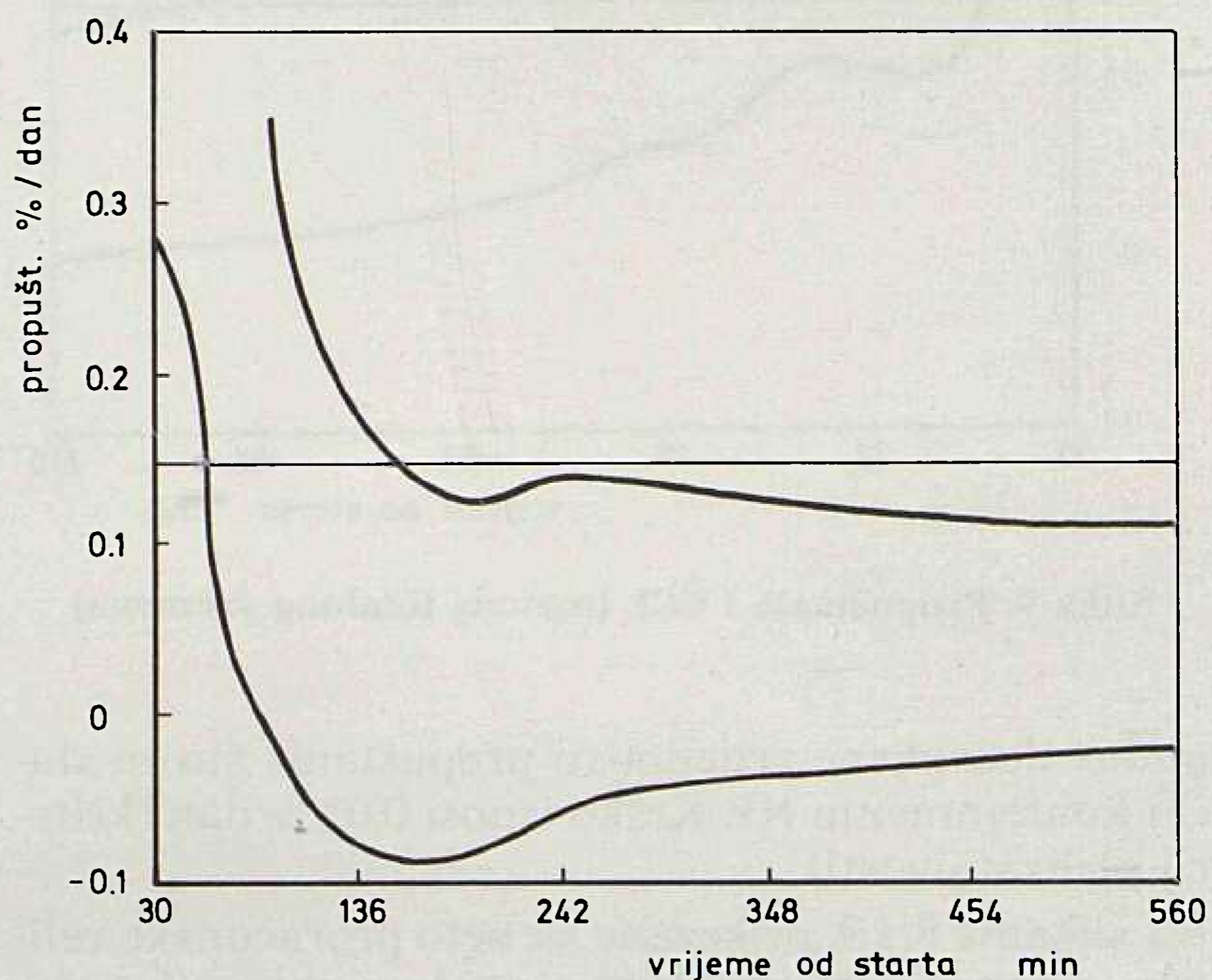
Istjecanje

Faza istjecanja najvažniji je dio testa propusnosti kontejnmenta. Prema [4 i 5] propuštanje kontejnmenta utvrđivalo se sa dvije metode: metodom masenih točaka i metodom totalnog vremena. Obadvije metode polazu regresioni pravac kroz određen set točaka te na temelju njega određuju proračunsku propusnost (Estimated LSF leakage rate). Metoda totalnog vremena korištena je samo zbog ilustracije i usporedbe s rezultatima metode masenih točaka. Razlog tome je u preporuci iz [4], koja upozorava da kod metode totalnog vremena može utjecaj slučajnih pogrešaka mjerenja osnovnih ulaznih parametara na mjerene vrijednosti propuštanja biti vrlo velik. Za svaku od primijenjenih metoda računana je gornja granica pouzdanosti koja je mjerodavna u smislu ispunjenja kriterija prihvatljivosti. Ova granica postavljena je tako da postoji vjerojatnost od 5% da je stvarna veličina propuštanja veća od iskazane, tj. proračunate. Proračunska veličina propuštanja koja uključuje u sebi i ovu gornju granicu pouzdanosti naziva se gornja proračunska veličina propuštanja (Upper confidence limit of the leakage) i često se označava oznakom UCL.

Na slikama 6. i 7. prikazane su proračunske veličine propuštanja određene metodom masenih točaka, odnosno totalnog vremena (na slikama donja krivulja), kao i pripadne, gornje proračunske veličine propuštanja (na slikama gornja krivulja). Na obadvije slike ucrtan je kriterij prihvatljivosti ispitivanja koji iznosi 0.15%/dan.



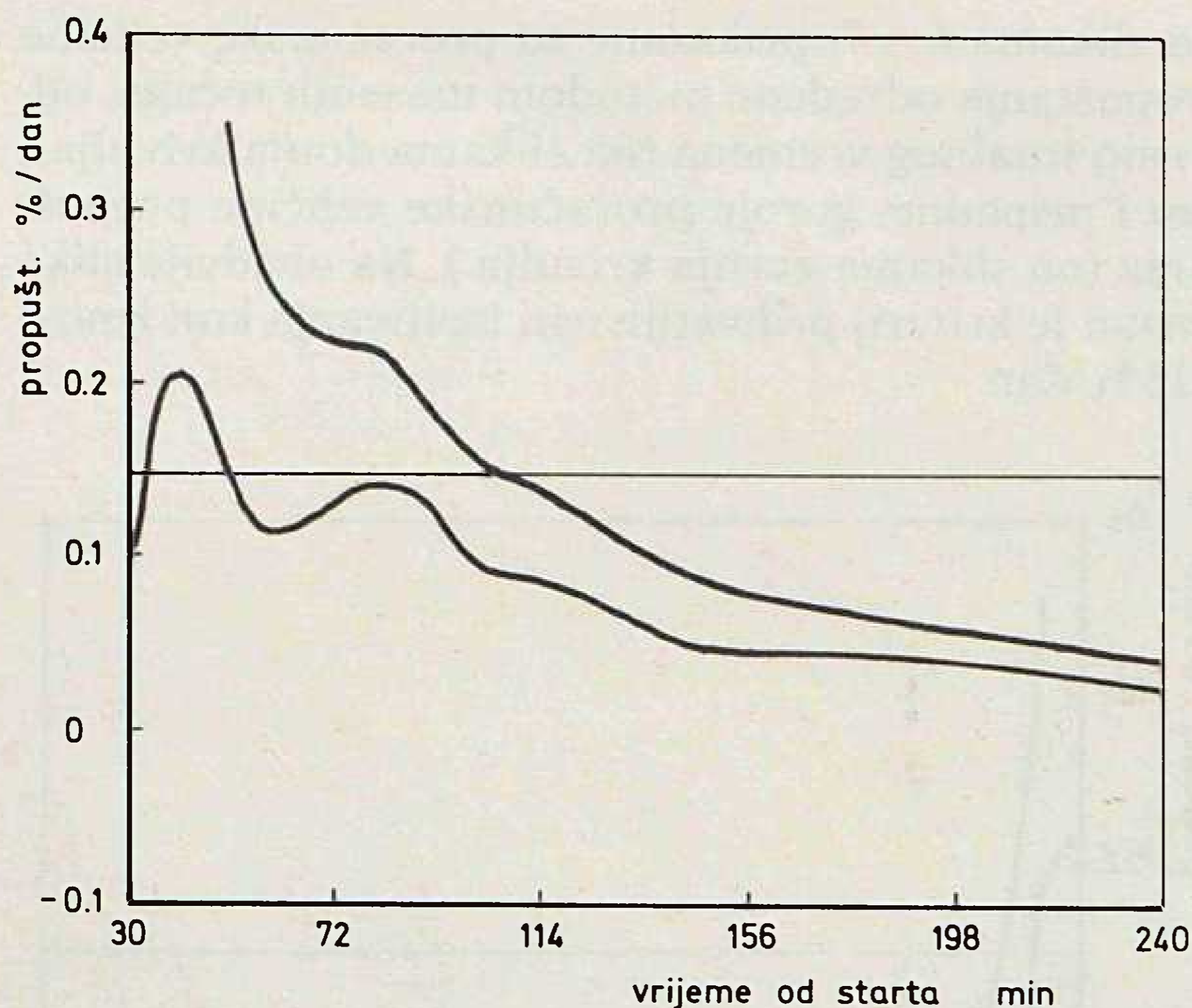
Slika 6. Propuštanje i UCL (metoda masenih točaka)



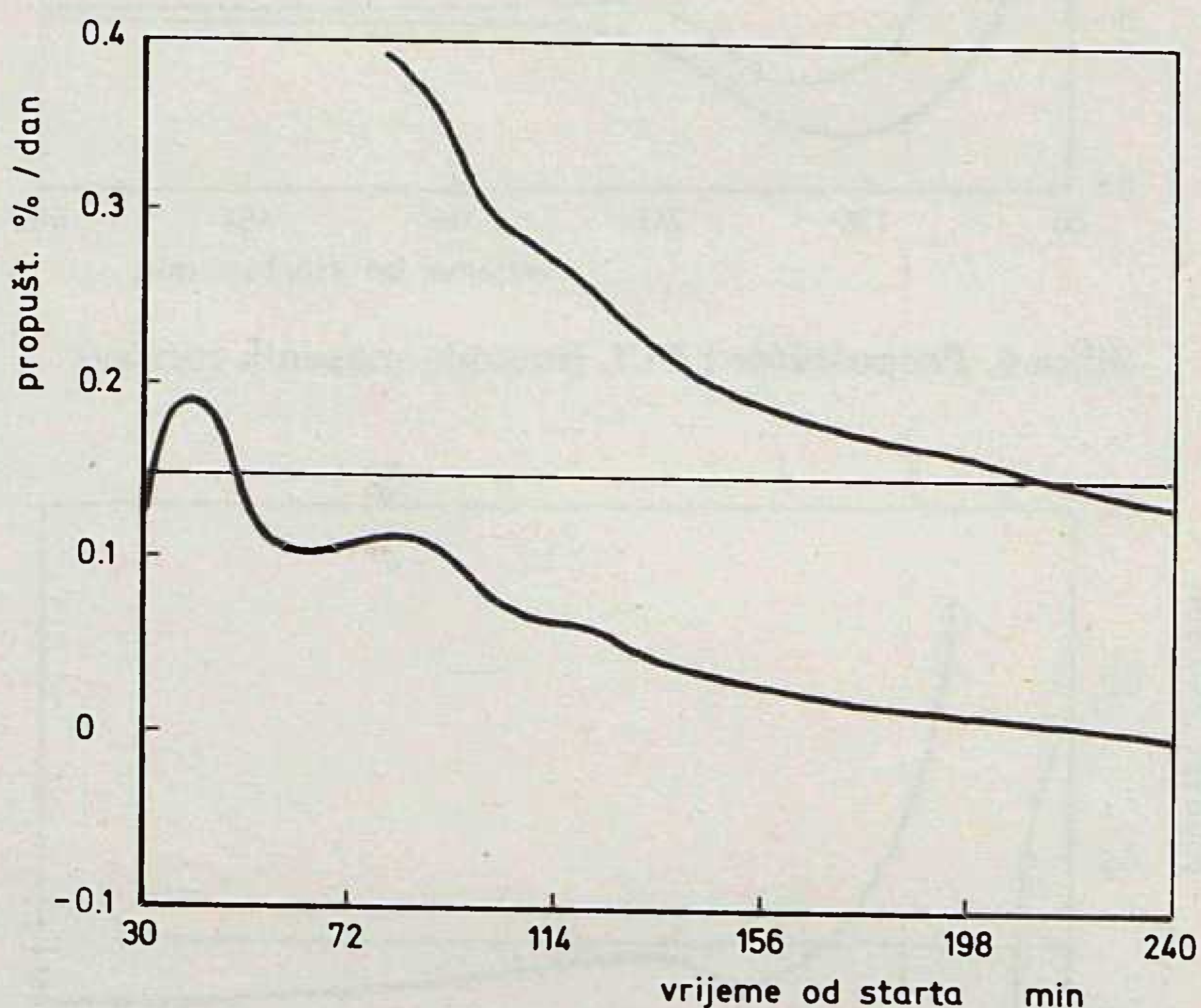
Slika 7. Propuštanja i UCL (metoda totalnog vremena)

Verifikacija

Faza verifikacije provodi se zbog toga da se potvrdi ispravnost rezultata dobivenih u fazi istjecanja. To se izvodi uvođenjem dodatnog kontroliranog ispuštanja, te se zatim provode identični proračuni kao kod faze istjecanja, s tom razlikom da se pod propuštanjem kontejnmenta razumijeva veličina ukupnog propuštanja manje veličina kontroliranog ispuštanja (tzv. neto-propuštanje). Rezultati dobiveni na taj način moraju se prema [4] poklapati s rezultatima dobivenim u fazi istjecanja u području od 0.25 maksi-



Slika 8. Propuštanja i UCL (metoda masenih točaka)



Slika 9. Propuštanje i UCL (metoda totalnog vremena)

malne dozvoljene vrijednosti propuštanja što za slučaj kontejnmenta NE Krško iznosi 0.05%/dan (kriterij prihvatljivosti).

Na slikama 8. i 9. prikazane su neto proračunske veličine propuštanja određene metodom masenih točaka odnosno totalnog vremena (na slikama donja krivulja), kao i pripadne gornje proračunske veličine propuštanja (na slikama gornja krivulja). Na obadvi je slike ucrtana je i dozvoljena granica propuštanja od 15%/dan.

6. ZAKLJUČAK

Ispitivanje propusnosti kontejnmenta u NE Krško dalo je u potpunosti zadovoljavajuće rezultate, te se može sa sigurnošću tvrditi da se propusnost kontejnmenta NE Krško kreće oko 6% dozvoljenog propuštanja prema metodi masenih točaka, odnosno oko 74% dozvoljenog propuštanja prema metodi totalnog

vremena. Uz ove brojčane vrijednosti potrebno je još jednom naglasiti da metoda totalnog vremena nije prihvaćena od NRC-a kao odgovarajuća zbog svojih slabosti [4] te da je korištena pri ispitivanju kontejnmenta NE Krško samo zbog usporedbe. Navedeni podaci ne odnose se na utvrđena propuštanja, već na gornju proračunsku veličinu propuštanja tako da navedene brojke predstavljaju ustvari maksimalne vrijednosti. (Dozvoljeno propuštanje, tj. kriterij prihvatljivosti ILRT-testa tip A, jest taj da je vrijednost UCL < 0.75 maksimalne dozvoljene vrijednosti propuštanja. Vidi tablicu 1.) Izabrana oprema i primijenjeni software pokazali su se kroz provedbu testa vrlo pouzdanim omogućivši izvođačima testa potpuni pregled svih veličina (grafički i numerički) koje su bile važne za sam tok testa. (Sve vrijednosti bilo kojeg parametra testa bile su dostupne u bilo kojem trenutku.) Posebno se mora istaći velika fleksibilnost programa »ILRTCOD« u različitim nepredviđenim situacijama, kao i njegove znatne grafičke sposobnosti. Velik dio uspjeha testa jest i u detaljno i korektno izvedenim pripremama (provedba B i C testa, kalibracija instrumenata itd.) jer bez korektne pripreme ne bi bilo moguće ostvariti dobre rezultate. Razlog tome je u činjenici da je osjetljivost rezultata A-testa vrlo velika te zbog toga nema mnogo prostora za eventualne hardvarske ili softverske greške.

LITERATURA

- [1] Code of Federal Regulations 10 CFR 60 Appendix I: »Primary Reactor Containment Leakage Testing for Water-Cooled Power Reactors«
- [2] FSAR »Final Safety Analysis Report« NE Krško 16.4.4
- [3] ANSI N.45.4-1972 American National Standard »Leakage-rate Testing of Containment Structures for Nuclear Reactors«
- [4] ANSI/ANS-56.8-1981 American National Standard »Containment System Leakage Testing Requirements«
- [5] Electric Power Research Institute, NP 3400 Research Project 1395-5, December 1983 »Criteria for Determining the Duration of Integrated Leakage Rate Tests of Reactor Containments«
- [6] Bechtel Corporations, BN-TOP-1, 1972 »Testing Criteria for Integrated Leakage Rate Testing of Primary Containment Structures for Nuclear Power Plants«

EXEMINATION OF TOTAL LEAKAGE OF CONTAINMENT IN NPP KRŠKO

In the article in discussed about base project characteristics of NPP Krško containment, measuring equipment and algorithm for data acquisition as well as analysis of data for total containment leakage and base results of examinations performed in 1986 year.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЩЕЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩЕЙ ОБОЛОЧКИ НА АЭС «КРШКО»

Описываются основные производственно-проектные характеристики герметизирующей оболочки АЭС «Кршко», применение измерительного оборудования и свойства программы сбора и, соответственно, анализа результатов исследования общей проницаемости герметизирующей оболочки, а также основные результаты исследований, выполненных на АЭС «Кршко» в 1986 году.

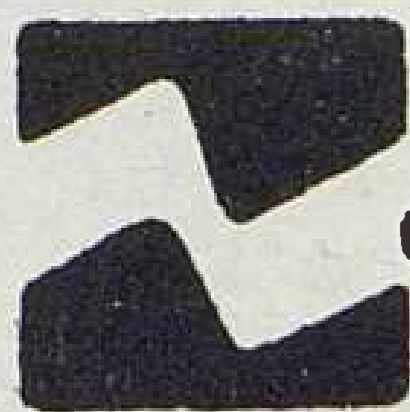
ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTEN DURCHLÄSSIGKEIT DES CONTAINMENTS IM N KRAFTWERK KRŠKO

Beschrieben werden die Grundauführungs — Projektcharakteristika des Containments in Krško beschrieben, sowie die Anwendung der Vermessungsausrüstung. Weiter spricht man über die Besonderheiten des Programms für die Analyse der Untersuchungsergebnisse der gesamten Durchlässigkeit des Containments sowie die wichtigsten Resultate der Untersuchungen im Kraftwerk Krško im Jahr 1986.

Naslov pisca:

Mr. Berislav Nadinić, dip. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1986-11-08



elektrolux - rijeka

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

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

U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

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

RO ELEKTROLUX

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR Elektroprenos

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:

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

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

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

MOGUĆNOSTI DOMAĆE INDUSTRIJE PRI GRAĐENJU VELIKIH TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

Dr. Dubravko Matanić — Milivoj Krejči, Zagreb

UDK 621.311.22.002

PREGLEDNI RAD

U članku se iznose informacije o do sada ostvarenom sudjelovanju domaće industrije u proizvodnji opreme za termoenergetske izvore velikih snaga, procjene njezinih realnih mogućnosti, a na primjeru kotlogradnje iznose se osnovni problemi.

Ključne riječi: energetika, domaća industrija, proizvodnja opreme.

Ocjena mogućnosti domaće industrije za proizvodnju energetske opreme uvijek je predmet za diskusiju kad se pripremamo za gradnju nekog većeg objekta.

Ovisno o stavu i primjenjenim kriterijima, ocjena mogućnosti kreće se od krajnje pesimistične do krajnje optimistične.

Izuzmemo li krajnosti, vjerojatno ćemo se složiti u ocjeni da ova strateški značajna industrijska grana gubi trku s tehnološkim razvojem i potrebama energetskog sistema zemlje.

Da bi bila stvorena osnova za argumentiraniju ocjenu, Institut za elektroprivredu je u suradnji sa Zajednicom elektroprivrednih organizacija Hrvatske, »Rade Končarom«, TPK-om, »Đuro Đakovićem«, ATM-om, »Montingom«, »Jugoturbinom« i »Elektroprojektom« izradio »Studiju o mogućnosti razvoja i uključivanja domaćih proizvođača osnovne i pomoćne opreme za program izgradnje termoelektrana na području SAP Kosovo za potrebe SRH i drugih republika i pokrajina«. Povod za izradu ove studije bila je planirana izgradnja većeg broja unificiranih blokova na području SAP Kosovo. Studija se, međutim, bavi principijelno pitanjem izgradnje bloka veće snage no bilo koje fosilno gorivo, dakle nevezano na lokaciju. Nadalje, iako su rezultati studije dobiveni na osnovi obrade samo proizvođača iz SRH, mogu se smatrati reprezentativnim i u smislu jugoslavenskih mogućnosti zbog toga što su u SRH prisutni proizvođači svih tipova opreme za termoelektrane. Baveći se i rudarskom opremom i opremom za termoelektrane, Studija nastoji dati odgovor na tri osnovna pitanja:

- kakvo je do sada realizirano učešće domaćih proizvođača opreme
- kakve su potrebe energetskog sistema
- kakve su stvarne mogućnosti domaće industrije da opremi termoenergetski blok snage reda veličine 300 MW?

Osnova za procjenu dosada realiziranog, kao i mogućeg učešća bili su postoci fizičkih udjela pojedine vrste opreme u TE snage reda veličine 300 MW.

Naime, podaci kojima se vrlo često barata, bazirani na financijskim pokazateljima vezanih za razne valute i tečajeve, redovito daju iskrivljenu sliku. U velikom raznovrsju energetske opreme različitih proizvođača iz raznih zemalja, uzimajući u obzir i uz to vezane svakovrsne kreditne aranžmane gotovo je nemoguće pronaći pravu mjeru vrednovanja sudjelovanja pojedinog isporučioaca koja bi istovremeno bila i objektivna.

Svaki od objekata ima svoju vlastitu povijest čvrsto vezanu za vrijeme zbivanja.

Opasnosti uspoređivanja dobrim je dijelom moguće izbjeći primijenimo li kriterije, uvjetno rečeno, fizičkih udjela u isporuci opreme. Iako svako pojedino tehničko rješenje primijenjeno na pojedinoj lokaciji svojim specifičnostima uvjetuje raspodjelu fizičkog učešća pojedinih vrsta opreme, ipak spektakularne razlike uglavnom nisu moguće.

Suvremeni podaci ovog tipa autorima studije nisu bili dostupni. Ocijenili smo prihvatljivim da se koristimo podacima proizašlim iz recenzije investicijskih programa izgradnje termoenergetskih objekata SRH.

U spomenutu materijalu na osnovi paralelne analize više objekata utvrđen je red veličine pojedinih vrsta troškova.

Ovi podaci utvrđuju globalne udjele pojedinih pozicija troškova (v. tablicu 1).

Ovom specifikacijom nisu obuhvaćeni troškovi interkalarnih kamata, društvenog standarda i obrtnih sredstava.

Navedeni podaci razlikuju se od onih iz drugih izvora, čemu je više razloga, počevši od vremena u kojem su prikupljeni (nova rješenja i napredak proizvodnje

mijenjaju udjele), pa do zemlje iz koje podaci potječu.

Tablica 1.

1. Građevinski radovi	15,5	
2. Oprema i troškovi opreme	74,0	
2.1. Strojarska oprema	46,0	
2.2. Elektro oprema	12,0	
2.3. Oprema MRA	4,5	
2.4. Ostali troškovi opreme	11,5	
2.4.1. Transport		1,7
2.4.2. Transport i montažno osiguranje		0,6
2.4.3. Montažni radovi i ispitivanje		9,2
3. Ostali troškovi	10,5	
Ukupno	100,0	

Tablica 2. Struktura učešća pojedinih pozicija strojarske opreme u skladu s naprijed navedenim izvorom

2.1.1.	Kotlovsko postrojenje	63,0
2.1.2.	Turbinsko postrojenje s termičkom pripremom	22,5
2.1.3.	Postrojenje za čišćenje kondenzatora	0,5
2.1.4.	Transport i priprema ugljena	5,0
2.1.5.	Doprema i priprema tekućeg goriva	0,3
2.1.6.	Doprema i priprema plinovitog goriva	0,1
2.1.7.	Otprema šljake i pepela	0,9
2.1.8.	Rashladni sistem	2,7
2.1.9.	Kemijska priprema vode	0,7
2.1.10.	Dizalice i liftovi	1,0
2.1.11.	Sistem vrelovodnog grijanja i industr. pare	2,5
2.1.12.	Pomoćna kotlovnica	1,0
2.1.13.	Pomoćna postrojenja	0,5
2.1.14.	Tehnološka, pitka i protupožarna voda	0,2
2.1.15.	Oprema radionice i skladišta	0,5
2.1.16.	Grijanje, ventilacija, klimatizacija i sl.	0,25
2.1.17.	Ostalo	4,0
2.1.	Strojarska oprema – ukupno	105,65

Ovi podaci nisu sasvim univerzalni jer variraju ovisno o primijenjenom tehničkom rješenju, o gorivu, kao i tome da li je objekt prvi na predmetnoj lokaciji ili već postoje drugi objekti u radu. Stoga i suma podataka za strojarsku opremu nije 100 u tablici koja pretendira da bude univerzalna.

Analiza 11 većih termoenergetskih objekata puštenih u pogon u razdoblju 1975 – 1980. daje sljedeće pokazatelje:

Iako je ukupno učešće domaćih organizacija u svim aktivnostima izgradnje objekata ukupno 43%, pažljiva analiza pokazat će krajnje nezadovoljavajući udio domaće strojogradnje u isporuci opreme. Tako je učešće domaće strojogradnje u isporuci opreme za 11 anketiranih objekata samo 11,4, elektrostrojogradnje 29,2 a industrije mjernoregulacijske opreme samo 9,3%, što ukupno za opremu iznosi 14,7%.

Tablica 3. Struktura učešća pojedinih pozicija elektroopreme

Pozic.	Naziv elektroopreme	Postotak učešća
1.	Sinhron. generator s uzбудom	23,5
2.	Energetski transformatori	13,0
2.1.	Visokonaponsko postrojenje	7,0
2.2.	Srednjenaponsko postrojenje	7,3
2.3.	Niskonaponsko postrojenje	6,5
3.	Rasklopno postrojenje	20,8
4.	Elektromotori	8,5
5.	Oklopljeni strujni vodovi	3,5
6.	Uređaji za zaštitu, mjerenje i upravljanje	5,4
7.	Izvori sigurnosnog napajanja	5,1
8.	Kabeli	7,0
9.	Unutrašnja i vanjska rasvjeta	3,5
10.	Uzemljenje i gromobran	1,4
11.	Pomoćna oprema, elektrofilteri i ostalo	9,1
		100,8

Tablica 4. Struktura vrijednosti opreme MRU za blok 200 – 300 MW

Red. broj	Vrsta opreme	Učešće u ukupnoj vrijed. opreme MRU		Napomena
		stupanj automatizac. niži	viši	
1.	Mjerenja	24	12	
2.	Regulacije s regulac. ventilima i servomotorima	22	24	
3.	Upravljanje	19	27	
4.	Informacijsko računalo	13	12	
5.	KRD	2*	3**	*za 200 signala **za 800 signala
6.	Signalizacija	1	1	
7.	Komanda	8	10	
8.	Montažni materijal	11	11	

Ovo se učešće kod strojarske opreme svodi na sljedeće pozicije: učešće u izradi kondenzatora, učešće u isporuci poneke pumpe, djelomično učešće u isporuci cjevovoda i armatura niskog tlaka, učešća sa stranim partnerima u kompletiranju transporta ugljena i pepela, izradi tlačnih posuda i cjevovoda za kemijsku pripremu vode i obradu kondenzata, izradu metalnih konstrukcija i dizala, isporuku kompresora i slično.

Kod elektropostrojenja situacija je u globalu najpovoljnija jer je u tu opremu ugrađeno i najviše domaćih rješenja.

Na svim obrađenim objektima puštenim u pogon u razdoblju 1976 – 1980. god. relativni udio elektroopreme je najveći. Gledano u apsolutnim iznosima udio ipak nije velik jer postotni udio elektroopreme u ukupnoj opremi iznosi tek oko 12%.

U svakom slučaju industrija za proizvodnju elektroopreme, uz to što je ostvarila veće relativno učešće, ostvarila je i kvalitetnije učešće, jer je, iako rijetko, isporučila ipak samostalno praktički sve dijelove elektroopreme osim zaštite.

Time je ona pokazala svoju sposobnost da uz drugačiji tretman ove opreme (osiguranje mogućnosti kreditiranja) zauzme dominantno mjesto u isporukama opreme za domaće termoelektrane.

U slučajevima kada je isporučivana oprema mjerenja, regulacije i automatike ona je i pokrivena vlastitim projektnim rješenjima, pri čemu su u svim slučajevima prisutni aranžmani s inozemnim partnerom.

Udio domaće industrije opreme za mjerenje, regulaciju i automatiku u ukupnom udjelu je malen ali kvalitetan. Njime je, kao i kod elektroopreme, dokazana sposobnost ove industrije da zauzme značajnu ulogu u opremanju domaćih termoelektrana.

Da bismo pokazali kolik je raskorak između ostvarenja i mogućnosti, prezentirat ćemo kakvo je učešće moguće uz postojeće proizvodne kapacitete.

Rezultati analize mogućnosti domaće industrije da u opremu termoenergetskih blokova velikih snaga ugradi domaći materijal i rad mogu se u osnovi svesti na sljedeće konstatacije:

Maksimalno moguće učešće domaće industrije u isporuci opreme za blokove snaga reda veličine 200 MW s postojećim proizvodnim snagama i domaćom proizvodnjom reprodukcijanskog materijala iznosi:

za strojarsku opremu	70%
za elektro opremu	78,7%
za opremu MRA	76%
<hr/>	
za opremu – ukupno oko	71,58%.

To učešće moglo bi se ostvariti u proizvodnji jednog bloka te snage s obzirom na to da pri proizvodnji kotla postoji ograničenje u proizvodnji dijelova pod tlakom na količine potrebne za 1,5, a kod generatora za jedan blok godišnje. Ako pretpostavimo da bi mogućnosti domaće industrije ostale duže vrijeme neizmijenjene, tada bi njeno učešće u zadovoljavanju potreba domaće elektroprivrede moglo maksimalno iznositi za cjelokupnu opremu:

kod izgradnje 3 bloka godišnje	oko 64,3%
kod izgradnje 4 bloka godišnje	oko 61%

Kako vidimo iz podataka, domaća industrija je, unatoč relativno zaostajanju za potrebama elektroprivrede, u stanju da u opremi bloka 300 MW ugradi više od 60% domaćeg rada i materijala, dakle oko četiri puta više od onog što je do sada ostvarivano pri gradnji termoenergetskih objekata.

Prezentirani pokazatelji, iako dostižni, predstavljaju cilj koji je dosta teško dostići. Osnovni preduvjeti, stvaranje atmosfere za promoviranje domaće industrije, prikladnih organizacionih formi i, što je osnovno, osiguranje financijskih sredstava da bi se ova industrija mogla opremiti kako infrastrukturom, tako i kadrovima već su dugo predmet samo deklarativnog izjašnjavanja, a ne i konkretnih akcija.

Domaća industrija posjeduje, naime, programe razvoja koji se ili mukotrpo ili nikako ne ostvaruju.

Jedini proizvođač parnih turbina u zemlji — »Jugoturbina« — već je neko vrijeme u izgradnji tvornice velikih turbina. Jugoturbina je sporazumom sa švicarskom tvrtkom BBC osigurala da u budućnosti može proizvoditi turbine do 1 000 MW, čime bi u dogledno vrijeme bile pokrivena potrebe izgradnje energetskog sistema zemlje.

»Rade Končar«, najkompletniji proizvođač elektrooprema za termoelektrane, u osnovi svoj razvoj gradi na vlastitim rješenjima.

Ako bi u dogledno vrijeme osnovna jedinica sistema ostala ona od 300 MW, »Rade Končar« bi uz stanovišta ulaganja u infrastrukturu mogao pokriti potrebe izgradnje.

Iako se studija ravnopravno bavi svim tipovima opreme zastupljene u termoelektrani, zbog ocjena da je najkritičnija situacija u kotlogradnji na ovom mjestu iznijet ćemo nešto detaljniju situaciju i perspektive upravo u tom području. Naime, stanje razvoja kotlogradnje na najreprezentativniji način ilustrira tehnološko zaostajanje u protekla dva desetljeća.

Prije 20 — 25 godina domaća je kotlogradnja bitno manje zaostajala za Evropom i stalno je bila prisutna težnja da se taj zaostatak smanji. Danas je pak evidentan velik zaostatak, i to ponajprije u znanju a manje u opremi.

Da bi se dobio stvaran uvid u problematiku i mogućnosti domaće kotlogradnje, nužno je razmotriti:

- tehnološke mogućnosti
- proizvodne mogućnosti
- mogućnosti subliferacije
- inženjering mogućnost

jer tek sve ove komponente zapravo čine kotlovsko postrojenje.

Tehnološke mogućnosti

Razumljivo je i potpuno logično da razmatranja o domaćim mogućnostima na području inženjeringa u izradi kotlova u sebi sadržavaju i mogućnosti tehnologije za izradu kotlova.

Treba pritom naglasiti da kod određenih proizvoda skok u tehnološkim mogućnostima može biti posljedica recimo nabavke određenog stroja za proizvodnju određenih elemenata, no često to može biti posljedica isključivo znanja i iskustva nužnih za projektiranje i izvedbu tehnološkog procesa.

Proizvodnja kotlova, točnije tlačnog sistema kad govorimo o velikim visokotlačnim kotlovima, upravo je najbolji primjer za to. Uvjeti rada dijelova postrojenja, posebno tlačnog sistema, pri vrlo velikim pritiscima, a nekih i pri vrlo visokim temperaturama upravo nameću rješavanje čitavog niza tehnoloških problema u proizvodnji koje domaći proizvođači neki više, a neki manje uspješno rješavaju, no istovremeno neki dijelovi takvog sistema mogu se proizvesti

samo uz primjenu specijalnih strojeva. Može se konstatirati da su tehnološke mogućnosti proizvođača kotlova određene njegovim tehnološkim mogućnostima na izradi tlačnog sistema. Za izradu modernih velikih kotlova, točnije njihova tlačnog sistema, danas se upotrebljavaju materijali St 45.8 15Mo3, 13 Cr Mo 44, 15 NiCr MoNB 5 (WB-36), 10 Cr Mo 910, X 20 Cr Mo V 121. Osim St 45.8, očito je da se radi o legiranim materijalima. Pri razmatranju tehnoloških mogućnosti izrade domaćih dijelova pod tlakom treba razlikovati:

- izradu bubnjeva, separatora pare odnosno debelostijenih posuda
- izradu cijevnih sistema GP (posebno se misli na membranske cijevne stijene i cijevne pakete pregrijača, međupregrijača i ekonomajzera)
- izradu visokotlačnih cjevovoda i kolektora.

Domaće tehnološke mogućnosti su takve da se potrebni materijal može obraditi za potrebe izrade raznih debelostijenih posuda do debljine stijenke od 120 mm, što se praktički javlja kao vrijednost debljine limova za bubnjeve.

Budući da se kod protočnog GP pojavljuju separatori koji su u pravilu manjeg promjera a samim time i manjih debljina stijenki, može se konstatirati da domaće mogućnosti ovdje u potpunosti zadovoljavaju.

Domaća industrija kotlova danas je u potpunosti ovladala tehnologijom nužnom za obradu i zavarivanje svih srednjelegiranih materijala do uključivo materijale 10 Cr Mo 910, dok znatno više napora zahtijeva tehnologija obrade i zavarivanja materijala X 20 Cr Mo V 121. Pritome se manji problemi javljaju pri izradi cijevnih paketa pregrijača, a veći su problemi u području debelostijenih cijevi i kolektora.

Ista je situacija i na području visokotlačnih cjevovoda, gdje se najveći problemi javljaju pri obradi i zavarivanju cijevi, kolektora i dr. od materijala X 20 Cr Mo V 121.

Proizvodne mogućnosti

Treba naglasiti da pri analiziranju domaćih proizvodnih količinskih mogućnosti limitirajućom proizvodnjom treba smatrati proizvodne mogućnosti elemenata tlačnog sistema GP. Ovo je i logično s obzirom na to da su to složeniji dijelovi samog postrojenja. Ostali dijelovi su manje tehnološke složenosti i može se uključiti veći broj proizvođača, pa nosiva konstrukcija GP, galerije, stepenice, oplata kotla i dr. ne mogu biti limitirajućim dijelovima. Postrojenja kao uređaji za loženje, transport goriva i pepela također se mogu izraditi u relativno većim količinama od onih za tlačni sistem. Na bazi rečenoga, uzevši u obzir rad u dvije smjene, mogu se proizvodne mogućnosti domaćih proizvođača kotlovske opreme na tlačnom sistemu ocijeniti kako slijedi:

- membranske cijevne stijene oko 1 000 t/god.
- savijeni cijevni sistemi (ekonomajzer, pregrijači, međupregrijači) 2 500 t/god.

— izrada kolektora	600 t/god.
— izrada raznih cijevnih priključaka i nastavaka	200 t/god.
— izrada raznih cjevovoda	1 000 t/god.
ukupno:	5 300 t/god.

Za kotlovske jedinice koje se grade za 300 MW postrojenja a to su GP oko 278 kg/s produkcije, tlačni sistem se sastoji od

— membranske cijevne stijene	oko 600 t
— komore, razne	oko 300 t
— razne spojne cijevi	oko 120 t
— savijeni cijevni sistemi	oko 980 t
ukupno:	oko 2 000 t

Uspoređujući te podatke s danim proizvodnim kapacitetom, može se konstatirati da na tlačnom sistemu domaće mogućnosti iznose oko 1 – 2 × 300 MW blok godišnje, pri čemu u tvornicama ostaju veće ili manje rezerve za izradu manjih industrijskih kotlova. Kritisnom se javlja proizvodnja membranskih cijevnih stijena.

Mogućnosti subliferacije

S obzirom na svoju složenost sasvim je logično da se danas kotlovske postrojenja ne sastoji samo od kotla već i od niza ostalih gotovih tehnoloških cjelina i poluproizvoda. Također, u samom kotlu ugrađeno je mnogo ostale opreme koja nije proizvod organizacija koje proizvode kotlove. Iako je danas na području proizvodnje kotlovske jedinice pravo šarenilo u pogledu granica proizvodnje pojedinih kotlovske tvrtke, ipak se u globalu može konstatirati da kotlovske tvrtke prvenstveno proizvode kotlove, a sve ono što je izvan kotla neke kotlovske tvrtke proizvode, a neke ne.

U ovim razmatranjima se kotlom u užem smislu smatra onaj dio kotla koji čine njegove izmjenjivačke površine. Drugim riječima, to je tlačni sistem kotla i zagrijač zraka u kojem se zrak zagrijava produktima izgaranja. Ovome još treba samo dodati uređaj za izgaranje. Pritom se i kod ovako uske definicije kotla susrećemo sa situacijom da postoje specijalizirane tvrtke koje proizvode samo uređaje za izgaranje ili, recimo, regenerativne zagrijače zraka. Ipak većina kotlovske tvrtke proizvodi i uređaje za izgaranje i RZZ, što s kotlom čini jednu tehnološku cjelinu.

Tlačni sistem GP sastoji se uglavnom od jedne ili više posuda pod tlakom i sistema cijevi raznih kvaliteta i dimenzija. Sve je to dizajnirano i povezano u cjelinu.

Bez obzira na to o kojoj se veličini blokova radi, kvaliteta ugrađenih cijevi ovisit će o radnom tlaku i temperaturi, tako da se za načelne parametre (180 bar) ima sljedeća orijentacijska upotreba materijala za tlačni sistem:

Materijal cijevi	Udio u ukupnoj težini tlačnog sistema (%)	Napomena
St 45.8	22	
15 Mo 3	50	
13 Cr Mo 44	4	
15 Ni Cr Mo Nb 5	2,5	za posude pod tlakom (separatori i bubnjevi) Oznaka WB 36
10 Cr Mo 910	15,0	
X 20 Cr Mo V 121	6,5	

Domaća metalurška industrija ne proizvodi cijevi ni od jednog od spomenutih materijala. Svi spomenuti materijali upotrebljavaju se za izradu cijevi, osim 15 Ni Cr Mo Nb 65, koji se izrađuje kao kotlovski lim.

Uz pretpostavku da će domaća kotlogradnja za neko vrijeme usvojiti proizvodnju kotlovskih jedinica visokih tlakova (vjerojatno po stranim licencama), veoma će se nepovoljno u tom trenutku odraziti činjenica da domaća metalurgija nije u stanju pratiti razvoj prerađivačke industrije za energetiku, što je djelomično i danas slučaj, ali je manje izražen zbog posvećenije orijentacije naše industrije na uvoz repromaterijala.

Najveći dio ostale opreme uz GP domaća je strojogradnja (Đ.Đ. MINEL i dr.) u stanju isporučiti, ali se pojedini dijelovi opreme moraju uvesti.

Inženjering

Moderna kotlovska postrojenja za blokove snage 300 i više MW danas su se toliko razvila u pogledu složenosti i u pogledu veličina da i najrazvijenije tvrtke više ne pristupaju same izradi ovakvih postrojenja, već se od slučaja do slučaja povezuju s nekim drugim tvrtkama. Ovo je važno napomenuti kako bi se jasnije sagledala činjenica da je danas teško govoriti o inženjeringu kotlovskih postrojenja kao cjelini, posebice sa stajališta ocjene mogućnosti domaćih proizvođača kotlovskih postrojenja. Ako bi danas ovako integralno sagledavali te mogućnosti, tada se bez daljnega može izreći ocjena da danas kod nas ne postoje znanja koja bi omogućila vođenje i izvršenje inženjeringa kod kotlovskih postrojenja blokovskih jedinica velikih snaga.

Činjenica je, međutim, da danas u svijetu postoji svega nekoliko tvrtki koje na čitavom području kotlovskog postojenja nude isključivo vlastita rješenja i kompletan inženjering.

Gledano u tom svjetlu, radi cjelovitog sagledavanja mogućnosti domaćeg inženjeringa, ima smisla razmatrati sljedeće:

- a) Inženjering za cjelokupno kotlovska postrojenje
U sklopu toga nužno je imati dovoljno znanja da se svi ostali uređaji i oprema povežu u zajedničku funkcionalnu cjelinu. Opseg znanja mora biti takav da se na osnovi baznih inženjeringa može dati inženjering za cjelokupno postojenje, i to od faze

koncipiranja postrojenja do puštanja u pogon. Pod baznim inženjeringom treba razumijevati inženjeringe za pojedinu opremu ili tehničko-tehnološke cjeline, kako je ovdje u nastavku dano. Pritom dalje navedeni »inženjerinzi« nemaju jednaku težinu. Posebno su značajni oni pod b) i c), koji između ostalog daju i tehnološke uvjete za koncipiranje i projektiranje opreme za MRA.

- b) Inženjering za GP u užem smislu
Tu se prije svega misli na sam tlačni sistem GP kao specifičan problem.
- c) Inženjering za postrojenje za loženje
Obuhvaća od dodjeljivača ugljena do gorača na GP (znači, ventilatori — mlinovi, recirkulacija dimnih plinova, dovod do gorača), sve zajedno ukomponirano u funkcionalnu cjelinu.
- d) Inženjering za nosivu konstrukciju GP
Ovdje, jasno, nije bitno rješenje galerija i stepenica, već nosiva konstrukcija GP koja mora riješiti pitanje zavješanja velikih masa na velikoj visini, te riješiti probleme dilatiranja GP prema dolje i u horizontalnom smjeru, ovisno o koncepciji GP
- e) Inženjering za izolaciju i ozid GP
- f) Inženjering za cjevovode
Ovaj se inženjering razvio porastom parametra radnog medija u parno-vodenom ciklusu. Današnji nivo tlakova i temperatura zahtijeva posebna znanja u projektiranju, izvođenju i eksploataciji visokotlačnih cjevovoda, što je, jasno, dovelo do specijalizacije stručnjaka u tom smjeru, a i osnivanja tvrtki koje se bave isključivo tom problematikom.

Danas je nedvojbeno da domaći ponuđači kotlovske opreme ni pojedinačno ni zajedno nisu u mogućnosti niti po skupljenom iskustvu, niti znanju, niti po raspoloživom stručnom kadru preuzeti i uspješno obaviti inženjering cjelokupnog kotlovskog postrojenja za blokove snage 300 i više MW isključivo »domaćom pameti«.

ad b) Inženjering za GP

Ovo je svakako najznačajniji od svih »baznih« inženjeringa jer se u početnoj fazi razvoja kotlogradnje sam GP nije dijelio od kotlovskog postrojenja. Danas se, međutim, dijeli, a to je posljedica razvoja GP vrlo velikih kapaciteta i dimenzija, usloznjavanja procesa u GP, kao i zbog niza novih zahtjeva na postrojenje. Razvoj GP i tehnike izgaranja doveo je do toga da se pojedini specijalisti, recimo za probleme loženja, moraju godinama baviti samo tom problematikom, da se ljudi specijaliziraju samo za probleme cirkulacije kroz GP itd., dok je nekad sve to koncipirao i zasni-vao jedan iskusni projektant GP.

Imajući na umu rečeno o dosadašnjem razvoju domaćeg kotlogradnje, može se konstatirati:

- Mogućnosti domaćeg kotlogradnje na području inženjeringa za GP kreću se do jedinica produkcija oko 28 kg/s pregrijane pare, 420 – 450 °C i tlaka do 90 bar i to kako kod loženja krutim, tako i kod loženja tekućim gorivom i plinom.

Upravo ta činjenica potvrđuje ranije rečeno, jer je evidentno da naši proizvođači GP imaju vlastita rješenja GP do 28 kg/s a oslanjajući se na »bazni« inženjering za GP mogu dati inženjering kod gradnje postrojenja do 56 kg/s, dakako, loženo ugljenom. Ovdje treba napomenuti da domaći proizvođači, prema vlastitim navodima, posjeduju dokumentaciju i za nešto veće jedinice — do 42 kg/s na ugljen, odnosno 56 kg/s na plin i T-ulje, ali do sada nisu prema toj dokumentaciji i izvodili kotlove.

ad c) Inženjering za postrojenje za loženje

Ovo je jedan od »baznih« inženjeringa kotlovskog postrojenja, koji je uz inženjering za GP svakako najvažniji.

Posebice na ovom području primarno značenje ima iskustvo, i ono je ovdje nezamjenjivo. I na ovom području situacija je veoma slična onoj na području inženjeringa za GP tako da danas domaće tvrtke mogu dati vlastiti inženjering za loženje do kotlovskih jedinica produkcija oko 28 kg/s loženih ugljenom, dok je kod loženja zemnim plinom ili T-uljem situacija povoljnija s obzirom na to da se kod loženja zemnim plinom i T-uljem povećanje kapaciteta uređaja zapravo svodi na korištenje većeg broja gorača.

ad d) Inženjering za nosivu konstrukciju GP

Iako se više naših proizvođača čeličnih konstrukcija do sada angažiralo na izradi ovakvih konstrukcija za postojeće objekte, ipak je činjenica da ni jedna od tih organizacija (MIN, Goša, Metalna, Đuro Đaković i dr.) nije samostalno u formi inženjeringa idejno riješila, projektirala, izradila i montirala takvu konstrukciju. Prema tome, može se zaključiti da danas naše domaće organizacije nisu u mogućnosti preuzeti kompletan inženjering nosive konstrukcije GP, iako postoje realni izgledi da bi se to moglo u dogledno vrijeme i kod nas realizirati.

ad e) Inženjering za izolaciju i ozid GP

Nema sumnje da se kompletni poslovi vezani za izolaciju — a to je projektiranje izolacije, isporuka i izvedba, tzv. inženjering za izolaciju — može smatrati »baznim« inženjeringom i od svih inženjeringa na kotlovskom postrojenju on je relativno najjednostavniji. Da li je to razlog što smo mi na tom području postigli relativno brži napredak, u ovom trenutku nije bitno, ali je činjenica da je danas moguće dati domaći inženjering izolacije uz upotrebu gotovo isključivo domaćih materijala.

ad f) Inženjering za visokotlačne cjevovode GP

Pod visokotlačnim cjevovodima GPO u prvom redu treba razlikovati cjevovode svježe pare od GP do turbine i cjevovode do reducir-stanice, napojne vode od napojnih crpki do kotla i druge cjevovode pod tlakom iznad 100 bara i temperature iznad 400 °C. Kod parametara na izlazu iz GP (180–190 bara, 540–545 °C), a pogotovo kad se radi o vrlo velikim

količinama (do 278 kg/s) pare za 300 MW postrojenja, polaganje i određivanje trase cjevovoda zahtijeva veliko iskustvo i znanje kako u fazi projektiranja, tako i u fazi montaže i puštanja u pogon cjevovoda. Znatno broj ovih, a naročito velika količina ostalih cjevovoda u TE zahtijeva poseban tim specijalista za ove poslove.

Domaće kotlovske tvornice, a i druge projektne organizacije kod nas nisu, nažalost, u mogućnosti da bez stranog baznog inženjeringa na ovom području izvedu kompletan inženjering, pri čemu se najveći nedostatak kadrova i znanja osjeća upravo u fazi projektiranja cjevovoda.

Zaključak

Što na kraju zaključiti? Iz iznesenog je evidentno naše zakašnjenje u tehnološkom razvoju opreme za energetiku. Već niz godina imamo deklarativna izjašnjenja za veće angažiranje domaće »pameti«, no konkretnih poteza u tom smislu je malo ili nimalo. Uz ostalo, posebice zabrinjava situacija u kotlogradnji, gdje nema brzih promjena jer je to grana koja u pravilu zahtijeva od stručnih ljudi dugogodišnje iskustvo. To samo znači da od trenutka donošenja konkretnih mjera za razvoj i primjenu domaće »pameti« treba proći niz godina intenzivnog rada upravo na takvom putu da bi se rezultati počeli osjećati.

Dosadašnje »kaskanje« za razvijenima na način sporadičnog kupovanja tehničke dokumentacije od raznih proizvođača prvenstveno za manja postrojenja očito ne vodi izlazu, već treba rješenja potražiti u trajnijem i dugoročnom vezivanju za jednog od velikih i modernih proizvođača kotlovske opreme, i to na bazi »tehničke suradnje« i transfera tehnologije, jer evidentno je da nema dovoljno znanja za kupovinu licenci za velika kotlovska postrojenja. Ovaj pristup dat će pozitivan rezultat samo ako i mi sami bitno promijenimo svoje odnose prema znanju.

POSSIBILITIES OF DOMESTIC INDUSTRY IN CONSTRUCTION OF GREAT THERMAL POWER PLANT

In the article is discussed about realised participation of domestic industry in manufacture of equipment for great thermal power plants, it is estimated a real possibility and on an example of boiler construction some base problems are presented.

MÖGLICHKEITEN DER HEIMISCHEN INDUSTRIE BEIM AUSBAU THERMOENERGETISCHER ANLAGEN

Im Artikel werden Informationen über die bisherige Teilnahme der heimischen Industrie an der Herstellung der Ausrüstung für thermoenergetische Quellen großer Kräfte sowie Beurteilungen ihrer objektiven Möglichkeiten angegeben. Am Beispiel des Kesselbaus untersucht man die Grundprobleme.

Naslov pisaca:

Dr. Dubravko Matanić, dipl.inž.
Milivoj Krejči, dipl.inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1987-04-01

APROKSIMATIVNI POSTUPAK ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNIH KONFIGURACIJA RAZDJELNIH MREŽA

Željko Rajić, Zagreb

UDK 621.316.11

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je prikazan potpuni model za određivanje optimalnih konfiguracija vodova razdjelne mreže te optimalnih lokacija i nazivnih snaga napojnih transformatorskih stanica koji je riješen aproksimativnim algoritmom. S obzirom na točni postupak, prezentirani algoritam se lakše kodira i brže izvodi na elektroničkom računaru, a pruža rezultate koji su optimalni ili vrlo blizu optimumu.

Ključne riječi: optimiranje, razdjelna mreža, matematičko programiranje, aproksimativni algoritam, problem fiksnih troškova.

1. UVOD

Racionalno planiranje i izgradnja distributivnih mreža te definiranje njihovih tehničkih karakteristika podrazumijeva i upotrebu optimizacijskih metoda kojima se postižu znatne uštede u investicijama i troškovima eksploatacije. Jedno od područja odnosno problema u distributivnom sistemu koje pruža mogućnost primjene optimiranja jest određivanje lokacija i nazivnih snaga napojnih transformatorskih stanica te trasa i presjeka pripadnih vodova.

Na temelju poznatog rasporeda i veličine konzuma, mogućih lokacija, nazivnih snaga i troškova napojnih transformatorskih stanica, potencijalnih trasa napojnih vodova i njihovih troškovnih i tehničkih karakteristika može se optimiranjem odrediti najjeftinija konfiguracija razdjelne mreže. Dozvoljena opterećenja napojnih transformatorskih stanica, prijenosne mogućnosti vodova, dozvoljeni padovi napona i radijalnost rješenja uključeni su kao ograničenja u optimizacijski proces.

Radi optimiranja su napojne transformatorske stanice i vodovi modelirani odgovarajućim tehničkim i ekonomskim karakteristikama. Model koji u potpunosti određuje zadani problem sadržava transformatorske stanice i vodove opisane s fiksnim i varijabilnim troškovima, i to je potpuni model. Može se točno riješiti upotrebom metode grana i granica [4, 6]. Određeni je nedostatak ovoga pristupa u tome što se u slučajevima razdjelnih mreža većih dimenzija odgovarajući kompjutorski program sporo izvodi.

U [5, 6] opisan je nepotpuni model u kome su zanezmareni fiksni troškovi vodova i koji se rješava točnim algoritmom. Rezultati koji se dobivaju na ovaj način vrlo se malo razlikuju od optimalnih, a odgovarajući programi na elektroničkom računaru izvode se mnogo brže.

U ovom radu se prezentira drugačiji pristup rješavanju problema, ali također u svrhu smanjenja vremena izvođenja pripadnog kompjutorskog programa za slučaj razdjelnih mreža većih dimenzija. Problem je opisan potpunim modelom koji se rješava aproksimativnim, a ne točnim postupkom.

2. APROKSIMATIVNI ALGORITAM ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNIH KONFIGURACIJA RAZDJELNIH MREŽA

2.1. Matematički opis problema

Problem određivanja optimalnih konfiguracija elektroenergetskih razdjelnih mreža te razmještaja i nazivnih snaga napojnih transformatorskih stanica može se formulirati na sljedeći način:

$$\min \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} (a''_{ij} Y_{ij} + b''_{ij} P_{ij}) + \sum_{j \in M} (c''_{sj} Y_{sj} + d''_{sj} P_{sj}) \quad (2.1)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{j \in M} P_{ij} = S_i + R \quad i \in M' \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in M} P_{ij} = D_j + R \quad j \in M' \quad (2.3)$$

$$\sum_{j \in M} P_{sj} = S_s + R \quad (2.4)$$

$$0 \leq P_{ij} \leq P_{\max ij} Y_{ij} \quad i, j \in M \quad (2.5)$$

$$0 \leq P_{sj} \leq P_{\max sj} Y_{sj} \quad j \in M \quad (2.6)$$

$$Y_{ij} \in [0,1] \quad i, j \in M \quad (2.7)$$

$$Y_{sj} \in [0,1] \quad j \in M \quad (2.8)$$

gdje su:

$M = \{1, \dots, m\}$ — skup svih čvorova električne mreže

$M' = M \setminus \{1\}$ — skup svih nezavisnih čvorova električne mreže

- P_{ij} — tok radne snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [W]
- $P_{\max ij}$ — maksimalno dozvoljen tok radne snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [W]
- a''_{ij} — prosječni fiksni troškovi voda od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [d]
- b''_{ij} — linearizirani varijabilni troškovi po jedinici prenesene radne snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [d/W]
- s — fiktivni čvor kojem je pridijeljena snaga napajanja jednaka ukupnom opterećenju mreže
- P_{sj} — snaga napajanja transformatorske stanice instalirane u j -tom čvoru električne mreže odnosno tok radne snage od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [W]
- $P_{\max sj}$ — maksimalna radna snaga koju može dati trafostanica instalirana u čvoru j električne mreže, odnosno najveći dozvoljeni tok radne snage od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [W]
- c''_{sj} — prošireni prosječni fiksni troškovi transformatorske stanice instalirane u čvoru j , za $j \in M$ [d]
- d''_{sj} — prošireni linearizirani varijabilni troškovi po jedinici opterećenja transformatorske stanice instalirane u čvoru j električne mreže odnosno varijabilni troškovi pridruženi toku radne snage kroz granu od fiktivnog čvora s do čvora j , za $j \in M$ [d/W]

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ako je } P_{ij} > 0 \\ 0, & \text{ako je } P_{ij} = 0 \end{cases} \quad \text{za } i, j \in M$$

$$Y_{sj} = \begin{cases} 1, & \text{ako je } P_{sj} > 0 \\ 0, & \text{ako je } P_{sj} = 0 \end{cases} \quad \text{za } j \in M$$

- S_i — snaga napajanja u čvoru i , za $i \in M'$ [W]
- S_s — snaga napajanja u čvoru s [W]
- D_j — snaga potrošnje u čvoru j , za $j \in M'$ [W]
- R — konstanta.

Veličine a''_{ij} i b''_{ij} su definirane izrazima:

$$a''_{ij} = a'_{ij} \cdot l_{ij} \quad (2.9)$$

$$b''_{ij} = b'_{ij} \cdot l_{ij} \quad (2.10)$$

gdje su:

a'_{ij} — prosječni fiksni troškovi voda po jedinici dužine od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [d/km]

b'_{ij} — linearizirani varijabilni troškovi voda po jedinici dužine i jedinici prenesene radne snage od čvora i do čvora j , za $i, j \in M$ [d/W · km]

l_{ij} — udaljenost između i -tog i j -tog čvora [km]

Uvijek vrijedi da su $a''_{ii} = 0$ i $b''_{ii} = 0 \quad \forall i \in M$, a $a''_{ij} = \infty$, $b''_{ij} = \infty$, $c''_{sj} = \infty$ i $d''_{sj} = \infty$ za slučaj da ne postoji veza između čvora j i čvora i odnosno j i s .

Konstanta R je proizvoljan broj veći nego zbroj snaga svih izvora ili svih potrošača.

Problem fiksnih troškova opisan relacijama od (2.1) do (2.8) pripada klasi zadataka mješovito-cjelobrojnog linearnog programiranja, a točno se može riješiti npr. primjenom metode grana i granica [6].

2.2. Aproksimativno rješavanje problema fiksnih troškova

2.2.1. Općenito

Primjena egzaktnih metoda za rješavanje problema fiksnih troškova obično implicira poteškoće vezane za dimenzije razmatranih problema i vrijeme računanja. Međutim, postoje aproksimativni postupci rješavanja kojima se mogu prevladati ti nedostaci, a pružaju rezultate vrlo bliske optimalnim [1, 2, 3, 7].

Prezentirat će se aproksimativna metoda za određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža i rasporeda napojnih transformatorskih stanica koja je razrađena u [6], a kojom se rješava optimizacijski problem definiran relacijama od (2.1) do (2.8).

Opći postupak za rješavanje problema fiksnih troškova opisan je u [2], a zato što se temelji na Dantzigovoj simpleks proceduri nazvan je simpleks algoritam za rješavanje problema fiksnih troškova.

Funkcija cilja problema fiksnih troškova jest suma konkavnih funkcija, pa je i sama konkavna [1, 3]. Iz toga i iz činjenice da je skup mogućih rješenja konveksan proizlazi da je globalni optimum problema fiksnih troškova u nekoj ekstremnoj točki skupa svih mogućih rješenja.

Problem fiksnih troškova karakterizira mnoštvo lokalnih minimuma. Može se pojaviti slučaj da su samo neka moguća nebazna rješenja u okolini ekstremne točke lošija od rješenja u toj točki. Tada se problem uspješno rješava metodama sličnim simpleks-algoritmu. Međutim, postoje i takvi lokalni minimumi da su bolji od rješenja u svim susjednim ekstremnim točkama, a lošiji nego globalni minimum. U tom slučaju upotreba »metoda pretraživanja susjednih ekstremnih točaka«, kao što je simpleks metoda, vodi na podoptimalno rješenje.

Da bi se iskoristile prednosti »metoda za pretraživanje susjednih ekstremnih točaka«, razvijeni su aproksimativni algoritmi rješavanja problema fiksnih troškova, a karakterizirani su različito osmišljenim heurističkim pristupima u namjeri da se dobije bolje rješenje od onoga vezanog za lokalni minimum.

2.2.2. Simpleks algoritam za rješavanje problema fiksnih troškova

Da bi se mogao jasnije razumjeti aproksimativni postupak za određivanje optimalnih konfiguracija raz-

djelnih mreža u osnovnim crtama će se opisati simpleks algoritam za rješavanje problema fiksnih troškova.

Neka je problem fiksnih troškova formuliran sljedećim relacijama:

$$\min z = \sum_{j=1}^n (c_j x_j + d_j \delta_j) \quad (2.11)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = e_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.12)$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.13)$$

$$\delta_j = \begin{cases} 1, & \text{ako je } x_j > 0 \\ 0, & \text{ako je } x_j = 0 \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.14)$$

gdje su:

- n — ukupan broj varijabli
- m — ukupan broj ograničenja
- x_j, δ_j — kontrolne varijable
- c_j — koeficijent varijabilnih troškova u funkciji cilja
- d_j — koeficijent fiksnih troškova u funkciji cilja
- a_{ij}, e_i — koeficijenti u matrici ograničenja.

Aproximativni simpleks algoritam za računanje problema fiksnih troškova opisanog relacijama od (2.11) do (2.14) odvija se po sljedećoj proceduri:

- (1) Računanje optimalnog rješenja, uz zanemarenje fiksnih troškova, standardnom simpleks metodom. Računanje odgovarajućeg početnog minimuma z i definiranje tekućeg optimuma $z_{\min} = z$. Postavljanje brojača rješenja koja su lošija od trenutnog optimuma, a dobiju se izborom slučajne nebazne varijable kao ulazne, na nulu.
- (2) Određivanje izlazne bazne varijable x_r za svaku moguću ulaznu varijablu x_j vrši se na osnovi relacije (2.15) [6]:

$$\frac{x_r}{g_{jr}} = \min_k \left\{ \frac{x_k}{g_{jk}} \right\} \quad g_{jk} > 0 \quad (2.15)$$

- (3) Računanje pripadnog kriterija optimalnosti odnosno mogućeg poboljšanja vrijednosti funkcije cilja za svaku nebaznu varijablu x_j izvodi se na temelju izraza (2.16) [6]:

$$s_j = z_j - c_j + d_{rj} - d_j, \quad (2.16)$$

gdje je d_j fiksni trošak pridružen ulaznoj nebaznoj varijabli x_j , a d_{rj} fiksni trošak pridružen njejoj odgovarajućoj izlaznoj baznoj varijabli x_r .

- (4) Ako su svi $s_j \leq 0$, određen je lokalni minimum i ide se na 6. Ako je bar jedan ili više $s_j > 0$, traži se najveći s_j . Pripadna nebazna varijabla x_j ulazi u bazu, a postupak se nastavlja na korak 5.
- (5) Zamjena varijabli kao u standardnom simpleks algoritmu. Ide se na 2.
- (6) Računanje optimalnog rješenja z . Ako je $z < z_{\min}$, ide se na 7. Inače se ide na 8.
- (7) Ispis trenutno optimalnog rješenja. Postavljanje brojača rješenja koja su lošija od trenutnog optimuma na nulu. Ide se na 9.
- (8) Povećanje brojača rješenja koja su lošija od trenutnog optimuma za jedan. Ako je brojač preko-

račio neku unaprijed zadanu vrijednost, ide se na 10. Inače se ide na 9.

- (9) Slučajno odabiranje nove ulazne varijable i određivanje njene pripadne izlazne bazne varijable. Ide se na 5.
- (10)Kraj.

2.3. Određivanje optimalne razdjelne mreže

Na temelju simpleks algoritma za rješavanje problema fiksnih troškova, te uvažavajući svu specifičnost i karakteristike planiranja elektroenergetskih mreža, razvijen program LINAP1 koji aproksimativno rješava model opisan relacijama od (2.1) do (2.8). Detaljno je opisan u [6], a na sl. 1. prikazan je njegov blok-diagram.

3. PRIMJER 10 kV RAZDJELNE MREŽE

3.1. Opis mreže

Zadana je 10 kV razdjelna mreža sa 11 čvorova i 21 potencijalnim vodom. Raspored potrošačkih točaka kao i potencijalnih trasa vodova prikazan je na sl. 2.

Snage potrošnje u čvorovima dane su u [MW]. Trase su numerirane rastućim redoslijedom indeksa s obzirom na dužinu koja je naznačena u zgradama i izražena u [km].

Mreža je zračna, a na raspolaganju su Al-če vodiči od 35 [mm²], 50 [mm²] i 70 [mm²]. Faktor snage u mreži je konstantan i iznosi $\cos \varphi = 0,9$.

Uz pretpostavku da je vrijeme promatranja $t = 30$ [god], stopa aktualizacije $p = 10$ [%], godišnje vrijeme trajanja gubitaka $T_{\Delta} = 1\,017$ [h], iznos troškova održavanja u postocima investicijskih troškova voda $k_1 = 5$ [%], cijena električne energije i snage na pragu distribucije $c_e = 3,55$ [d/kWh] odnosno $c_s = 2\,030$ [d/kW] te poznavajući cijene izgradnje 10 kV dalekovoda sa Al-če vodičima, mogu se izračunati fiksni i varijabilni troškovi vodova po jedinici dužine.

Ako troškovi investicija za dalekovod sa presjecima vodiča od 35 [mm²], 50 [mm²] i 70 [mm²] iznose $2,75 \cdot 10^6$ [d/km], $2,95 \cdot 10^6$ [d/km] odnosno $3,30 \cdot 10^6$ [d/km], dobiju se na temelju relacija iz [4] sljedeće troškovne karakteristike:

$$T_{v35} = a + b \cdot P^2 = 4,046 + 0,614 \cdot P^2 \quad (3.1)$$

$$T_{v50} = a + b \cdot P^2 = 4,340 + 0,437 \cdot P^2 \quad (3.2)$$

$$T_{v70} = a + b \cdot P^2 = 4,855 + 0,304 \cdot P^2 \quad (3.3)$$

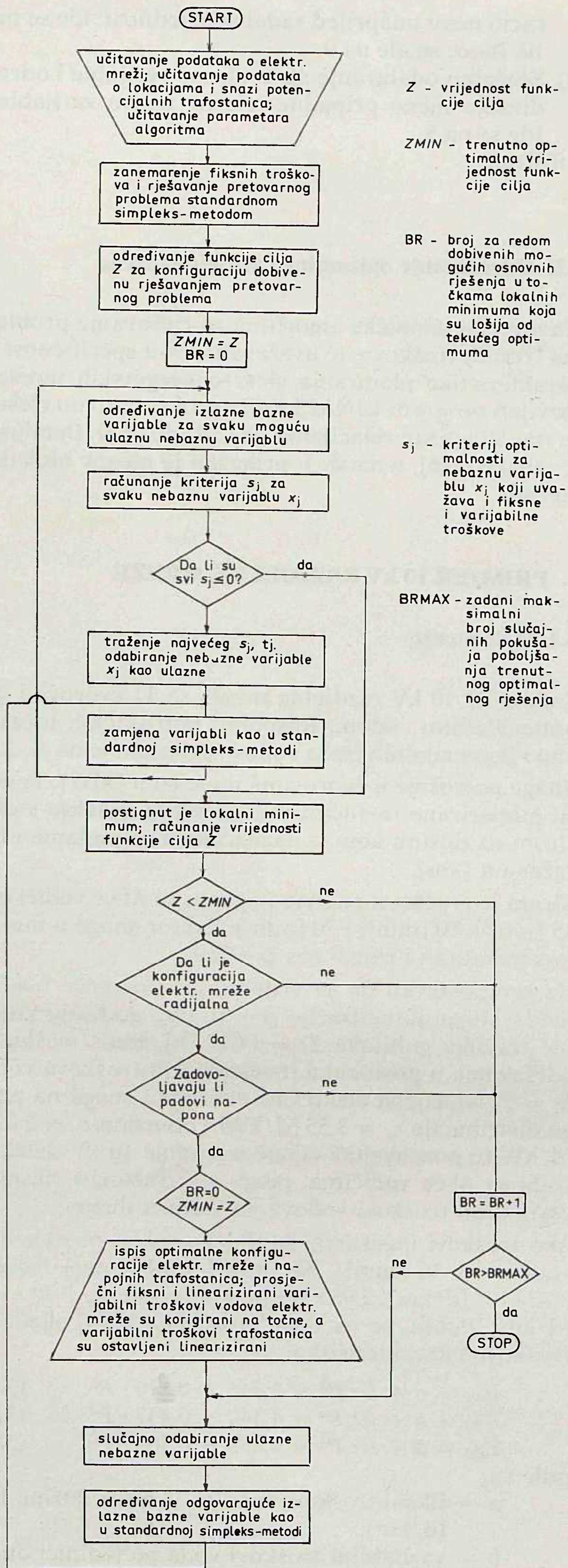
gdje su:

a — fiksni troškovi voda po jedinici dužine 10^6 [d/km];

b — varijabilni troškovi voda po jedinici dužine i kvadratu prenesene radne snage 10^6 [d/km · MW²];

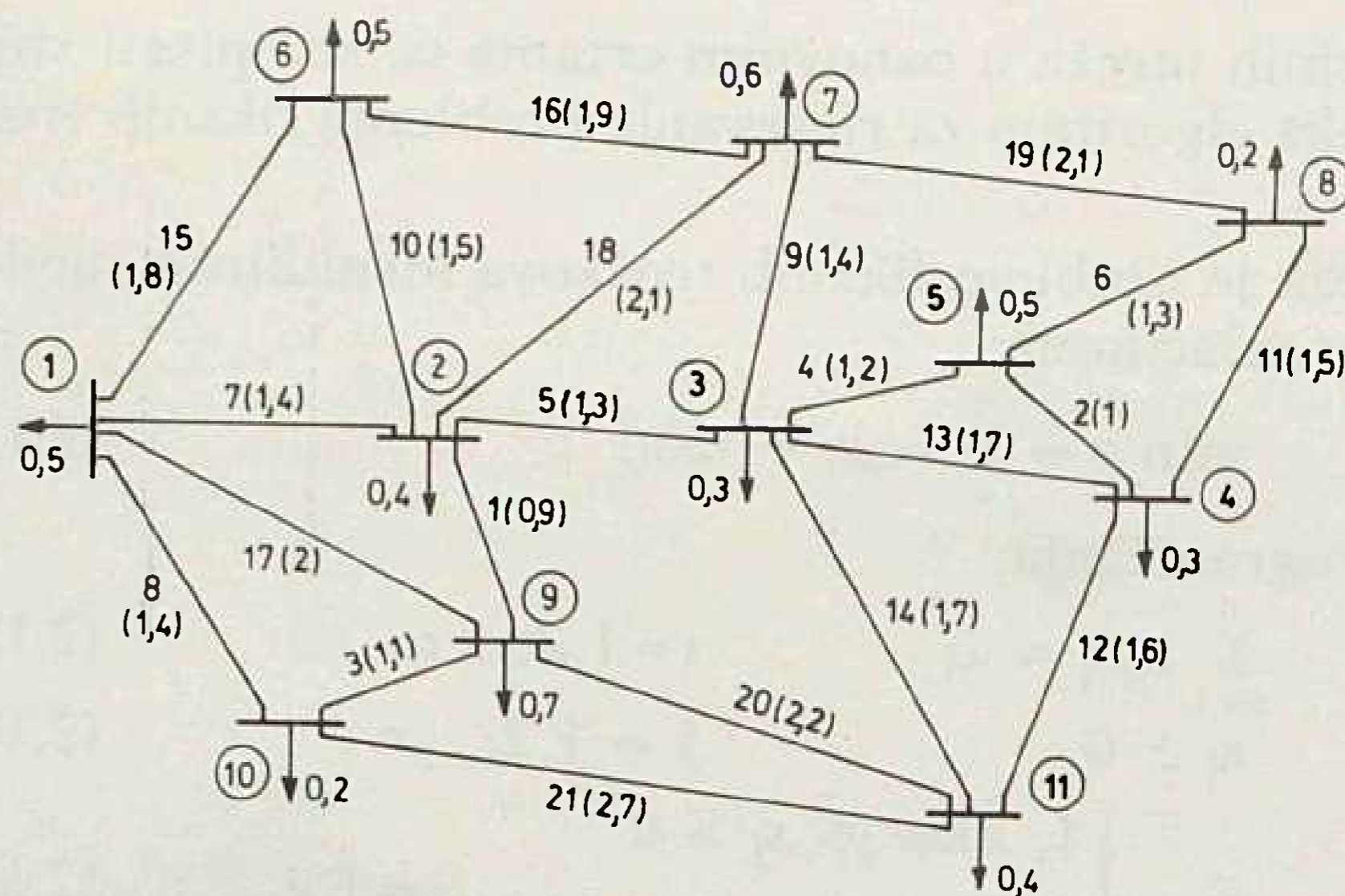
P — radna snaga kroz vod [MW];

$T_{v35}, T_{v50}, T_{v70}$ — odgovarajući ukupni troškovi vodova po jedinici dužine 10^6 [d/km].



Slika 1. Blok-dijagram programa LINAPI

Nakon aproksimacije dobije se jedinstvena troškovna karakteristika voda neovisna o presjeku, a prikazana je sljedećim izrazom:



Slika 2. Razmatrana 10 kV mreža

$$T'_v = a' + b' \cdot P = 3,92 + 1,36 \cdot P \quad (3.4)$$

gdje su:

a' — prosječni fiksni troškovi voda po jedinici dužine 10^6 [d/km];

b' — linearizirani varijabilni troškovi voda po jedinici dužine i jedinici prenesene radne snage 10^6 [d/km · MW];

T'_v — ukupni aproksimirani troškovi voda po jedinici dužine 10^6 [d/km].

Napojne transformatorske stanice 35/10 kV mogu imati nazivne snage 1,6 [MVA], 2,5 [MVA], 4 [MVA] i $2 \times 2,5$ [MVA], a povezane su na ostalu elektroenergetsku mrežu Al-če vodom od 95 [mm²].

Troškovna karakteristika 35 kV Al-če voda je opisana izrazom (3.5):

$$T_{v90} = a + b \cdot P^2 = 12,14 + 0,0184 \cdot P^2 \quad 10^6 \text{ [d/km]} \quad (3.5)$$

Osnovni podaci o transformatorskim stanicama dani su u tabl. 1, a upotrijebljene oznake imaju sljedeće značenje:

I_e — troškovi elektroopreme

c_1 — ukupne investicije za izgradnju transformatorske stanice

P_{Fe} — gubici u željezu transformatora

P_{CuN} — nazivni gubici u bakru transformatora.

Tablica 1. Podaci o transformatorskim stanicama

TS 35/10 kV [MVA]	I_e 10^6 [dinara]	c_1 10^6 [dinara]	P_{Fe} [kW]	P_{CuN} [kW]
1,6	65	162,5	2,7	17,5
2,5	70	175	3,8	24
4	75	187,5	5,5	33
$2 \times 2,5$	76	190	—	—

Uz prethodne uvjete te iznos troškova održavanja transformatorske stanice u postocima ugrađene elektroopreme $k_2 = 5$ [%] dobiju se na temelju relacija iz [4] sljedeće troškovne karakteristike:

$$T_{t1,6} = c + d \cdot P^2 = 194,0 + 0,450 \cdot P^2 \quad (3.6)$$

$$T_{t2,5} = c + d \cdot P^2 = 209,2 + 0,250 \cdot P^2 \quad (3.7)$$

$$T_{t4} = c + d \cdot P^2 = 224,6 + 0,135 \cdot P^2 \quad (3.8)$$

$$T_{t5} = c + d \cdot P^2 = 228,2 + 0,125 \cdot P^2 \quad (3.9)$$

gdje je P u [MW], a troškovi u 10^6 [dinara].

3.2. Ilustrativni primjeri

Razmotrena su četiri slučaja određivanja optimalne konfiguracije zadane distributivne mreže.

U prvom slučaju potencijalne lokacije napojnih transformatorskih stanica su u čvorovima 1, 5, 6 i 11. U čvoru 1 bi se gradila transformatorska stanica nazivne snage 1,6 [MVA], u čvoru 5 snage 2,5 [MVA], u čvoru 6 snage 5 [MVA] i u čvoru 11 snage 4 [MVA]. Dužina priključnog voda jednaka je za sve potencijalne lokacije i iznosi 5 [km]. Sada se mogu odrediti ukupni prošireni aproksimirani troškovi transformatorskih stanica koji uključuju i aproksimirane troškove priključnog 35 kV voda. Ovi troškovi iznose:

$$T''_{t1,6} = c'' + d'' \cdot P = 254,7 + 0,6 P \quad (3.10)$$

$$T''_{t2,5} = c'' + d'' \cdot P = 269,9 + 0,6 P \quad (3.11)$$

$$T''_{t4} = c'' + d'' \cdot P = 285,3 + 0,6 P \quad (3.12)$$

$$T''_{t5} = c'' + d'' \cdot P = 288,9 + 0,6 P \quad (3.13)$$

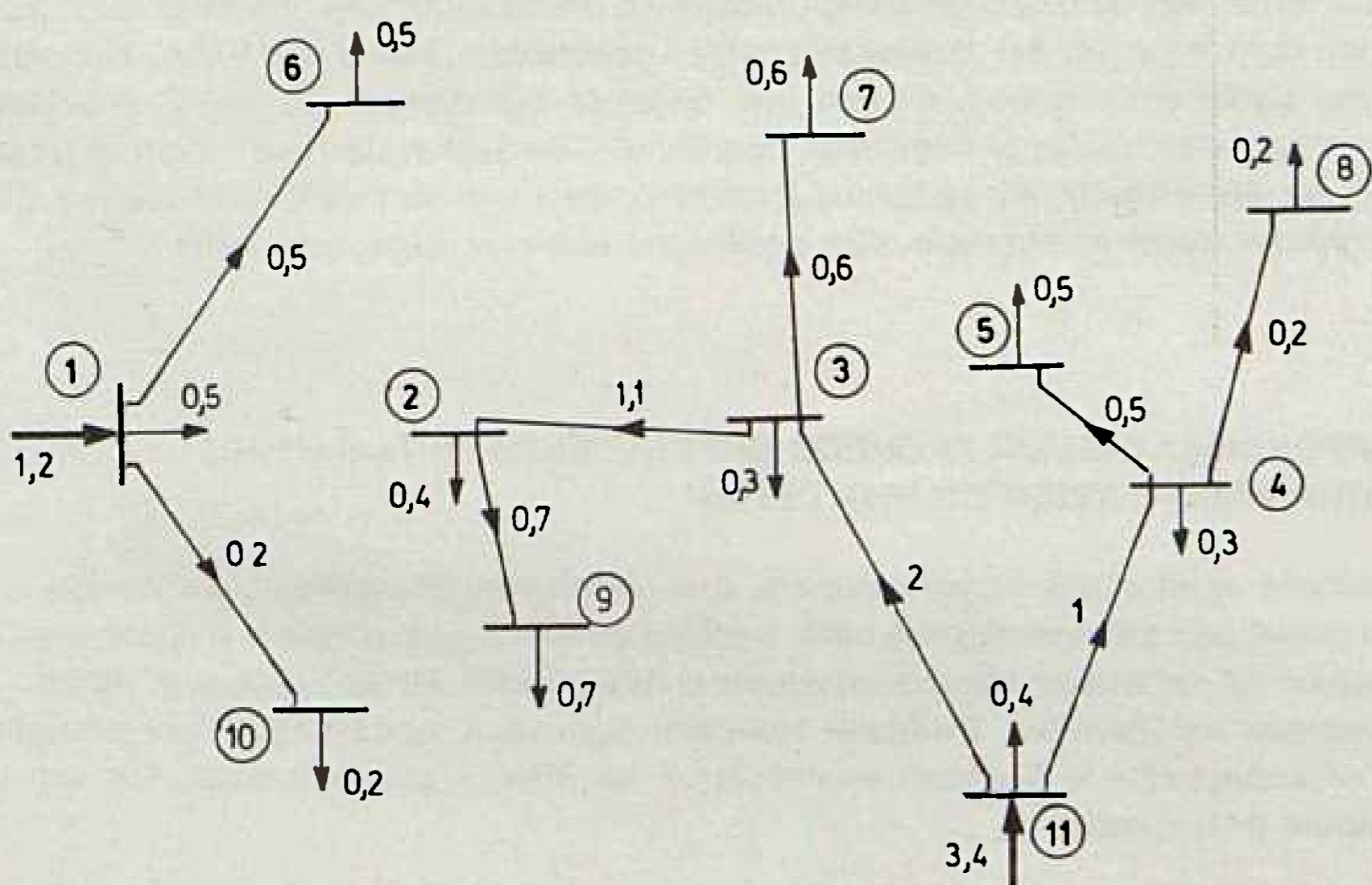
gdje su:

c'' — prošireni prosječni fiksni troškovi transformatorske stanice 10^6 [dinara]

d'' — prošireni linearizirani varijabilni troškovi transformatorske stanice po jedinici radnog opterećenja 10^6 [d/MW];

$T''_{t1,6}, T''_{t2,5}, T''_{t4}, T''_{t5}$ — odgovarajući ukupni prošireni aproksimirani troškovi napojnih transformatorskih stanica 10^6 [dinara].

Optimizacijskim postupkom dobiveno je rješenje prikazano na sl. 3.



Slika 3. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11

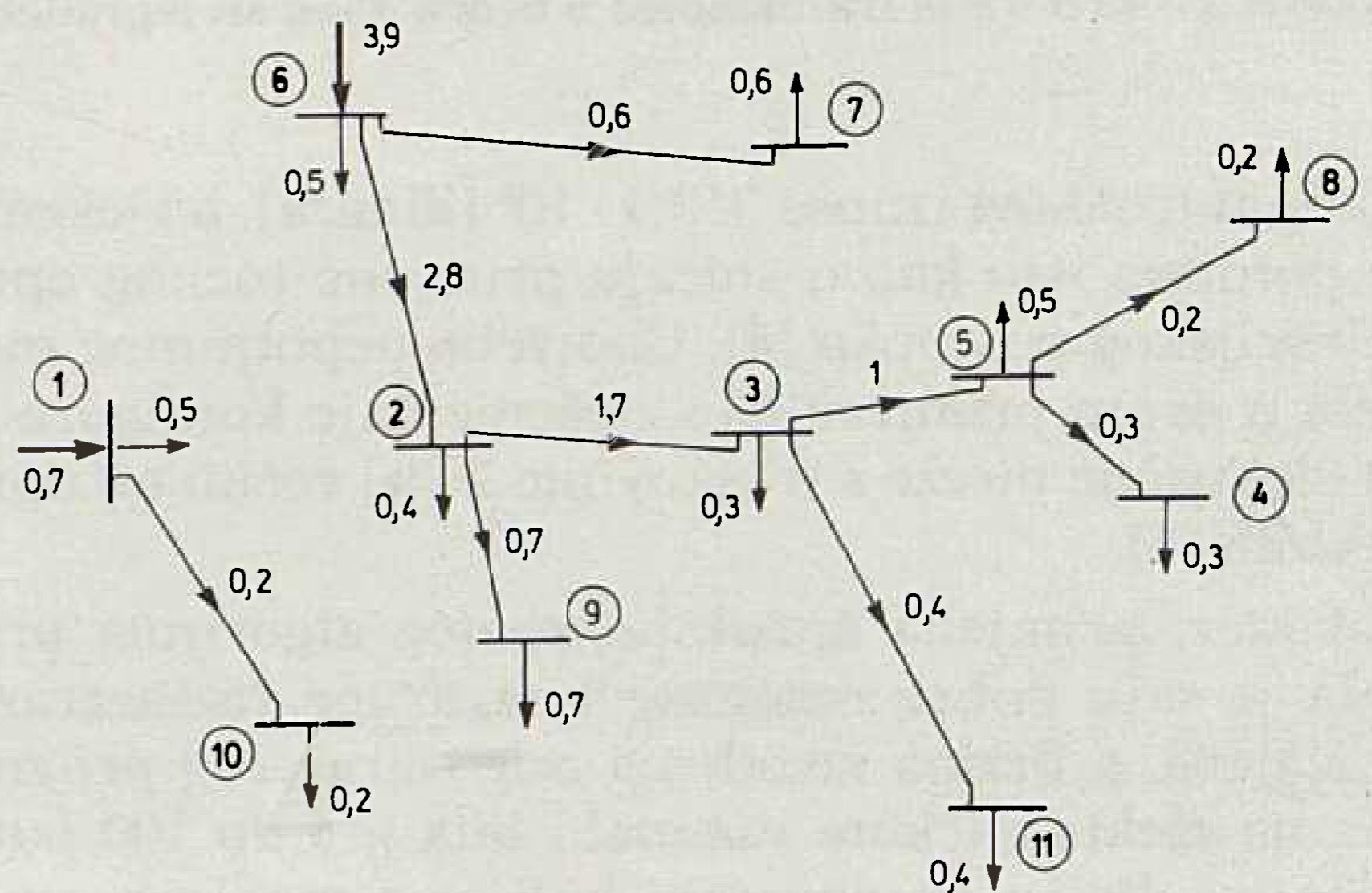
Ukupni troškovi iznose $600,2 \cdot 10^6$ [dinara] i veći su za $0,6 \cdot 10^6$ [dinara] ili 0,1 [%] nego u slučaju upotrebe točnog algoritma rješavanja [4]. Izbor napojnih transformatorskih stanica isti je kao u optimalnom rješenju, a konfiguracija vodova električne mreže se razlikuje. Dobiveno rješenje bolje je nego u slučaju primjene nepotpunog modela [5].

Postignuta konfiguracija električne mreže zadovoljava padove napona s optimalnim presjecima vodova za definirane tokove snaga.

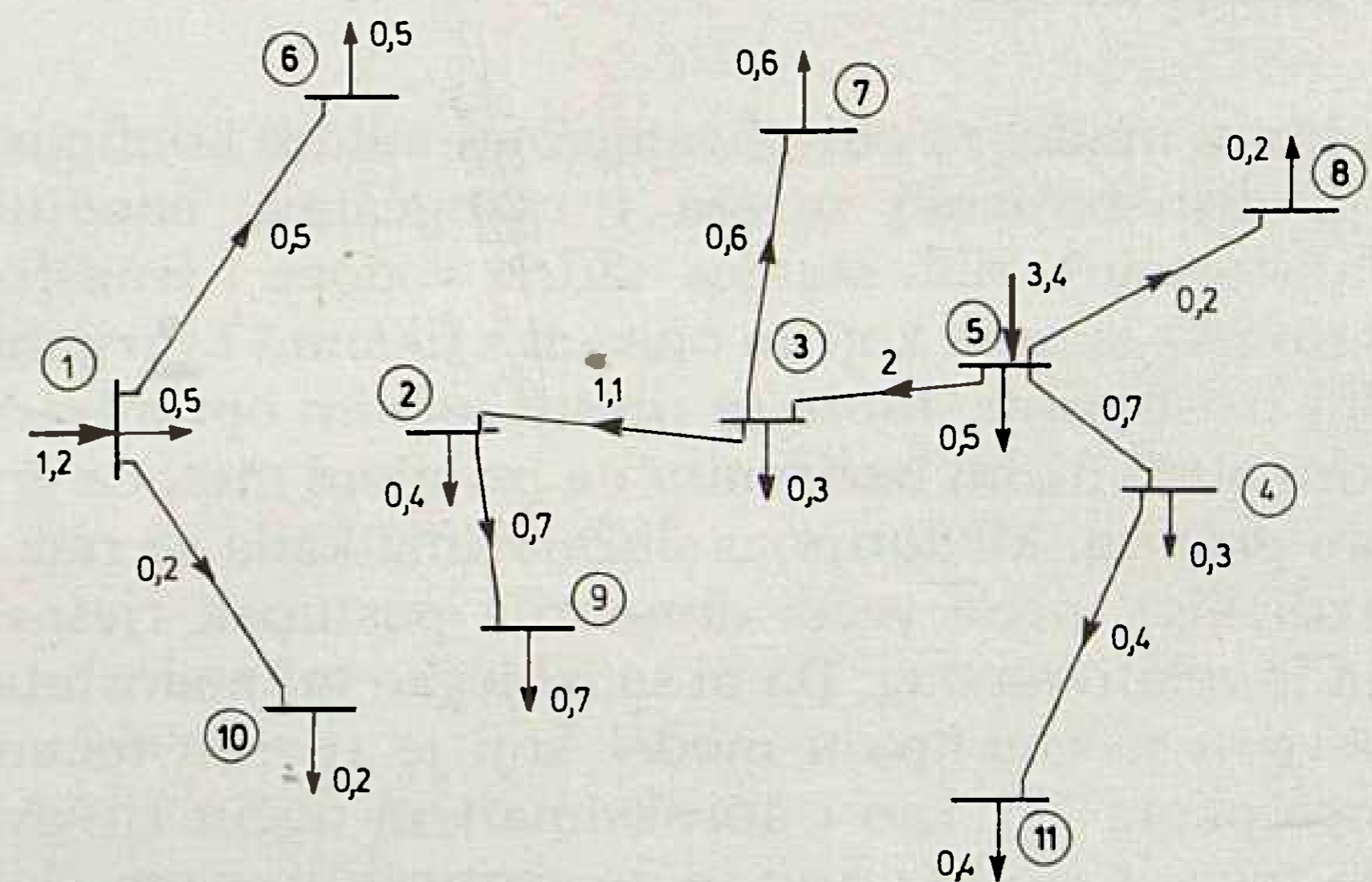
Za drugi slučaj u kojem, za razliku od prvog, dužina priključnog voda do lokacije u čvoru 11 iznosi 10 [km] rješenje je dato na sl. 4.

Napojne transformatorske stanice odabrane su kao u točnom rješenju [4], a ukupni troškovi iznose $608,1 \cdot 10^6$ [dinara] i veći su od optimalnih za $0,9 \cdot 10^6$ [dinara] ili 0,15 [%]. Rješenje je bolje nego u slučaju primjene nepotpunog modela koji se rješava točnim algoritmom [5].

Treći slučaj je isti kao i prvi, samo što je pružena mogućnost da se u čvoru 5 instalira napojna transformatorska stanica nazivne snage 2,5 [MVA] ili 4 [MVA]. Ukupni troškovi iznose $596,3 \cdot 10^6$ [dinara], a dobivena električna mreža prikazana je na sl. 5.



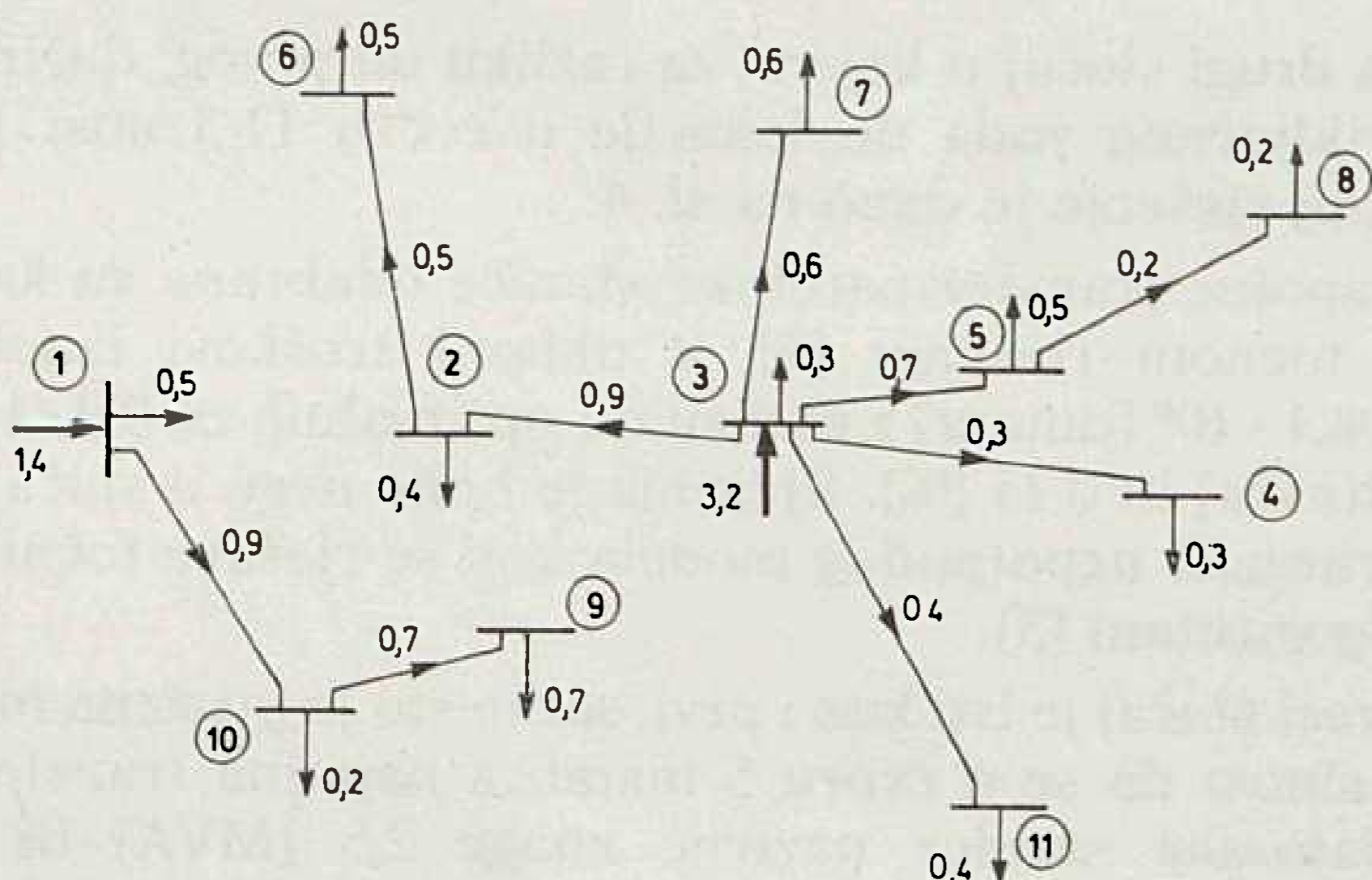
Slika 4. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11. Priključni vod do lokacije u čvoru 11 je dug 10 [km].



Slika 5. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5 (2,5 ili 4 MVA), 6 i 11

Izbor napojnih transformatorskih stanica je isti kao u točnom rješenju [4], a troškovi su veći za $0,4 \cdot 10^6$ [dinara] ili 0,07 [%]. Rezultat je povoljniji s obzirom na upotrebu nepotpunog modela [5].

Četvrti primjer predstavlja varijantu koja je opet proširenje prvog slučaja. Novo je što je u čvoru 3 već instalirana transformatorska stanica nazivne snage 4 [MVA] i što su vodovi 3–4 i 3–5 izgrađeni. Vod 3–4 ima presjek 35 [mm²], a vod 3–5 presjek 50 [mm²]. Dobiveni raspored napojnih transformatorskih stanica i konfiguracija vodova pripadne električne mreže su prikazani na sl. 6.



Slika 6. Optimalno rješenje za slučaj potencijalnih lokacija napojnih transformatorskih stanica u čvorovima 1, 5, 6 i 11. Vodovi 3–4 i 3–5 te trafostanica u čvoru 3 već su izgrađeni.

Ukupni troškovi iznose $360,4 \cdot 10^6$ [dinara], a rješenje je potpuno isto kao u slučaju primjene točnog optimizacijskog postupka [4]. Upotreba nepotpunog modela u ovom primjeru kao rješenje daje konfiguraciju električne mreže s troškovima 2 [%] većim od optimalnih [5].

Također, primjena aproksimativnog algoritma pružala je vrlo dobre rezultate i za druge razmatrane slučajeve, a brzina izvođenja odgovarajućeg programa na elektroničkom računaru bila je i do 100 puta veća u odnosu na program koji se temeljio na točnom postupku rješavanja [6].

4. ZAKLJUČAK

Potpuni model za određivanje optimalnih konfiguracija distributivnih mreža i razmještaja napojnih transformatorskih stanica sadrži vodove i transformatorske stanice koji su opisani s fiksnim i varijabilnim troškovima. Može se riješiti točnim optimizacijskim postupkom baziranim na primjeni metode grana i granica. Međutim, u slučajevima kada se radi o razdjelnoj mreži većih dimenzija postupak rješavanja je relativno dug. Da bi se izbjegao taj nedostatak razvijen je nepotpuni model koji je riješen točnim postupkom [5], kao i aproksimativni način rješavanja točnog modela koji je prezentiran u ovom članku. U oba slučaja brzine izvođenja odgovarajućih kompjutorskih programa veće su i do 100 puta s obzirom na egzaktni pristup. Međutim, u usporedbi s korištenjem nepotpunog modela primjena aproksimativnog algoritma daje rezultate znatno bliže optimalnima. Za različite istraživane primjere postotak odstupanja troškova od optimalnih je bio i do 20 puta povoljniji kod aproksimativnog algoritma.

Dakle, za mreže većih dimenzija i uz prihvaćanje rezultata koji ne moraju biti optimalni, ali su vrlo blizu najboljem rješenju, primjena aproksimativnog algoritma rješavanja potpunog modela ima svoje opravdanje. Način planiranja koji se temelji na ovom optimizacijskom postupku je statički i može poslužiti kao osnova za realizaciju pseudodinamičkog pristupa.

LITERATURA

- [1] COOPER L., DREBES C., »An approximate solution method for the fixed charge problem«, Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 14, No. 1, Mar. 1967, pp. 101–113.
- [2] DENZLER, D.R., »An approximative algorithm for the fixed charge problem«, Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 16, No. 3, Sept. 1969, pp. 411–416.
- [3] MARTIĆ, Lj., »Nelinearno programiranje«, Informator, Zagreb, 1973.
- [4] RAJIĆ, Ž., »Određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža«, Energija, br. 2, 1987., str. 157–166.
- [5] RAJIĆ, Ž., »Nepotpuni model za određivanje optimalnih konfiguracija razdjelnih mreža«, Energija, br. 4, 1987.
- [6] RAJIĆ, Ž., »Određivanje optimalnih konfiguracija elektroenergetskih razdjelnih mreža i razmještaja napojnih transformatorskih stanica«, magistarski rad, ETF Zagreb, Zagreb, 1986.
- [7] STEINBERG, D.I., »The fixed charge problem«, Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 17, No. 2, 1970., pp. 217–235.

APPROXIMATED MODEL FOR DETERMINATION OF OPTIMAL NET CONFIGURATION

In the article is presented a complete model for determination of optimal configuration for distribution net lines and optimal locations as well as rated power for transformer stations. The model is based on approximated algorithm that has advantage in easier coding and shorter run time and results are close to optimal.

APPROXIMATIVES VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER OPTIMALEN KONFIGURATIONEN DER VERTEILUNGSNETZE

In der Arbeit wurde das vollständige Modell für die Bestimmung optimaler Konfigurationen der Leitungen des Verteilungsnetzes geschildert. Man spricht über Nennkräfte der Ladetransformatorstationen und optimale Lokationen. Zu den Ergebnissen kam man durch den approximativen Algorithmus. Bezüglich des genauen Verfahrens wird der präzentierte Algorithmus leichter codiert und schneller mit Hilfe der EDV ausgeführt wobei er optimale oder annähernd optimale Resultate bietet.

АПРОКСИМАТИВНЫЙ ПРОЦЕСС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В работе приводится полная модель для определения оптимальных конфигураций линий распределительной сети, а также оптимальных локаций и номинальных мощностей питающих трансформаторных подстанций, которая решена аппроксимативным алгоритмом. Учитывая точность процесса, представленный алгоритм легче кодируется и быстрее выполняется на ЭВМ и дает оптимальные или им близкие результаты.

Naslov pisca:

Mr. Željko Rajić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
Proleterskih brigada 37
41000 Zagreb

Uredništvo primilo rukopis:
1987-06-17

PROBLEMATIKA UVOĐENJA RADA POD NAPONOM U DISTRIBUCIJI ZEOH-a

Mladen Šicel, Zagreb

UDK 621.315.1.002

STRUČNI RAD

Dan je kratak pregled osnovnih razloga za uvođenje rada pod naponom, te sažeti opis vrste rada pod naponom. Informira se o momentanim aktivnostima na uvođenju rada pod naponom na nivou Jugela i ZEOH-a te pripremama za stvaranje obrazovnog poligona.

Ključne riječi: rad pod naponom, poligon za obuku.

1. PROBLEMATIKA UVOĐENJA RADA POD NAPONOM U DISTRIBUCIJI ZEOH-a

Uvod: Akcija uvođenja tehnologije rada pod naponom u distribuciji Hrvatske pokrenuta je početkom 1986. godine na inicijativu Elektroslavonije u Osijeku. Prethodno je Sektor razvoja ZEOH-a u okviru SIP radova naručio od Instituta za elektroprivredu studiju »Rad pod naponom« koja je osnova za početak koordinirane akcije na nivou sistema.

Godine 1980. u Evropi je bilo 12 zemalja koje su imale uvedenu tehnologiju rada pod naponom, a danas ih ima znatno više, tako da su sve razvijenije elektroprivrede uvele rad pod naponom, čime se dobiva jedna nova kvaliteta u radu i pristupu poslu na održavanju distributivnih objekata, i to na suvremeniji, bolji i sigurniji način.

Proces uvođenja nove tehnologije rada pod naponom u distributivnim postrojenjima složen je i opsežan jer zahtijeva rješavanje niza problema kao što su:

- izrada i usklađivanje tehničke i zakonske regulative
- izrada propisa
- izrada uputa
- proizvodnja, ispitivanje i popravak opreme i alata
- izgradnja centra za obuku radnika
- izrada programa školovanja kadrova.

2. RAZLOZI UVOĐENJA RADA POD NAPONOM

Rad pod naponom postaje danas nužnost jer se pogon mreže bez toga gotovo ne može zamisliti. Trend je razvoja u svijetu da se sve više operacija i obavlja pod naponom, te da se sve veći broj radnika osposobljava za takvu tehnologiju rada.

Glavni razlozi uvođenja rada pod naponom prema studiji »Rad pod naponom« — Instituta za elektroprivredu su:

- veća sigurnost u radu, koja je dokazana analizom statistike nesreća, tj. konstatirano je da najveći broj ozljeda nastaje kod radova na elementima mreža i postrojenja koji su u beznaponskom stanju, ali su u blizini napona; takav rad je nemoguće izbjeći, što upućuje da bi i te radove trebalo drugačije tretirati
- kontinuirano napajanje potrošača električnom energijom
- kvalitetnije održavanje objekata i bolje planiranje radova
- smanjenje broja nesreća na radu i odšteta zbog ozljeda na radu i u vezi s time smanjenje broja bolovanja, broja invalida rada i odšteta zbog ozljeda na radu; Ovo smanjenje je utvrđeno statistički u zemljama koje već primjenjuju rad pod naponom pruža veću sigurnost za izvršioce
- poboljšani uvjeti rada radnika zbog manjeg opsega radova preko vikenda i praznika, te općenito zbog smanjenja prekovremenog rada
- vrijeme obavljanja nekog posla nije striktno ograničeno dozvolom za iskapčanje, pa se radni proces može obavljati mirnije i savjesnije
- troškovi rada se smanjuju jer se bitno skraćuje vrijeme potrebno za pripremu, nisu potrebna prebacivanja opterećenja ni iskapčanja
- skraćuje se vrijeme koordinacije i dogovaranja, te se smanjuje broj ljudi koji sudjeluju u poslu, a time i vjerojatnost pogrešnih odluka
- smanjuju se troškovi obavještanja potrošača i bitno se smanjuju štete zbog neisporučenosti električne energije, što gledano u cjelini predstavlja najveću dobit.

Ovdje treba naglasiti da je rad pod naponom često nemoguće izbjeći (utvrđivanje beznaponskog stanja i redoslijeda faza, radovi na zaštitnim i mjernim uređajima, te signalnim krugovima, različita mjerenja i dr.), pa je jasno da je uvođenje takve tehnologije rada u naše mreže prirodan slijed koji je neminovan u skoroj budućnosti.

Naši propisi dozvoljavaju rad pod naponom i ne postoji formalna zapreka za početak takvog rada, a što je ZEOH-u pri pokretanju ove akcije i potvrdila Republička elektroenergetska inspekcija.

Uvjeti koje pritom treba ispuniti dani su u granskom standardu elektroprivrede GSE — 40/81 i u Pravilniku o zaštiti naradu pri korištenju električne energije (Narodne novine br. 9/1987). U smislu pravila zaštite na radu rad pod naponom ubraja se u grupu poslova s posebnim uvjetima rada, pa se zbog toga zahtijevaju posebni uvjeti u pogledu stručne sposobnosti, te psihofizioloških i psihičkih sposobnosti radnika.

3. RADOVI KOJI SE OBAVLJAJU POD NAPONOM

Da bi se moglo prići realizaciji ovog programa, potrebno je definirati poslove koji će se obavljati pod naponom, nakon čega se vrši izbor tehnologije, odnosno metode rada, zatim se pristupa konstrukciji alata i opreme i na kraju izboru i izobrazbi osoblja.

Danas postoje u svijetu dvije osnovne metode rada pod naponom:

- a) metoda direktnog dodira,
- b) metoda odstojanja (udaljenosti).

a) *Metoda direktnog dodira*

Osnovna karakteristika ove metode sastoji se u tome da se koristi izolirani alat i oprema, te osobna zaštitna sredstva. Ova metoda se koristi obavezno na postrojenjima niskog napona.

Kod postrojenja srednjeg napona ova metoda se koristi uz primjenu specijalnih vozila s izolirajućim platformama (košarama).

b) *Metoda odstojanja (udaljenosti)*

Ova metoda se primjenjuje na srednjem naponu korištenjem specijalnih izolacionih motki i ostale specijalne opreme i alata.

S obzirom na ove specifičnosti ovom metodom se mogu služiti samo mlađi, spretni i potpuno zdravi radnici.

3.1. Radovi na niskom naponu

Prema podacima zemalja koje su uvele rad pod naponom na niskom naponu moguće je pod naponom obaviti 95% od ukupnog broja poslova.

Ovdje će se uvesti samo neki poslovi koji se smatraju najvažnijim:

- montaža i demontaža nadzemnih priključaka i radovi na stupu s odvojcima
- izmjena nosivih drvenih stupova i izolatora i konzola, te montaža i demontaža strujnih mostova
- radovi na zračnom i kabelskom kućnom priključku

- produženje i rekonstrukcija mreža, te izrada odvojaka
- zamjena elemenata u kabelskom priključnom ormaru, te pritezanje kabelskih stezaljki
- radovi u niskonaponskom razvodu trafostanice (izmjena pojedinih elemenata i dl.)
- izmjena električnih brojila i tavanskih osigurača.

3.2. Radovi na srednjem naponu

Radovi pod naponom na srednjem naponu (10 kV; 20 kV i 35 kV) imaju izuzetno značenje jer iskapčanjem dalekovoda i trafostanica velik broj potrošača ostaje bez napajanja. Ovim su posebno pogođeni industrijski potrošači kod kojih neisporučeni kWh može predstavljati enormni gubitak u odnosu na cijenu električne energije.

Ovdje se navode samo neki važniji radovi koji se obavljaju pod naponom u srednjonaponskoj distributivnoj mreži:

- zamjena izolatora i rastavljača na stupovima
- priključak odvojka na magistralni vod
- sječa šume (granja) i bojanje u blizini napona
- kompletno čišćenje i uređenje trafostanice
- nadoljevanje ulja u malouljne prekidače i pritezanje vijčanih spojeva.

4. AKTIVNOSTI NA UVOĐENJU RADA POD NAPONOM U JUGOSLAVIJI

4.1. Prema informacijama kojima raspolaže ZEOH jedino je do sada Elektrodistribucija u Beogradu poduzela neke konkretne korake za na uvođenju rada pod naponom. Kupljena je oprema iz DDR za rad na srednjem naponu u trafostanicama i školovana je jedna ekipa za obavljanje tih poslova. Također je u toku adaptacija centra za obuku u sklopu jedne postojeće TS 35/10 kV. Samo izvođenje radova bilo je blokirano jer nije bio riješen problem nadležnosti izdavanja dozvola za tu vrstu poslova, a što je sada riješeno i očekuje se redovno izvođenje tih radova. Na niskom naponu se određene vrste poslova obavljaju već duže vrijeme.

4.2. Na nivou JUGEL-a izrađen je opsežan studijski zadatak za izradu studije za rad pod naponom u niskonaponskim i srednjonaponskim mrežama.

JUGEL je pored toga osnovao Komisiju za izbor opreme za rad pod naponom u SN mrežama. Zadatak Komisije je da posjeti 4 evropske zemlje (DDR, Mađarska, SRNj i Francuska), te da predloži jednu, eventualno dvije vrste tehnologije (opreme) koje bi se koristile u našim SN-mrežama. Do sada je Komisija bila u DDR i Mađarskoj, ali nije izdala nikakav materijal.

4.3. Na nivou ZEOH-a je izrađena studija »Rad pod naponom«. Studija je pozitivno recenzirana, a na re-

cenzijski je pokazan velik interes za uvođenje radova pod naponom.

Zatim je formirana Komisija za rad pod naponom kao stalno tijelo Savjeta za distribuciju ZEOH-a. Komisija je predložila program rada sa terminskim planom aktivnosti koji je usvojen na Savjetu, a sastoji se od četiri osnovna područja:

- izbora tehnologije za rad pod naponom
- izrade propisa i uputa za rad
- izrade programa školovanja kadrova,
- priprema i izgradnja Centra za obuku kadrova.

U toku 1987. godine I fazom obuhvaćeno je sljedeće:

- a) osigurana su sredstva u okviru SIP-radova za otkup tehničke dokumentacije;
- b) osigurana su sredstva za pripremne radove koje će izvršiti Institut za elektroprivredu, i to:
 - analizu regulative s prijedlogom izmjena i dopuna
 - obradu i prijevod pravilnika za rad pod naponom
 - izradu projektnog zadatka za Centar
 - definiranje statusa Centra
 - izradu uputstava za obuku.

U vezi s izborom tehnologija rada dogovoreno je da se ide na otkup dokumentacije i kompleta opreme za rad pod naponom na SN i NN mreži od distribucije DEDAS (Mađarska) i radi usporedbe s otkupom dokumentacije i kompleta dokumentacije za rad pod naponom na NN od »K. Pfisterer« (SRNj). Potrebno je naglasiti da je oprema i tehnologija koja se upotrebljava u Mađarskoj zapravo kopija od EDF-a (Francuska).

Također je prihvaćena ponuda Elektroslavonije Osijek da se u Velikoj pokraj Slavonske Požege izgradi poligon za obuku koji bi bio višestruke namjene. Ovdje bi se obavljala obuka radnika za rad na sigurnan način (permanentno stručno usavršavanje radnika, obrazovanje nakon uvođenja novih tehnologija rada ili alata, obrazovanje novoprimitljenih radnika i dr.).

Naime, potrebno je naglasiti da tamo već postoje izgrađeni smještajni objekti i centralni objekti koji će služiti za izvođenje teorijskog dijela nastave, te postoji odgovarajući prostor za izgradnju ostalih objekata poligona za obuku.

Zamišljeno je da se izbor radnika za školovanje za rad pod naponom vrši iz postojeće kvalificirane radne snage distributivnih organizacija. Ovi radnici trebaju proći teorijsku i praktičnu nastavu, nakon čega se smatra da su osposobljeni za rad pod naponom. Također će se periodički provjeravati stečeno znanje i praktično iskustvo. Obično se izobrazba prvih grupa radnika i instruktora provodi u suradnji o elektroprivredama koje imaju iskustvo i razvijenu tehnologiju, a konkretno se radi o Mađarskoj i SR Njemačkoj.

U ovaj program se uključio proizvođač opreme »Dalekovod« u Zagrebu, koji je voljan organizirati i uložiti svoja sredstva u proizvodnju, ispitivanje i popravak alata i opreme za rad pod naponom, što će doći do izražaja u kasnijoj fazi realizacije ovog programa.

ZAKLJUČAK

Imajući na umu sve navedene činjenice, može se zaključiti

1. Uvođenje nove tehnologije rada pod naponom u distributivnu mrežu Hrvatske je kompleksan i vrlo opsežan posao.
2. Realizaciju zacrtanog programa trebaju voditi stručni radnici kojima će to biti isključivi radni zadaci.
3. Stručnu pomoć će davati Institut za elektroprivredu u Zagrebu.
4. Akciju treba realizirati putem jedinstvenog investicionog programa na nivou ZEOH, kao što je izgradnja RDC-a i SDV-a.
5. Potrebno je u program uključiti i ostale proizvođače opreme.

LITERATURA

- [1] Mr. BOŽIDAR FILIPOVIĆ-GRČIĆ, dipl. inž., studija »Rad pod naponom«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [2] »Elektrodistribucija« — Časopis o distribuciji el. energije br. 2 od VIII/86, Beograd
- [3] Radni materijal Komisije za rad pod naponom ZEOH-a

PROBLEMS OF WORK ON ENERGIZED EQUIPMENT IN DISTRIBUTION »ZEOH«

In the article are presented some base reasons for introducing work on energized equipment and short description of various work operations on energized equipment. Described are activities on levels of »JUGEL« and »ZEOH« and preparation for opening of training center.

PROBLEMATIK DER ARBEITSEINFÜHRUNG UNTER SPANNUNG IN DER DISTRIBUTION ZEOH

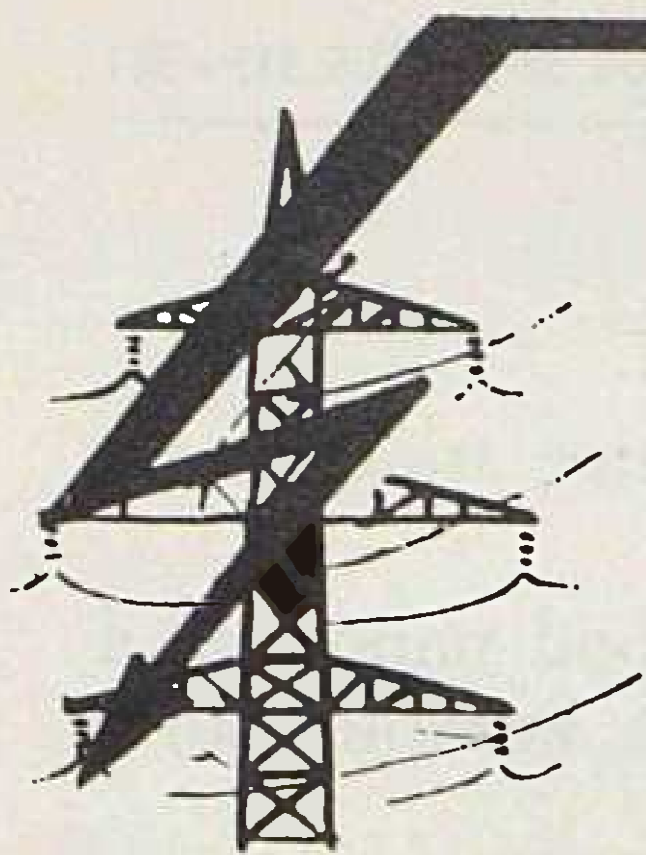
Man gibt hier eine kurze Übersicht der Gründe für die Einführung der Arbeit unter Spannung, sowie eine zusammengefasste Beschreibung der Arbeit unter Spannung. Man spricht über momentane Aktivitäten bei der Einführung der Arbeit unter Spannung auf dem Jugel Niveau und ZEOH sowie Vorbereitungen für die Formierung eines Bildungspoligons.

ПРОБЛЕМАТИКА ВВЕДЕНИЯ РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ЗЭОХ

Дан краткий обзор основных причин введения работ под напряжением, а также сжатое описание видов работ под напряжением. Сообщается о деятельности, проводимой на уровне Югославского объединения электрохозяйства и ЗЭОХ, по введению работ под напряжением, а также подготовки образования учебного полигона.

Mladen Šicel, dipl.inž.
Zajednica elektroprivrednih
organizacija SR Hrvatske, 41000
Zagreb, Proleterskih b.37,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1987-07-09



STRUJA

ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P.O.
ZAGREB
GUNDULIĆEVA16

Poslovno-proizvodni program:

- pribor za kućne priključke
- pribor za telefonske priključke
- oprema za javne električne mreže
- zatezne spone niskonaponskih mreža
- obujmice nogara, sidra i sidreni vijci za stupove javnih električnih mreža
- pribor za gromobransku opremu
- elektroinstalacioni pomoćni materijal (poklop-
ci, obujmice, kutije)
- tavanski kućni osigurač
- elektronički sklopovi i oprema za vatrodojavu
- elektronički dijelovi opreme za signale uređaje
- izvođenje svih vrsta instalacija
- montaža trafostanica i polaganje kablova
- izrada alata i pomoćne opreme za termičko va-
renje
- pomoćni dijelovi opreme za električne lokomo-
tive
- termoregulatori i klima uređaji za elektronske
računske centre
- izrada elektromagnetskih filtera
- refleksni optički prekidači
- granični regulatorik temperature i tlaka



UNIVERZALNI OSIGURAČ ZA ELKALEX I OSTALE KABELE

Pojedine proizvode i dijelove opreme izrađujemo prema specijalnim zahtjevima naručioca.

Sve informacije, detaljnije upute i pobliza objašnjenja, katalogi, cjenici skice, nacrti i ostalo u vezi gore navedenog mogu se dobiti na telefon: 420-791, 420-786 i 273-909, odnosno na telex YU 22-383 »STRUJA«.

PRIJENOSNA MREŽA NA PODRUČJU ELEKTROPRIVREDE RIJEKA U RAZDOBLJU 1986 – 2000. GODINE

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.316.1

PRETHODNO SAOPĆENJE

Polazeći od projekcije elektroenergetskog razvoja Hrvatske, određene su potrebne podloge za analizu prijenosne mreže na području Elektroprivrede Rijeka. Promatrano je razdoblje do 2000. godine. Analizom sistema na računskom modelu dan je prijedlog pojačavanja prijenosne mreže. Na kraju dana je sinteza ocjena predloženog razvoja.

Ključne riječi: planiranje prijenosne mreže, elektroenergetski razvoj.

1. UVOD

Potrebe definiranja projekcija razvoja za srednjoročni plan Elektroprivrede SRH nametnule su prijenosnim poduzećima da revidiraju problematiku izgradnje prijenosne mreže. Na riječkom području razvoj mreže nije integralno promatran od elaborata [1] i nešto kasnije [2]. Studije parcijalnih dijelova sistema rađene su kontinuirano u distributivnim organizacijama i u Institutu za elektroprivredu.

Prijedlog razvoja koji daje ova studija izrađen je na bazi noveliranih i verificiranih planova potrošnje, kao i metode tretiranja te potrošnje s gledišta prijenosne mreže kakva je primijenjena u studijama razvoja mreže Hrvatske 1985 – 1990. i 1990 – 2000, [3] i [4]. U ovaj prijedlog kritički su uključeni rezultati svih novijih pogleda na razvoj sistema u cjelini, kao i pojedinih manjih područja.

Razvoj riječkog elektroprivrednog područja vezan je za razvoj Hrvatske na bazi dosadašnjih realizacija, uz pretpostavku da do promatranog vremenskog horizonta neće biti većih poremećaja. Zato je uzeti period promatranja u prošlosti približno jednako dug kao i razdoblje projekcije (od 1971. godine, a do 2000. godine). Takvo je zaključivanje to točnije što je područje veće; na razini samih 110 kV čvorišta moguće su i znatnije preraspodjele jer gustoća distributivnog konzuma nije uniformna.

Idealno bi bilo kada bismo raspolagali i *prognozom potrošnje na niskom naponu*, pa onda kritički iterirajući planirane potrebe distributivne potrošnje i *razvoj cijelog elektroenergetskog sistema* odredili ulazne podatke za analizu prijenosne mreže.

U pripremi elektroenergetskih podloga nastojalo se ocijeniti što realniji razvoj, i to sagledan iz vizure cjeline sistema i prijenosne mreže. Prognozirane veličine prije su konzervativne nego precijenjene u odnosu na najvjerojatnije, a i potrebe pojačavanja sistema zaključivane su u tendenciji minimalne izgradnje,

pa se može konstatirati da je predložen suzdržan i postupan razvoj (po donjoj granici).

Zacrtan je idealan plan s labilnim određenjem vremenske dinamike zbog neizvjesnosti koja prati svako planiranje — od rasta potrošnje do razvoja mreže u »vanjskim« dijelovima sistema (naročito na slovenskoj strani), a jasno je iz iskustva da će realna izgradnja biti polaganija i da će slijediti aktualne prioritete. Ovaj prijedlog razvoja daje stratešku koncepciju u kojoj usporavanje ostvarivanja šteti pouzdanosti sistema. Iskorištavanje pogonskih mogućnosti u radu sistema (prvenstveno s niskom sigurnosti) i onih tehničkih u postrojenjima samo su provizorno rješavanje da se u nuždi kompenzira kašnjenje pojačavanja.

Promatrana su samo vršna opterećenja, jer se na napon 110 kV i uz danu gustoću čvorišta potrošnje i izvora ne očekuju problemi u minimalnim režimima rada.

2. ELEKTROENERGETSKE PODLOGE

2.1. Hrvatska

U »Samoupravnom sporazumu o osnovama zajedničkog plana razvoja proizvodnje i prijenosa, te globalnom planu razvoja distribucije električne energije za razdoblje 1986 – 1990. godine« što su ga usvojile Samoupravna interesna zajednica potrošača električne energije Hrvatske i Skupština zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske dana je *projekcija razvoja* (tablica na početku sljedeće stranice).

Ovakvim sagledavanjem razvoja ocjenjuje se da će potrošnja električne energije rasti po prosječnoj godišnjoj stopi 4,5% u razdoblju 1986 – 1990, te 6,25% od 1991. do 1995. i 4,0% do 1996. do 2000, odnosno 5% u razdoblju 1991 – 2000. (5,3% u desetljeću do 1990).

Godina	Potrošnja, GWh			Ukupna potrošnja MW
	distribucija	direktna	gubici	
1985.	10 125	3 331	474	13 930
1986.	10 810	3 350	490	14 650
1987.	11 435	3 375	510	15 320
1988.	12 080	3 390	540	16 010
1989.	12 748	3 412	560	16 720
1990.	13 410	3 450	590	17 450
1995.	19 095	3 700	850	23 645
2000.	23 930	4 000	1 100	29 030

Za izražavanje predviđenog rasta potrošnje snagom — koja je mjerodavna za dimenzioniranje prijenosne mreže — koristit će se faktor opterećenja ($m = W_{uk} : P_{max} \cdot 8760$); njegovo je ostvarenje u razdoblju 1974–1984. prema [5]:

1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.
0,600	0,629	0,634	0,642	0,664	0,661	0,658	0,677	0,668	0,661	0,646

Usprkos kolebanjima, kao posljedicom veličine maksimalnog opterećenja, faktor opterećenja ima tendenciju rasta (jer je potrošnja rasla po prosječnoj stopi 5,03%, a maksimalno opterećenje po stopi 4,26%). Njegov je rast teško predvidiv, kako to pokazuje pad posljednjih godina — no to se smatra anomalijom, pa se u [5] nastavlja blagim kontinuiranim rastom:

1985.	1986.	1987.	1988.	1989.	1990.	1995.	2000.
0,670	0,673	0,676	0,679	0,682	0,685	0,701	

Ovim je faktorima opterećenja *izračunata* maksimalna snaga ukupne potrošnje (MW), i navedena kurzivom prethodnoj tablici.

2.2. Područje »Rijeke«

Iscrpnom analizom podataka iz »Mjesečnih izvještaja zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske« za cijelo razdoblje otkada se ti podaci u njima daju, od 1971. do VII. 1983, ustanovljeno je da je *udio potrošnje riječkog područja u ukupnoj potrošnji Hrvatske oko 14%* [3].

Pretpostavljajući da se ta proporcija udjela neće značajnije mijenjati do 2000, određena je maksimalna ukupna istovremena potrošnja riječkog područja (MW). S gubicima pretpostavljenim 3% i direktnom potrošnjom prema [3] slijedi vršna distributivna potrošnja kako je dano na sljedećem stupcu.

Iz ukupne potrošnje cijelog riječkog elektroprivrednog područja određena je prognoza po distributivnim radnim organizacijama.

Analizom podataka posljednjih pet godina u »Godišnjem izvještaju Elektroprivrede Opatija« ustanovljeno je da je suma neistovremene vršne distributivne potrošnje radnih organizacija od 1% do preko 5% ve-

Godina	Potrošnja, MW			
	ukupna	gubici	direktna	distribucija
1985.	350	11	10	329
1986.	366	11	10	345
1987.	381	11	10	360
1988.	397	12	10	375
1989.	412	12	10	390
1990.	427	13	10	404
1995.	566	17	26	523
2000.	680	20	29	631

ća od istovremene vršne potrošnje cijelog područja. Nadalje, iz ostvarenja aproksimirano je *učešće radnih organizacija u ukupnoj potrošnji cijelog riječkog područja*:

Elektroprimorje	58%
Elektroistra	36%
Elektrolika	6%

Zadrže li se orijentaciono ti udjeli i u budućnosti, može se predvidjeti da će vršna *distributivna* potrošnja radnih organizacija (MW) biti:

	Elektroprimorje	Elektroistra	Elektrolika	Rijeka
1985.	195	121	20	336
1986.	204	127	21	352
1987.	213	132	22	367
1988.	222	138	23	383
1989.	231	143	24	398
1990.	239	148	25	412
1995.	309	192	32	533
2000.	373	232	39	644

Ova je prognoza provjeravana iz još nekoliko izvora i ustanovljena je dobra podudarnost.

2.2.1. Raspodjela distributivne potrošnje do 1990. godine

Vršna distributivna potrošnja radnih organizacija raščlanjena je po postojećim čvorištima 110 kV mreže kako bi se *najprije utvrdila prostorna raspodjela*.

Prema ostvarenjima u proteklom petogodištu, faktor istovremenosti između čvorišta 110 kV na području Elektroprimorja do 1990. uzet je 0,72 a za Elektroistru 0,78. Za Elektroliku pretpostavljen je 0,9.

Na bazi ustanovljenih *ostvarenih udjela vršne potrošnje čvorišta u sumi neistovremenih vršnih distributivnih potrošnji radnih organizacija* u razdoblju 1980–1984. procijenjeno je najvjerojatnije učešće u bliskoj budućnosti. Tako je raščlanjena prognozirana potrošnja do 1990. po postojećim čvorištima, čime se dobio prostorni raspored konzuma.

Otvoreno je pitanje *kada* bi se do 1990. trebala pojaviti *nova 110 kV čvorišta*. Područja na kojima se to u skladu s rastom potrošnje treba očekivati jesu Rovinj, Cres–Lošinj i Rab, te labinsko područje obzirom na velike potrošače. U sljedećoj tablici dana je vršna potrošnja (MVA) tih područja u posljednjim

godinama (ostvarenje za 1985. godinu već je bilo poznato u vrijeme ove analize) i trendovi porasta potrošnje (%) iz ovih ostvarenih veličina za razdoblje

1980–1985. odnosno 1980–1984. u kojem je rast bio mirniji.

	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1980–85.	1980–84.
Rovinj	9,2	9,1	10,4	9,7*	10,0*	11,3*	6,4	4,8
Cres	1,5	1,6	1,9	2,0	2,5	3,4	17,8	13,6
Osor	—	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	13,6	10,0
Lošinj	4,8	4,6	5,9	6,2	6,8	7,3	8,7	9,1
Rab (+ Goli)	6,4	6,2	6,6	7,1	7,5	8,7	6,3	4,0

* u MW

Ovi trendovi projicirat će se i u razdoblje do 1990. godine, polazeći od ostvarenja 1985, odnosno 1984. godine.

U sljedećoj tablici dani su intervali očekivanog rasta potrošnje (MVA), a kurzivom su navedene one prema najvjerojatnijoj srednjoj stopi rasta s kojima se dalje računalo.

	Postotak	1986.	1987.	1988.	1989.	1990.
Rovinj*	6,4	12,0	12,8	13,6	14,5	15,4
	4,8	11,0	11,5	12,1	12,6	13,2
Cres	17,8	4,0	4,7	5,6	6,5	7,7
	13,6	3,2	3,7	4,2	4,7	5,4
Osor	13,6	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
	10,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Lošinj	8,7	7,9	8,6	9,4	10,2	11,1
	9,1	8,1	8,8	9,6	10,5	11,5
Rab (+ Goli)	6,3	9,2	9,8	10,5	11,1	11,8
	4,0	8,1	8,4	8,8	9,1	9,5

* u MW

Za ova čvorišta iscrpno su analizirane mogućnosti napajanja postojećim kapacitetima srednjonaponske mreže te svrsishodnošću njezina eventualnog pojačavanja. Za labinsko područje usvojena su lokalna rješenja, a promišljena je i činjenica da ovo područje nema nikakvih mogućnosti ispomoći iz ostalog dijela Istre kroz srednjonaponsku mrežu.

Zadovoljenje konzuma promatrano je pretpostavljajući 8% i 10% pada napona, uz variranje napona u čvorištu osnovnog napajanja u realnim granicama (prema postojećoj dispečerskoj praksi) i prijenos sa $\cos \varphi = 0,9$ i $0,95$. Dalje je ograničenje termička granica opterećenja nadzemnih vodova i kabela. Ispitane su tehničke mogućnosti srednjonaponskih transformacija, regulacije i povećanja instalirane snage.

Na ovaj način utvrđen je nivo potrošnje do kojeg zadovoljava postojeća srednjonaponska mreža i kada će biti potrebno prijeći na napajanje promatranih čvorišta na 110 kV, što naravno ne znači da se izvanrednim pogonskim mjerama ne bi još mogla odgoditi potpora iz mreže 110 kV (npr. sekcioniranjem pogona i priključivanjem na dva čvorišta osnovnog napajanja, uvođenjem međutransformacija u prijelaznom razdoblju uvođenja 20 kV, i sl.).

Tako je do 1990. opravdano pretpostaviti pojavu Rovinja, Lošinja i Raba, te vjerojatno Dubrove kao novih čvorišta 110 kV. Njima je korigirana ranije usta-

novljena potrošnja po postojećim čvorištima — i konačna je raspodjela do 1990. dana u tablici (na 522. str.). Izvan provedene bilance, prema novim zatraženim elektroenergetskim suglasnostima povećana je potrošnja DINE za 7,5 MW do 1987. i velikih potrošača labinskog područja za 4 MW u 1990.

2.2.2. Raspodjela distributivne potrošnje za 1995. i 2000. godinu

U nedostatku noveliranih razreda konzuma i novih planova razvoja distributivne mreže za procjenu raspodjele potrošnje po čvorištima poslije 1990. godine i dalje će se kritički koristiti metodologija kojom je određena potrošnja do 1990. godine.

Pretpostavka je da ne treba očekivati veće preraspodjele potrošnje unutar Hrvatske, jednako kao ni unutar riječkog područja, između distributivnih radnih organizacija. Prema recenziranim studijama razvoja prijenosne mreže na nivou ZEOH-a i internim sagledavanjima odgovarajućih službi u distributivnim radnim organizacijama riječkog područja takva je pretpostavka opravdana.

Uz faktor istovremenosti pretpostavljen za Elektroprimorje 0,74 u 1995. godini i 0,77 u 2000. godini (dakle do najviše dosada ostvarene veličine), za Elektrois-

Raspodjela ukupne potrošnje do 1990. godine (MW)

	1985.	1986.	1987.	1988.	1989.	1990.
Rijeka	51	54	56	58	60	63
Pehlin	54	56	59	62	63	65
Kraslica	46	48	49	52	54	55
Matulji	25	25	27	27	29	29
Lovran	6	7	7	8	8	9
Vinodol	22	20	21	22	23	24
Vrbovsko	17	6	6	6	6	6
Delnice	—	15	16	17	18	19
Senj	11	11	3	3	4	4
Crikvenica	16	17	18	18	19	20
RP Omišalj (DINA)	10	10	17,5	17,5	17,5	17,5
Krk	23	24	24	24	15	16
Lošinj	—	—	10	11	12	12
Rab	—	—	—	—	10	11
Pula – Šijana	52	54	57	37	38	40
Pula – Dolinka	—	—	—	23	24	25
Buje	25	26	27	27	28	28
Raša	28	30	31	32	33	25
Dubrova	—	—	—	—	—	14
Pazin	16	17	18	19	20	21
Poreč	33	35	36	38	40	27
Rovinj	—	—	—	—	—	14
L. Osik	20	12	12	14	14	15
Otočac	—	11	12	12	13	13
Gračac*	—	6	7	8	9	10

* Gračac se ne nalazi u sumi Elektrolike.

tru 0,80 u 1995. godini, pa opet 0,78 u 2000. godini (zbog specifičnih ljetno-zimskih maksimuma potrošnje i nove stanice koje očekujemo u 2000), te za Elektroliku 0,9 i 0,93, dobivaju se sljedeće sume neistovremene vršne distributivne potrošnje po područjima distributivnih radnih organizacija (MW):

	1995.	2000.
Elektroprimorje	418	484
Elektroistra	240	297
Elektrolika	36	42

Eventualne drugačije vrijednosti faktora istovremenosti ne utječu mnogo na sumu neistovremenih vršnih potrošnji (npr. sa 0,83 i 0,85 za Elektroistru u 1995. i 2000. godini dobiva se 231 MW i 273 MW).

Za orijentacionu raspodjelu potrošnje po čvorištima poslije 1990. godine analizirane su najprije *veće konzumne globalno sekcionirane cjeline*, da se smanji pogreška, i ustanovljeni su sljedeći odnosi udjela u sumi neistovremene vršne distributivne potrošnje (%):

	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986–1990.
Rijeka-grad	58	58	58	54	56	58	oko 56
Rijeka							
Pehlin							
Krasica							
Opatijsko područje	9	10	10	10	12	10	oko 11
Matulji							
Lovran							
Gorski kotar	15	14	14	15	14	14	oko 14
Vrbovsko							
Vinodol							
Delnice							
Crikveničko područje	6	7	6	8	6	6	oko 6
Krčko područje	9	9	9	10	8	8	oko 12
Lošinj							
Krk							
Rab							
Senj	3	3	3	3	4	4	oko 1
Pula-grad	32	32	34	36	38	37(30)	oko 32*
Šijana							
Dolinka							
Labinsko područje	19	22	20	21	18	17	oko 20
Raša							
Dubrova							
Poreč	12	17	17	15	15	20	oko 22**
Buje	18	14	17	16	15	16	oko 15
Pazin	19	15	12	12	14	10	oko 11

* bez Rovinja

** sa Rovinjem

S takvim proporcijama koje daju informacije o očekivanom prostornom rasporedu konzuma može se sumarno raščlaniti prognozirana potrošnja po područjima (MW):

	1995.	2000.
Elektroprimorje	418	484
Rijeka-grad	234	271
Opatijsko područje	46	53
Gorski kotar	58	68
Crikveničko područje	25	29
Krčko područje	50	58
Elektroistra	240	297
Pula-grad	77	95
Labinsko područje	48	59
Poreč	52	65
Buje	36	45
Pazin	27	33

Šire područje grada Rijeke napaja se danas iz tri TS 110/35 kV koje se mogu međusobno ispomagati i preuzimati potrošnju: iz Pehlina, Rijeke i Krasice (koja dijelom sudjeluje i u napajanju Gorskog kotara). Njihova je današnja ukupna instalirana snaga transformacije $2 \times 40 + 2 \times 40 + 2 \times 40 = 240$ MVA, što znači da bi u slučaju neraspoloživosti jedne jedinice preostala instalirana snaga od 200 MVA teško mogla zadovoljiti očekivanu potrošnju 1995. godine i uz 20% preopterećenja: 234 MW (uz $\cos \phi = 0,93$ to bi bilo oko 250 MVA) — pa će trebati predvidjeti ili pojačavanje barem jedne transformacije trećom jedinicom (i odgovarajućim razvijanjem srednjonaponske mreže) ili izgradnjom nove gradske stanice. Otvoreno je pitanje koje je rješenje bolje. Pretpostavit ćemo da u 1995. godini još nema nove stanice, nego da je instaliran treći transformator u Pehlinu ili Rijeci. Takvo bi rješenje za potrošnju u 2000. godini bilo na granici: neraspoloživošću jednog transformatora uz 20% preopterećenja preostalih na raspolaganju je 288 MVA instalirane snage transformacije — a ukupna je potrošnja 271 MW (290 MVA). Uzevši u obzir pesimističku prognozu potrošnje koja lako može biti veća, trebalo bi u 2000. imati novu stanicu u pogonu. Njezinu najpovoljniju lokaciju trebat će utvrditi detaljnom analizom gradskog konzuma i srednjonaponske mreže. U dosadašnjim planovima kao nova stanica pojavljivali su se Mavrinci, no trebat će revidirati ispitivanja, što znači takva stanica na obodu gradskog konzuma koja bi bez veće izgradnje srednjonaponske mreže prirodno rasterećivala Krasicu. Kompleksno valorizirajući, ukupne troškove potrebne izgradnje i efikasnost rješenja vjerojatno bi bila korisnija stanica u užem gradskom području, u težištu konzuma. Svakako za konzum reda veličine 300 MVA (kakav očekujemo na riječkom širem gradskom području oko 2000. godine) treba predvidjeti četiri 110 kV stanice (Pehlin, Rijeka, Krasica, Rijeka 2 i/ili Mavrinci). Ostvari li se planirana stambena izgradnja na teritoriju Kostrene oko 2000. godine, trebat će i tamo nova 110 kV stanica (no što je bez većih posljedica za mrežu jer se radikalno priključuje na Krasicu).

Analizom orijentacione prostorne raspodjele potrošnje u konačnom raščlanjivanju po čvorištima nešto je smanjena očekivana potrošnja Gorskog kotara i za toliko povećana na ostalim dijelovima.

Na crikveničkom području porast i težište potrošnje izazivaju u 2000. godini potrebu nove 110 kV stanice: Novi.

Na krčkom području prema dosadašnjim analizama distributivne mreže mogla bi se oko 2000. godine pojaviti još jedna 110 kV stanica ovisno o razvoju srednjonaponske mreže 35 kV ili 20 kV. Ta nova stanica Dunat uklopila bi se u vod Krk – Rab.

Što se tiče direktnih potrošača, nešto je povećana potrošnja DINE (kao u 1990), dok je Raša uzeta prema planu.

Na području Elektroistre izvršene su manje preraspodjele potrošnje prema približnim godišnjim trendovima porasta 1990–2000. godina: za Pulu oko 5%, za Poreč + Rovinj oko 6%, za Buje oko 4,5%, za Rašu + Dubrovu oko 3% i za Pazin oko 4%. Sličan problem kao sa Rijekom jest i s porastom potrošnje Buja i Pazina, koja traži pojačavanje instalirane snage transformacije ili novu stanicu. Logičnim se čini Buje rasteretiti novom stanicom na zapadnoj obali Istre (jer će porast potrošnje vjerojatno uvjetovati turizam), a Pazin pojačati (jer se radi o koncentriranom teretu). Budući da je pitanje koliko je realna mogućnost izgradnje stanice u konkretnim uvjetima u razdoblju 1990–1995. godine, pretpostavit ćemo konzervativnije rješenje: da u 1995. godini još nema novih stanica. Potencijalne nove lokacije (Novigrad, Umag; Buzet) nalaze se na desetak kilometara od postojećih, i na tu se udaljenost srednjonaponskom mrežom 35 kV može prenijeti oko 20 MW uz $\cos \phi = 0,9$ (a od Buzeta i više jer je vod Pazin – Buzet građen kao 110 kV).

Na pulskom području trebalo bi za potrošnju očekivanu oko 2000. godine još jedna stanica; pretpostavit ćemo je u pogonu odmah početkom sljedećeg razdoblja.

Na otoku Pagu trebat će 110 kV stanica u Novalji oko 1990. godine jer se 110 kV vodom u pogonu pod 35 kV može prenijeti iz Nina do Novalje oko 7 MW uz 8% pada napona i $\cos \phi = 0,9$, odnosno oko 9 MW uz 10% pada napona. S tim tehničkim ograničenjima na potrebu 110 kV stanice ukazuje rast potrošnje otoka Paga (MVA).

1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.
4,2	4,2	5,1	5,1	5,1	5,8

Pri ocjeni trenda porasta potrošnje Paga napominjemo da je ona vrlo prigušena (zabrana novih priključaka). Što se tiče vremena ulaska u pogon nove 110 kV stanice na Pagu, treba imati na umu realnost dinamike prethodno planirane izgradnje redom: dionica Gorica – Pag (I etapa pod 35 kV), Nin – Gorica, TS 110 kV Nin.

Konačno sagledavanje raspodjele ukupne potrošnje (Mn) za 1995. i 2000. godinu dano je u tablici u po-

glavljju 2.2.3. Gračac i Novalja nisu obuhvaćeni odgovarajućim bilancama riječkog područja, a treba dodati DINU (Omišalj) sa 17,5 MW u 1995. i 20 MW u 2000, te u Raši 16 MW odnosno 18 MW.

2.2.3. Sažetak o distributivnoj potrošnji 1980–2000. godina

Zbog preglednosti i lakšeg uspoređivanja dajemo u jedinstvenoj tablici ostvarenu i prognoziranu distributivnu potrošnju u karakterističnim petogodišnjim presjecima.

Istovremena vršna distributivna potrošnja cijelog riječkog elektroprivrednog područja i po distributivnim organizacijama (MW):

	1980.	1985.	1990.	1995.	2000.
Rijeka	297	349	404	523	631
Elektroprimorje	179,8	202,0	239	309	373
Elektroistra	102,3	124,0	148	192	232
Elektrolika	18,3	25,2	25	32	39

Suma neistovremene vršne distributivne potrošnje distributivnih organizacija i po čvorištima (MW):

	1980.	1985.	1990.	1995.	2000.
Elektroprimorje	233,5	275,8	332	418	484
Rijeka	44,4	54,6	63	81	70
Pehlin	48,4	59,0	65	85	80
Krasica	42,6	45,4	55	71	60
Rijeka 2	—	—	—	—	60
Matulji	21,5	23,8	29	32	34
Lovran	—	5,2	9	14	19
Vinodol	18,4	19,7	24	21	22
Vrbovsko	17,4	18,1	6	—	—
Delnice	—	—	19	25	28
EVP S. Moravice	—	—	—	4	6
Senj	7,4	10,4	4	5	7
Crikvenica	13,8	16,6	20	26	22
Novi	—	—	—	—	12
Krk	19,2	23,0	16	24	19
Lošinj	—	—	12	16	18
Rab	—	—	11	14	16
Cres	—	—	—	—	11
Novalja ¹	—	—	—	11	14
Elektroistra	139,8	164,8 ³	194	240	297
Pula-Šijana	45,4	60,4 ²	40	49	59
Pula-Dolinka	—	—	25	32	41
Buje	25,2	26,2	28	34	31
Raša	26,1	28,2	25	29	33
Dubrova	—	—	14	18	22
Pazin	26,6 ⁵	16,6	21	26	32
Poreč	16,5	33,4 ²	27	34	43
Rovinj	—	—	14	18	24
Umag	—	—	—	—	12
Elektrolika	18	25	28	36	41
L. Osik	18,3	25,2 ⁴	15	19	22
Otočac	—	—	13	17	19
Gračac ¹	—	—	10	12	14

¹ Nisu u odgovarajućim sumama.

² S potrošnjom Rovinja (koja je u ljeti prebačena s Pule na Poreč).

2.2.4. Jalova snaga, proizvodnja i preostali dio sistema

Komponenta jalove snage potrošnje modelirana je do 1995. prema ostvarenim veličinama, a za 2000. uzeta je prema $\cos \varphi = 0,95$ na strani 35 kV (oko 0,93 na 110 kV).

Postojeći izvori na riječkom području pojačani su u 1995. sa HE Valići (18 MW, $\cos \varphi = 0,8$) i TE Plomin 2 (inst. 200 MW, raspol. 184 MW, teh. min. 92 MW, $\cos \varphi = 0,85$). Od 1995. ne bilancira se više postojeći blok TE Plomin. U svim promatranim presjecima izvori su angažirani prema potrebama Hrvatske, što je preuzeto iz strateških studija [3] i [4].

Utjecaj preostalog dijela sistema uzet je u obzir preko karakterističnih razmjena promatranog područja Elektroprivrede Rijeka i njena okružja na spojnim vodovima superponirane mreže 220 kV i 400 kV. Na 110 kV riječko je područje alternativno promatrano kao izolirano i uz današnje veličine razmjene.

3. ISPITIVANJA

Ispitivanja su provedena na modelu sistema na računskom stroju.

Postavljen je uobičajen uvjet ($n - 1$) pri kojem stanje u sistemu treba ostati u tehničkim granicama (naponi, opterećenja DV i TS). U [6] mnogo je pažnje posvećeno valorizaciji zadanog uvjeta u vezi s dvosistemskim dalekovodima.

4. ZAKLJUČAK

4.1. Općenito

Preko globalnih pokazatelja u karakterističnim petogodišnjim presjecima potrošnje može se zaključiti da je razvoj mreže dobro planiran.

Rast distributivne potrošnje brži je od porast instalirane snage transformatora u čvorištima 110/sn kV, pa postupno raste i iskorištenje transformacije (distributivni konzum, MVA/instalirana snaga, MVA):

³ S dvaput uračunatom potrošnjom Rovinja.

⁴ S područjem Gračaca.

⁵ S potrošnjom Poreča (koji je u ljeti te godine ušao u pogon).

		1985.	1990.	1995.	2000.
Istovremeni distributivni konzum	MW	336	412	533	644
	MW/Mvar	445/194	565/252	713/300	844/338
Neistovremeni distributivni konzum	MVA	485	619	774	909
Instalirana snaga transformacije 110/sn	MVA	734	914	1034	1194
Neist. distrib. konz	MVA				
inst. snaga trans	MVA	0,661	0,677	0,748	0,761

Ukupni gubici modela sistema s planiranim potrebnim pojačanjima za opterećenja u karakterističnim presjecima (bez tranzita) zadržavaju sličan udio u potrošnji gledanoj s praga elektrana:

		1985.	1990.	1995.	2000.
Gubici	MW	8,97	10,60	10,50	12,60
Ukupna potrošnja	MW	455	583	750,5	888
Udio	%	1,93	1,78	1,38	1,40

a ukupno opterećenje mreže, zaključujući po gubicima jalove snage (Mvar), jest oko njezine prirodne snage:

		1985.	1990.	1995.	2000.
Ukupni gubici modela		-15,00	-16,73	-17,33	16,94
Transformacije					
superponiranih napona		8,8	20,09	46,09	77,30
Mreža ukupno		-23,8	-36,82	-63,42	-60,36
Vodovi 220 kV		-9,25	-12,00	-22,84	-14,57
Vodovi 110 kV		-14,55	-24,82	-40,58	-45,79

Vodovi su opterećeni ispod prirodne snage, no povećano generiranje jalove snage (pri čemu ne treba predvidjeti sve veći udio kabela u mreži) kompenzirano je prirastom potrošnje u transformacijama superponiranih napona. To povećanje potrošnje jalove snage u transformatorima posljedica je njihove sve veće opterećenosti, što u konačnici znači sve veću ovisnost riječkog područja o napajanju iz superponirane mreže. Najzornije takav zaključak ilustrira napajanje iz referentnog čvorišta na sabirnicama 400 kV u Melini (MW/Mvar):

	1985.	1990.	1995.	2000.
Mreža 400 kV	40/63	169/123	234/114	365/177

4.2. Transformatorske stanice

Raspodjela instaliranih snaga transformatora u čvorištima 110 kV do 2000. godine dana je sljedećoj tabeli (MVA):

	1985.	1990.	1995.	2000.
Rijeka	2 × 40	2 × 40	2 × 40	2 × 40
Pehlin	2 × 40	2 × 40	3 × 40	2 × 40
Krasica	2 × 40	2 × 40	2 × 40	2 × 40
Rijeka 2	—	—	—	2 × 40
Matulji	2 × 20	2 × 20	2 × 20	2 × 20
Lovran	1 × 20	1 × 20	1 × 20	2 × 20
Vinodol	1 × 20	1 × 20	1 × 20	1 × 20
Delnice	—	2 × 20	2 × 20	2 × 20
Vrbovsko	1 × 20	1 × 20	—	—
Senj	1 × 10	1 × 10	1 × 10	1 × 10
Crikvenica	2 × 20	2 × 20	2 × 20	2 × 20
Novi	—	—	—	1 × 20
Krk	20 + 22	20 + 22	20 + 22	20 + 22
Lošinj	—	1 × 20	1 × 20	2 × 20
Rab	—	1 × 20	1 × 20	1 × 20
Cres	—	—	—	1 × 20
Novalja	—	—	1 × 20	1 × 20
Pula-Šijana	2 × 40	2 × 40	2 × 40	2 × 40
Pula-Dolinka	—	1 × 40	1 × 40	2 × 40
Buje	2 × 20	2 × 20	2 × 20	2 × 20
Raša	3 × 20	2 × 20	2 × 20	2 × 20
Dubrova	—	1 × 20	2 × 20	2 × 20
Pazin	2 × 20	2 × 20	2 × 20	2 × 20
Poreč	1 × 40	2 × 40	20 + 40	20 + 40
Rovinj	—	1 × 20	2 × 20	2 × 20
Umag	—	—	—	1 × 20
L. Osik	20 + 22	20 + 22	2 + 22	2 + 22
Otočac	—	1 × 20	2 × 20	2 × 20
Gračac	—	1 × 20	1 × 20	1 × 20
Ukupno	734	954	1034	1214

Prema tome su nove transformatorske jedinice u sistemu:

	do 1990	1995.	2000.
40 MVA			
potrebno instalirati	1	1	3
oslobađa se (iz)	—	1 (Poreč)	1 (Pehlin)
za nabaviti	— (1)	—	2
20 MVA			
potrebno instalirati	8	5	5
oslobađa se (iz)	1 (Raša)	1 (Vrbovsko)	—
za nabaviti	4 (7)*	4	5

* U 1990. godini od ukupnog broja potrebnih jedinica 20 MVA (8) tri se mogu uzeti kao već angažirane (u stanicama koje su u gradnji), kao i 40 MVA za Pulu Dolinku.

Ovakvim razvojem instalirane snage brojčana je zastupljenost jedinica:

	1985.	1990.	1995.	2000.
10 MVA	1	1	1	1
20 MVA	16	23	27	32
22 MVA	2	2	2	2
40 MVA	9	11	11	13

i zadržana je u perspektivi slična relativna zastupljenost jedinica 20 MVA (%) i 40 MVA (%):

	1985.	1990.	1995.	2000.
20 MVA	44	48	52	52
40 MVA	49	46	43	43

4.3. Prijenosna mreža

U razvijanju prijenosne mreže nastojalo se što više iskoristiti postojeće stanje za svaki promatrani presjek potrošnje. Zato čvorišta nemaju uvijek punu sigurnost i u 110 kV mreži, no pretpostavka je da će se odgovarajuće razvijati i srednjonaponska mreža. Dok na odluku o zasnivanju 110 kV čvorišta sekundarni napon nije utjecao, mogao bi imati utjecaja na pouzdanost napajanja pojedinih područja kada nema dvostranog napajanja kroz 110 kV mrežu: takvo osiguravanje rezerve kroz prijenosnu mrežu zbog neskladnosti napona u srednjonaponskoj mreži nije razmatrano.

Problemi prijenosa na riječkom području iz aspekta topologije mogu se sažeti u pitanja

- napajanje Istre
- veze istarske istočne i zapadne obale
- osiguranje najisturenijeg a energetski najjačeg istarskog dijela
- napajanje otoka
- evakuacija energije iz izvora priključenih na 110 kV (s obzirom na tok djelatne energije iz senjskog područja prema Pehlinu);

pri čemu se zapravo pitanje napajanja Istre i evakuacije energije iz hidroelektrana svode na pitanja sigurnosti 220 kV vodova.

U polaznim ispitivanjima *postojećeg stanja*, kroz koja su tražene osnovne informacije o sistemu, uočene su teške posljedice ispada najopterećenijeg voda Plomin-Pazin po napajanje pulskog i labinskog područja te centralne i zapadne Istre. Valoriziranjem nekoliko alternativa za osiguravanje ovog pravca najperspektivnija se pokazuje izgradnja voda

Rovinj-Pula 40 km,

provizorno učvorenog u Dolinki do rekonstrukcije Šijane (zbog dobivanja potrebnih polja), s dionicama: Rovinj-Vodnjan 24 km, Vodnjan-Pula Šijana 9,85 km, Pula Šijana-Pula Dolinka 6,56 km — koju ionako treba graditi zbog priključka Dolinke. U pogonu bi mogao biti za potrošnju očekivanu oko 1990. godine. Taj će vod funkcionirati kao transverzalna veza između

prijenosnih linija uz obje istarske obale, paralelna potezu Plomin ... Poreč. U ovoj etapi tim se vodom ujedno osigurava pulsko i labinsko područje, zbog mogućeg kvara na vodovima iz Plomina odnosno onoj iz Raše sa vodičima 150 Ač kada prienos preuzima vod s vodičima 105 Ač.

Ocjena napajanja cijele Istre, posebno pri neraspodivnosti TE Plomin, ovisi o načinu tretiranja kvara na dvosistemskom 220 kV vodu Pehlin-Plomin: da li kvar (na trasi, u postrojenju) izaziva ispad samo jedne trojke ili obje.

Pretpostavljeno je da ispada samo jedna trojka jer se radi o novom vodu građenom za 220 kV u relativno mirnim klimatskim zonama, ali su informativno promatrane i posljedice ispada cijelog voda (obje trojke).

Za nivo istovremene potrošnje Istre do 1990. godine može zadovoljiti i jedna trojka u pogonu još pod 110 kV, ali uz maksimalan realan uvoz iz Kopra. Trebalo bi, dakle, što prije osposobiti postrojenje 220 kV u Plominu jer bi potrošnja Istre mogla brže rasti nego što je prognozirano kao i da ne budu raspoložive potrebne snage iz Slovenije.

U slučaju ispada obiju trojka potrebno je ponovo imati drugi 110 kV vod Pehlin-Matulji i supstituirati napušteni vod Matulji-Plomin.

I eventualni ispad 220 kV voda Senj-Melina preopterećuje cijeli 110 kV potez između tih čvorišta, ovisno o mogućnostima plasiranja energije sa 220 kV sabirnica HE Senj u sistem, i jedino bi efikasno rješenje bilo u njegovu pojačavanju.

Prema tome, u *tekućem srednjoročju* prioritarna je izgradnja voda Rovinj-Pula, dok je uvjetno osiguravanje 110 kV voda na potezu HE Senj ... Melina (s prioritetom dionice HE Vinodol-Melina, 14 km) i postrojenje 220 kV u TE Plomin sa transformacijom 220/110 kV (što će biti ionako nužno najkasnije do 1995. godine, kada je planiran TE Plomin 2 u pogonu).

Vodovi 110 kV za priključak Rovinja (na Poreč) i Lošinja (na Krk) već su izgrađeni, za Rab (na Krk) se počinje s gradnjom, pa trebaju još vodovi za uključivanje Pule-Dolinke i Dubrave.

Za *potrošnju očekivanu oko 1995.* već u polaznom stanju treba oteretiti potez Plomin ... Pula, a to je postignuto interpolacijom

dvosistemskog voda 220 kV Plomin-Vodnjan 32,4 km s montiranom samo jednom trojkom u ovoj etapi (3 × 490 Ač) i u pogonu pod 110 kV, pa treba i rasklopište 110 kV Vodnjan (ako nema načina da se ovaj vod prihvati u Šijani).

U ovom presjeku vod Pehlin-Plomin je pod 220 kV, a transformacija u Plominu opterećena je preko instalirane snage zbog protoka jalove snage (no još ne preopterećena).

I dalje kritičan prienos iz Plomina u centralnu Istru sada bi trebalo podijeliti još jednim paralelnim potezom čije učvorenje nije sasvim određeno: da li u Pazinu ili u Butonigu ako se pojavi kao 110 kV čvorište

(što opet ovisi o ostvarenju planiranog rasta potrošnje vodovoda: 1988: 4 MW, 1990: 6,2 MW, 1995: 12,2 MW) ili možda čak u Buzet. Bez voda Plomin-Pazin i uz realnu veličinu uvoza iz Kopra mreža je na granici prijenosnih mogućnosti, pa je bolje predvidjeti izgradnju zbog mogućeg bržeg rasta potrošnje. Mala rezerva postoji i u faktoru istovremenosti.

Što se tiče napajanja cijele Istre pri neraspoloživosti TE Plomin, ispad jedne trojke 220 kV voda Pehlin-Plomin ne stvara poteškoća, a u slučaju ispada obiju trebala bi Istra imati drugu pojnu točku: najlogičnije u Vodnjanu i još ne nužno na 220 kV. Takvo injektiranje odgodilo bi potrebu voda Plomin-Vodnjan, što bi znači vodilo drugačijoj etepnosti gradnje. Ispadom jedne trojke preopterećuje se vod Pehlin-Matulji zbog dionica s vodičima 170 Ač (0,9 km), što je moguće eliminirati bez većih teškoća otvaranjem petlje u Lovranu, no bolje bi bilo rekonstruirati ovo usko grlo.

Zbog potrošnje Krka i otoka kojima je iz Krka osnovno napajanje udvostručuje se kabel Omišalj-Kraljevica i zatvara otočka petlja Rab ... Novalja s dionicama

Rab-Lun kb 6 km
Lun-Novalja 18 km.

Da li su ta oba kabela (za Krk i Rab-Pag) potrebna, ovisi o mogućnostima napajanja sa zadarske strane, što ostaje da se ispita, pa i o valoriziranju sigurnosti nadzemnog voda Lun-Novalja. Drugim vodom potrebno je osigurati i konzum TS Lošinj, a prema provedenoj analizi ulaganja i koristi najbolje je to izvesti na Krk.

Ako bi bilo potrebno rangirati ovu predloženu izgradnju u sljedećem petogodištu, ponajprije je nužan još jedan vod između Plomina i pulskog područja te zatvaranje otočke petlje.

Pojačavanje 110 kV poteza Senj ... Melina i dalje je otvoreno zbog istih razloga kao i u prethodnom razdoblju, ali zbog vjerojatnog povećanja snage HE Vinodol i statusa ovog izvora trebat će biti riješen provizorij spoja na Melinu.

Rast potrošnje logično uvjetuje izgradnja mreže koja je zaključena za presjek nazivne 1995. *Dalje je potrebno osigurati već postojeće vodove: montiranjem druge trojke na dvosistemskom (220)110 kV vodu Plomin-Vodnjan (a veličine prijenosa ne traže ih na 220 kV) i osiguravanjem konzuma zapadne obale Istre, pa i napajanja cijele Istre. Prema posljednjim ispitivanjima to bi bilo najpovoljnije izvesti pojačavanjem veze sa Slovenijom: vodom Buje (Umag)-Lucija, 15 km (7). Ranija sanacija veze Buje-Koper u smislu postavljanja jačeg presjeka vodiča (barem 1×240 Ač) mogla bi odmaknuti potrebu pojačavanja pravca Plomin ... Pazin.*

Istovremenu potrošnju cijele Istre (bez TE Plomin) moguće je zadovoljiti jednom trojkom 220 kV voda, ali zbog neizvjesnosti u pogledu mogućeg bržeg porasta konzuma treba voditi brigu o pretvaranju Vodnjana u potencijalnu drugu točku napajanja Istre (zatvaranjem 220 kV petlje na Pehlin odnosno Melinu ili prema Sloveniji ovisno o razvoju mreže na njihovom

teritoriju). Za slučaj da se dozvoljava ispad obiju trojki voda Pehlin-Plomin, trebao bi Vodnjan već biti formirano drugo 220 kV čvorište Istre, a tada vod na Plomin nije nužan. I za ispad samo jedne trojke bilo bi dobro ujednačiti presjek vodiča na vodu Pehlin-Matulji, a u slučaju kašnjenja Vodnjana mogao bi zahtijevati vod Matulji-Plomin.

Nova čvorišta priključuju se na najbliža postojeća ili uvodom / izvodom iz najbližeg voda.

Prioritetno je dovršiti gradnju iz prethodnog petogodišta 1995–2000: osigurati konzum otoka Cresa i Lošinja (kada se Cres pojavi kao 110 kV čvorište), a eventualno malo brži rast potrošnje od predviđenog nameće i nužnost pojačavanja pravca Pazin-Poreč te drugu trojku na vodu (220)110 kV Plomin-Vodnjan. Čvorištem na području Novog trebati će još jedan vod između Senja i Crikvenice, dok je pitanje udvostručivanja kabela Kraljevica-Šilo i dalje vezano za mogućnosti opskrbe i prijenosa sa zadarskog područja.

Dinamika razvoja mreže viđena u karakterističnim presjecima prikazana je na sl. 1. Dužine novih trasa dane su u ovom poglavlju, dok paralelne pravce treba procijeniti prema postojećim trasama; za vodove već prihvaćene u Planu do 1990. godine dužine se ne navode. Svi sunovi nadzemni vodovi predviđeni sa presjekom 240 Ač — i oni na otocima (jer ulaze u petlje).

Kroz cijelo razdoblje promatranja zadovoljavaju instalirane snage u transformacijama superponiranih napona, a opterećenje TS 220/110 kV u TE Plomin moguće je reguliranjem protoke jalove snage svoditi u tolerirane granice.

Izgrađenost prijenosne mreže na području Like zadovoljava, uz predviđenu dinamiku pojačavanja transformacija (Otočac, Gračac).

Na sl. 2. dana je zbog komparacije i prijenosna mreža Istre kako slijedi iz dosadašnjih studija srednjona-ponske mreže (prema sintezi u Elektroistri).

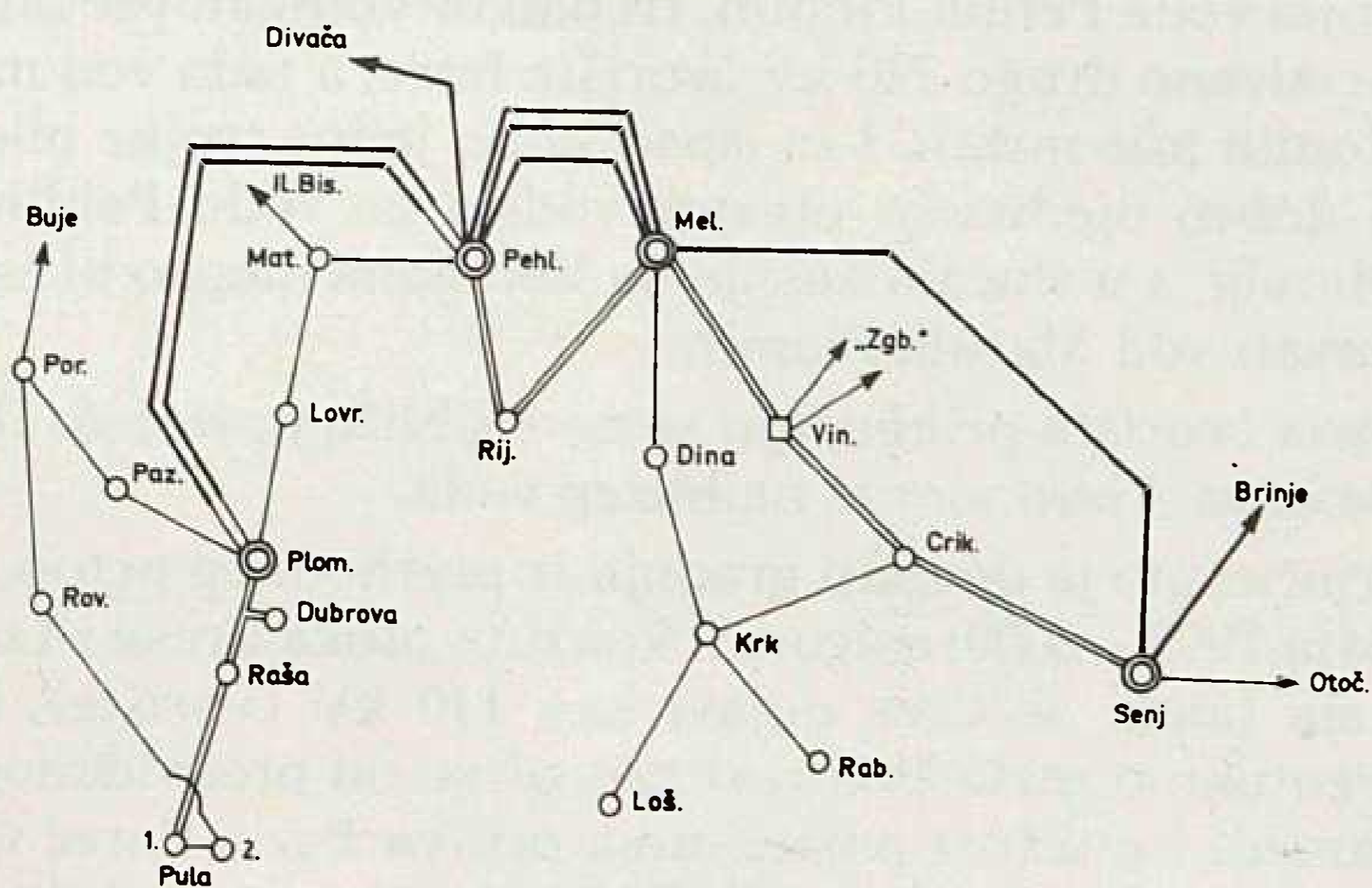
U [6] diskutiran je prijedlog izgradnje prema sl. 1. s rezultatima iz odgovarajućih studija rađenim iz perspektive distribucije!

4.4. Rekonstrukcije

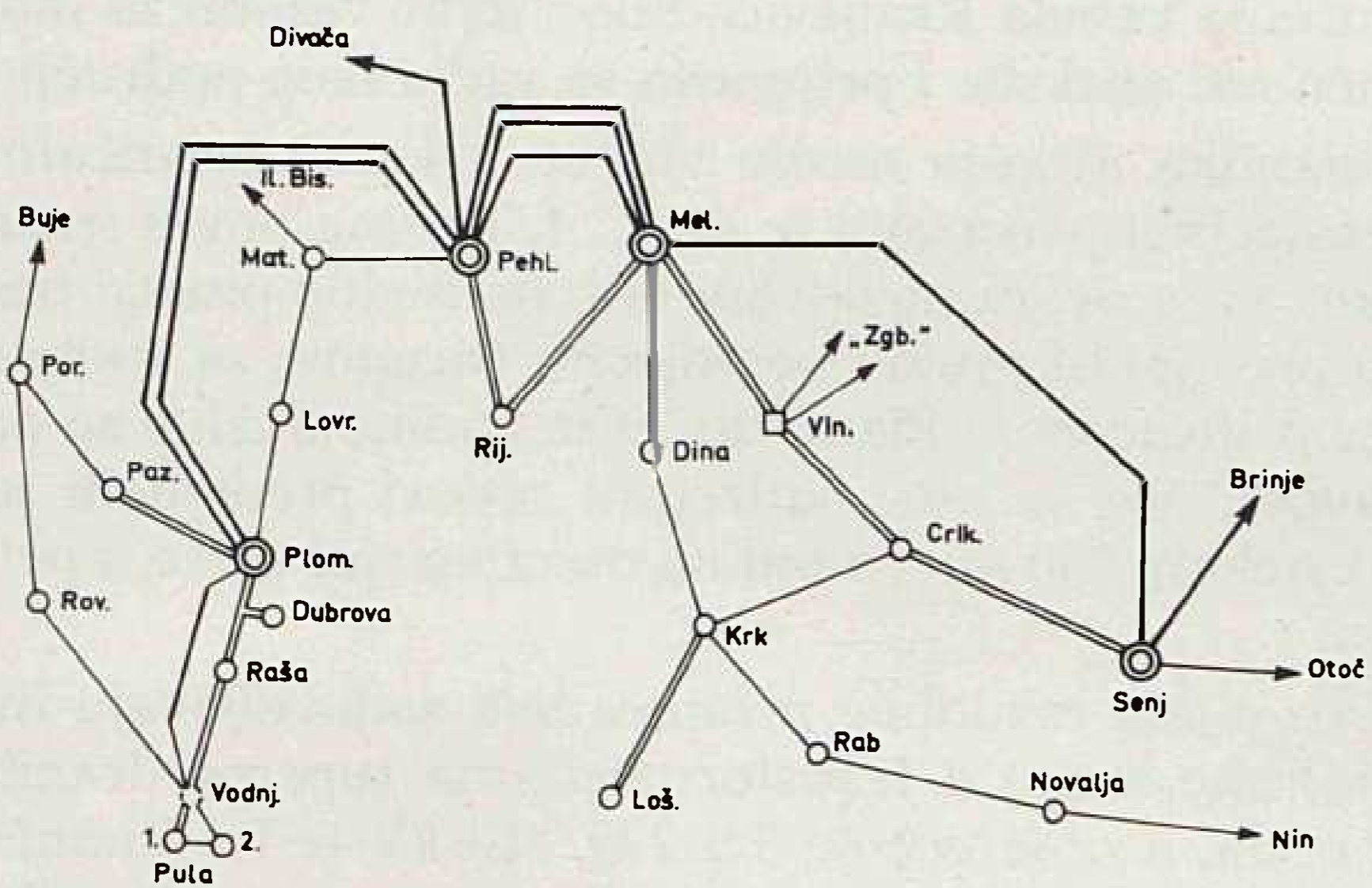
U [6] dana je i načelna ocjena potrebnih rekonstrukcija u tekućem srednjoročju. Za decidirani stav trebalo bi posebna detaljna analiza za svaki objekt koji je potencijalni kandidat za rekonstrukciju.

Izgradnjom novog dvosistemskog voda između Pehlina i Meline preko Katarine (u pogonu od 1982/83. godine) energetski nije više nužan stari dalekovod Pehlin-Katarina 1, jer dvostrani priključak Katarine uvodom/izvodom jedne trojke zadovoljava prijenos do 115 MVA. Koliko se može procijeniti buduće potrebe, ovisnost područja ove trafostanice o prijenosnoj mreži bit će manja usprkos porastu konzuma zbog planirane izgradnje HE Valići. U energetskoj bilanci ova hidroelektrana nije uvrštavana tako da je analizirano nepovoljnije stanje za prijenosnu mrežu i sve-

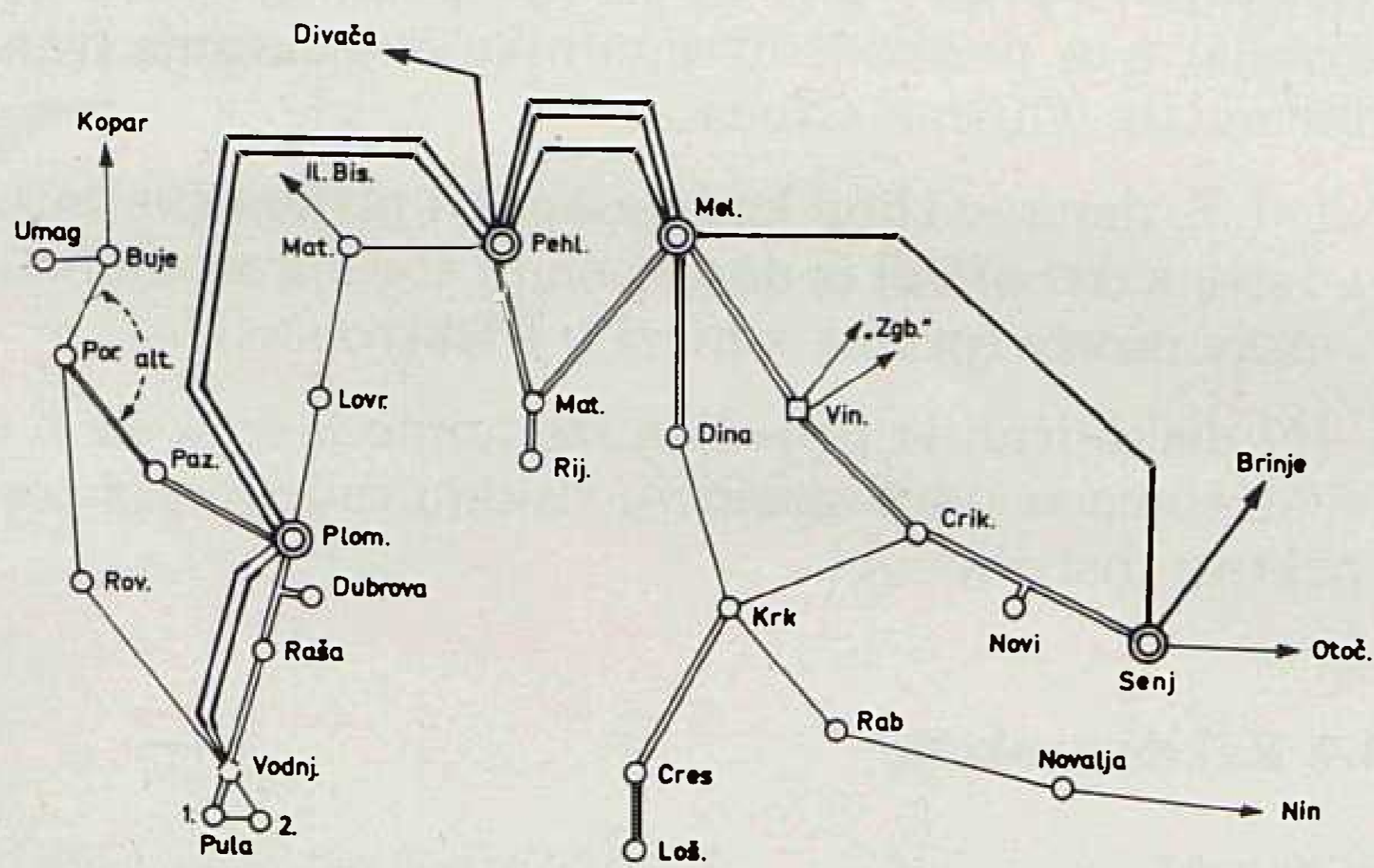
Model prijedloga prijenosne mreže riječkog područja za presjek potrošnje 427 MW (očekivano 1990. godine)



Model prijedloga prijenosne mreže riječkog područja za presjek potrošnje 566 MW (očekivano 1995. godine)



Model prijedloga prijenosne mreže riječkog područja za presjek potrošnje 680 MW (očekivano 2000. godine)



Slika 1.

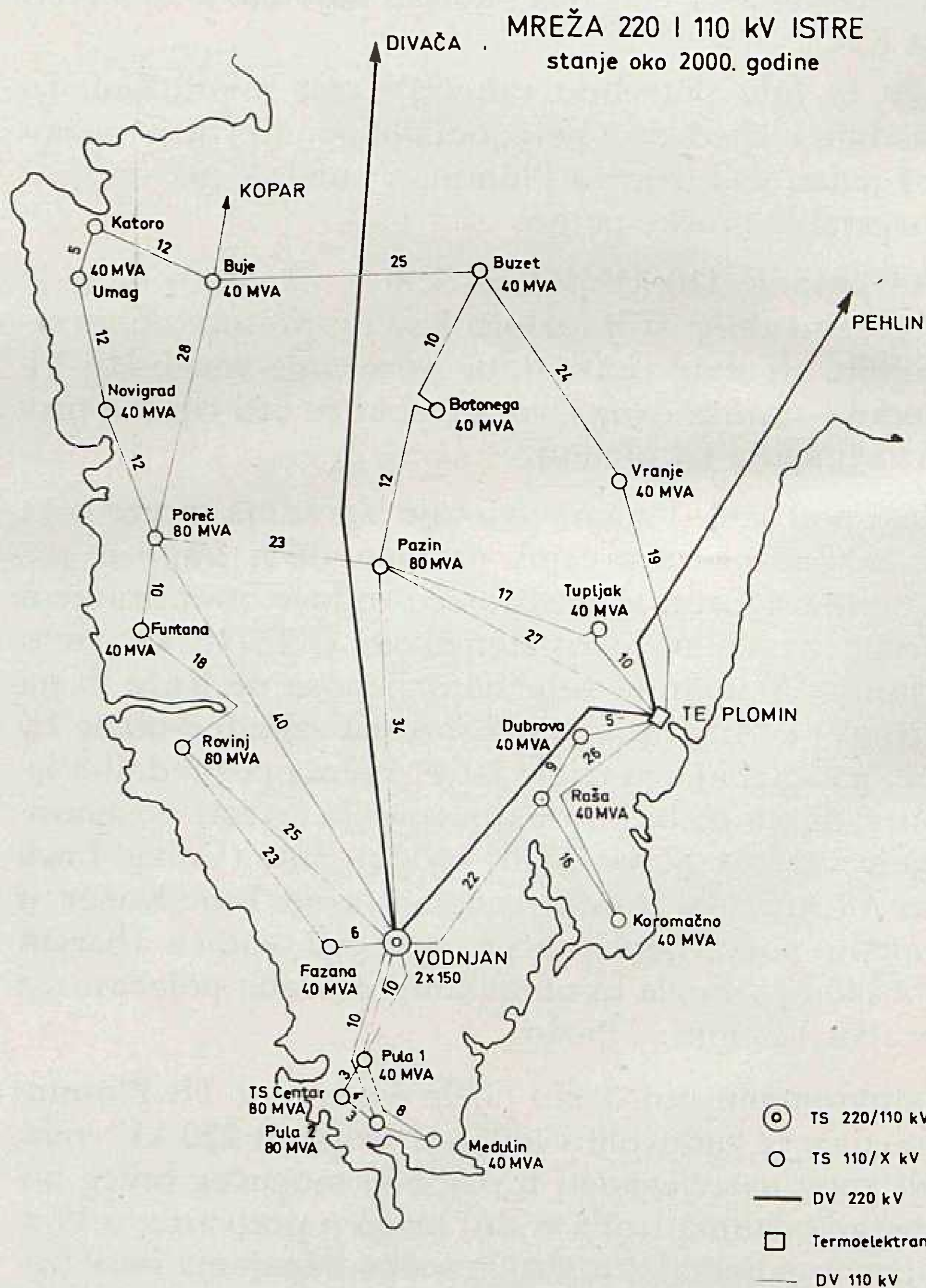
jedno nije ustanovljena potreba pojačavanja do kraja promatranog razdoblja 1986–2000. godine.

Isto tako nije ustanovljena ni potreba nekadašnjeg voda Pehlin-Matulji 2 (izgrađen 1954) ni supstitucija napuštenog Matulji-Plomin 1 (rekonstruiran 1963. godine) — jer njihovu energetske funkcije preuzima dvosistemski 220 kV vod Pehlin-Plomin, pri čemu Lovran ima dvostrani a Matulji trostrani priključak. Takav zaključak ostaje i u perspektivi, pogotovo ako se ukloni usko grlo na vodu Pehlin-Matulji s vodičima 170 Ač. U slučaju da se mreža razvija prema krite-

riju ispada kompletnog dvosistemskog 220 kV voda, onda obje ove promatrane veze treba što prije osposobiti.

Provedene analize do 2000. godine ne pokazuju potrebu još jedne trojke između Pehlina i Matulja, pa treba preispitati potrebu projektiranog novog voda; to više ga čini diskutabilnim saniranje veze Matulji-Ilirska Bistrica.

Za perspektivu poslije 1990. godine može se dati osvrt na ostale potencijalne rekonstrukcije. Pitanje voda Raša-Pula 1 riješit će se izgradnjom 220 kV voda Plomin-Vodnjan koji će biti potreban u sljedećem petogodištu (time ovaj odnos 110 kV i 220 kV vodova postaje analogan onom sa vodovima na trasi Pehlin-Plomin), kada više nije potreban i trasa se može napustiti. Vod Plomin-Raša 1 trebat će održavati zbog priključka TS Dubrova, iako po izgradnji DV 220 kV Plomin-Vodnjan tranzitno nije nužan. Vezu HE Vinodol s Melinom trebat će sanirati, jer prekidom postojeće elektrane plasira dio svoje proizvodnje preko kabela Crikvenica-Krk, to više što je manja potrošnja Gorskog kotara i izvoz prema zagrebačkom području. Budući da se radi o sigurnosti veze i izvora sa sistemom, trebalo bi predviđenu rekonstrukciju (izgradnju) obaviti što prije, iako je za slučaj ispada voda Vinodol-Melina moguće izbjeći eventualna preopterećenja sekcijiranjem mreže (isključenjem/ispadom kabela Crikvenica-Krk).



Slika 2.

Što se tiče ocjene rekonstrukcije TS Matulji (u pogonu od 1955. godine), uz starost samog postrojenja i uvjete okoline treba imati na umu da se radi o interkonektivnom čvorištu međurepubličke razmjene s kojom se i dalje računa, na što upućuje rekonstrukcija voda Matulji-Ilirska Bistrica. Osim toga, predložena zamjena vodiča 170 Ač na izlazu voda iz Matulja prema Pehlinu u 360 Ač nije moguća na postojećem portalu. Tim tehničkim razlozima pridružuju se potrebe osiguravanja konzuma područja Matulji-Opatija i kroz srednjonaponsku mrežu (danas: Matulji 30 kV, Lovran (20) 10 kV, Pehlin 35 kV). Ovo je pitanje razrađivano u posebnom elaboratu [8].

S obzirom na značenje prijenosnog puta preko Raše, sve do izgradnje DV 220 kV Plomin-Vodnjan, odnosno zatvaranja petlje oko Istre treba održavati pogonsku spremnost postrojenja 110 kV u TS Raša. Temeљita rekonstrukcija je moguća ulaskom TS Dubrova u pogon (situacija analogna onoj s obje stanice na pulskom području).

Potrebu rekonstrukcije TS Buje, kako se sagledava u opatijskom Elektroprenosu, treba podržati s obzirom na to da je to sistemska stanica razmjene sa Slovenijom (o čijem je značenju bilo dovoljno govora). Realna je u razdoblju 1995–2000. kada bude trebala još jedna transverzala između istočne i zapadne obale, odnosno jača veza sa Slovenijom.

U ovim rekonstrukcijama nije obrađivana potreba uključivanja u postrojenja u SDV.

LITERATURA

- [1] Prijedlog plana izgradnje objekata proizvodnje i prijenosa do iza 1985. godine, »Elektroprivreda« Rijeka, 1974. (dipl.inž. Dragutin Ružić sa suradnicima)
- [2] Prijedlog 5-godišnjeg plana 1981–1985. izgradnje elektroprijenosnih objekata i postrojenja »Elektroprivreda« Rijeka, 1979 (dipl.inž. Anđelko Modrčin sa suradnicima)
- [3] ZDENKO TONKOVIĆ, »Prijenosna mreža SR Hrvatske za 1990, 1995. i 2000. godinu«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
- [4] ZDENKO TONKOVIĆ, »Prijenosna mreža SR Hrvatske za razdoblje 1985–1990. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.

- [5] MLADEN ZELJKO, »Tjedne karakteristike potrošnje električne energije za razdoblje 1982–1984. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [6] ZDENKO TONKOVIĆ, »Prijenosna mreža na području Elektroprivrede Rijeka u razdoblju 1986–2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [7] ZDENKO TONKOVIĆ, »Povezivanje mreže 110 kV Istre sa mrežom Slovenije«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [8] ZDENKO TONKOVIĆ, »Energetske podloge za rekonstrukciju TS Matulji i konceptijsko rješenje«, Institut za elektroprivredu Zagreb, 1987.

TRANSMISSION NET OF »ELEKTROPRIVREDA« RIJEKA IN PERIOD 1986 TILL 2000 YEAR

From the standpoint of electric power system of SR Croatia development, it is determined a base data for analysis of transmission net of »Elektroprivreda« Rijeka. It is analysed a period beyond a 2000 year. On the analysed data it is suggested a reinforcement of transmission net. At the end is presented a synthesized estimation of proposed development.

ÜBERTRAGUNGSNETZ AUF DEM GEBIET »ELEKTROPRIVREDA« RIJEKA IM ZEITABSCHNITT 1986 ' 2000

Von der Projektion der elektroenergetischen Entwicklung Kroatiens ausgehend, wurden notwendige Unterlagen für die Analyse des Übertragungsnetzes auf dem Gebiet »Elektroprivreda« Rijeka angegeben. Man betrachtete den Zeitabschnitt bis nach dem Jahr 2000. Mit Hilfe der Systemanalyse am Rechnungsmodell wurde der Vorschlag für die Verstärkung des Übertragungsnetzes gemacht. Am Ende wurde eine Synthese der Beurteilung der vorgeschlagenen Entwicklung zusammengefaßt.

СЕТЬ ЛЭП ОБЛАСТИ »ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВО«, г. РИЕКА, В ПЕРИОД С 1986 ПО 2000 ГГ.

Исходя из планированного электроэнергетического развития Хорватии определены необходимые обоснования анализа сети ЛЭП области »Электрохозяйство«, г. Риека. Рассматривается период и до после 2000 года. Анализом системы на математической модели дано предложение усилить сеть ЛЭП. В заключении приводится синтез оценок предложенного развития.

Naslov pisca:

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

Uredništvo primilo rukopis:
1987-07-12

»JUGOTURBINA«

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

PROIZVODNI PROGRAM:

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

»JUGOTURBINA«

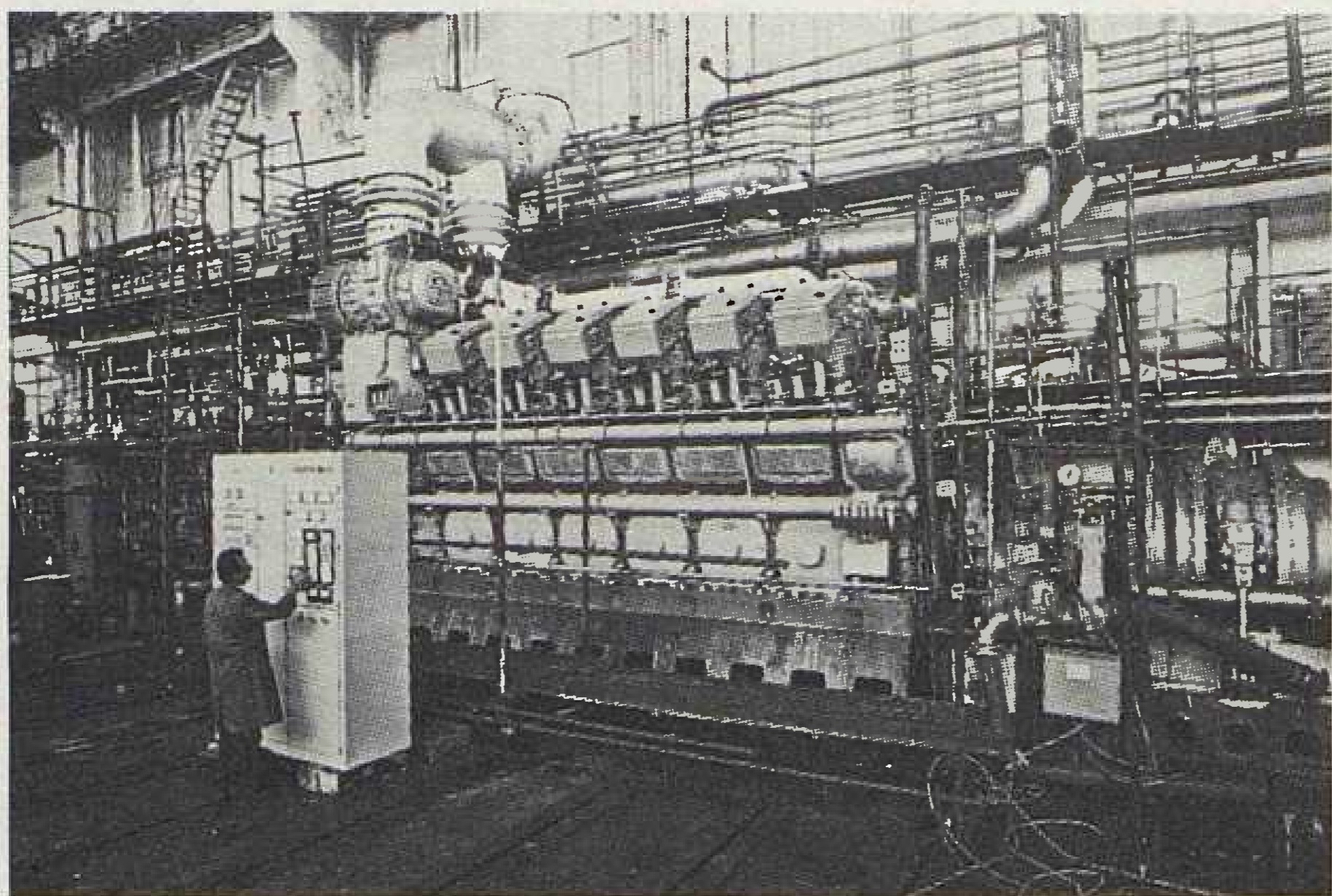
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.
47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2,
Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745

DJELATNOSTI:

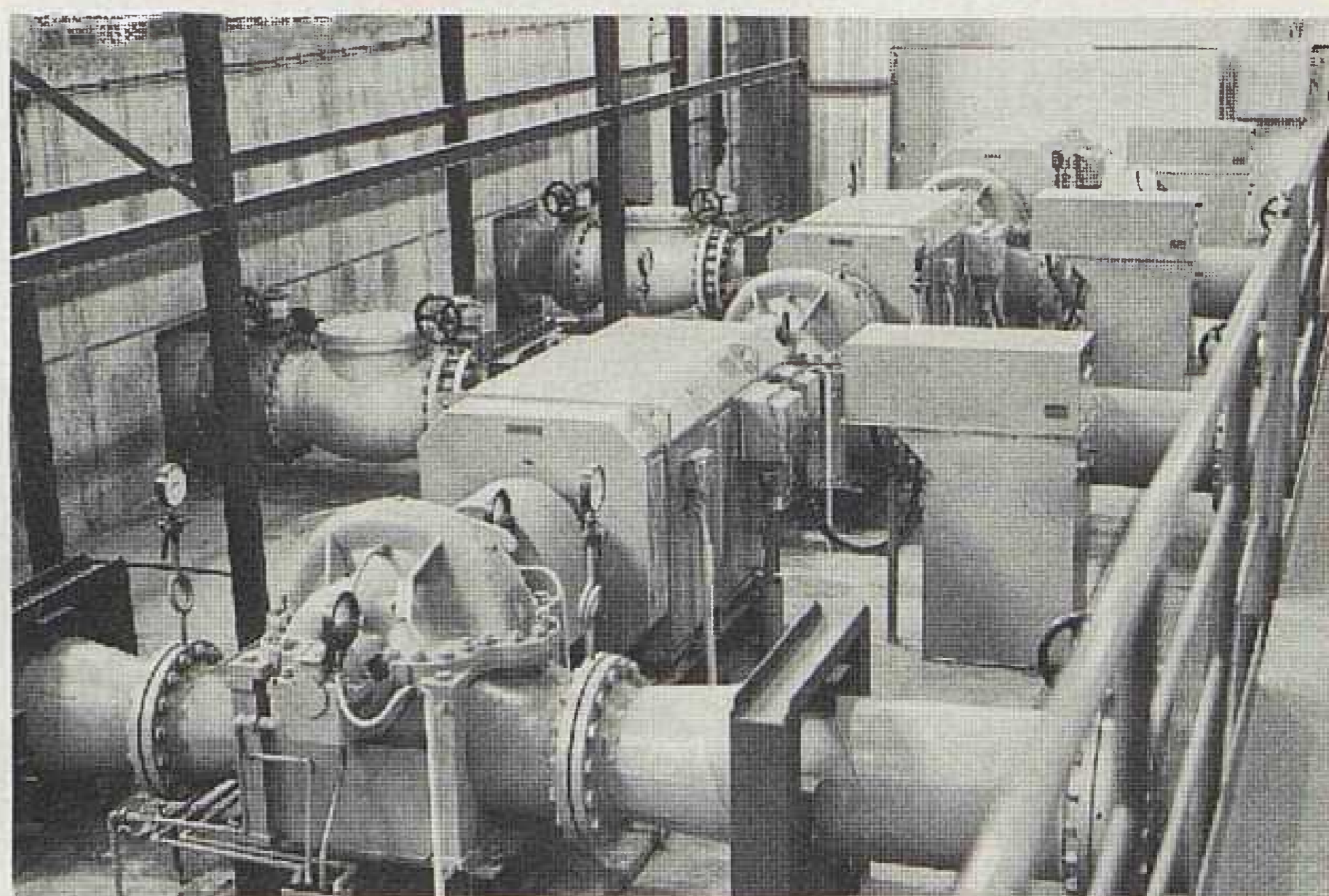
- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ – UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

REFERENCE NA SVIM KONTINENTIMA:

500 turboagregata
1.400 dizel motora
65.000 pumpnih agregata



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



Pumpna stanica u TO Ljubljana

PUMPE ZA ENERGETSKA POSTROJENJA (TERMoeLEKTRANE-TOPLANE)

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

ODNOSI POTROŠNJE SNAGE HRVATSKE I ELEKTROPRIVREDNIH PODRUČJA OSIJEKA, RIJEKE, SPLITA I ZAGREBA

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.3.016.2

PRETHODNO SAOPĆENJE

U radu su izneseni rezultati analize dispečerskih podataka sa deduciranim odnosima potrošnje u Hrvatskoj. Ustanovljeni su istodobni i neistodobni maksimumi snage elektroprivrednih područja Osijeka, Rijeke, Splita i Zagreba i republike u cjelini, te odgovarajuća učešća područja u ukupnosti Hrvatske.

Ključne riječi: potrošnja snage Hrvatske i elektroprivrednih područja, potrošnja snage, planiranje prijenosne mreže.

Planirana potrošnja, koja uz zadane izvore služi kao podloga za ispitivanja prijenosne mreže poznata je obično u globalnom iznosu za teritorij cijele republike onako kako se sagledava s praga elektrana. Vjerojatna raspodjela te globalne potrošnje po glavnim elektroprivrednim područjima moguća je ako se poznaju proporcije koje postoje između odgovarajućih dijelova i cjeline.

Analizom postojećih podataka o ostvarenim potrošnjama te su proporcije u L.1 ustanovljene empirijski. Izvor podataka bili su »Mjesečni izvještaji Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske«. Iz njih su uzimani podaci o srednjim satnim potrošnjama u večernjem vrhu treće srijede u mjesecu i apsolutnoj maksimalnoj srednjoj satnoj potrošnji mjeseca za cijelo razdoblje u kojem se ti podaci objavljuju u »Mjesečnim izvještajima...« — od 1971. do srpnja 1983. Stupanjem na snagu nove organizacije dispečerske službe ti su se podaci prestali objavljivati (vidjeti razlike u »Mjesečnim izvještajima... za lipanj i srpanj 1983). Našim inzistiranjem i prijateljskim razumijevanjem u službi statistike ZEOH-a ponovno se pojavljuju u »Mjesečnim izvještajima...« (od siječnja 1985), no sada se skupljaju na drugi način i izgubila se njihova koherencija, pa su za ovu analizu jedva upotrebljivi.

Korektnost podataka uspoređivana je na nekoliko načina, npr. uspoređena je potrošnja u večernjem vrhu treće srijede za Hrvatsku s onom koja se dobiva kao suma večernjih vrhova potrošnje područja (jer se radi o očitavanju u istom satu) — te bi dvije veličine trebale biti što bliže, teorijski jednake. Iz fonda raspoloživih podataka u dalju obradu propušteni su samo oni smisleni. Provedene su i korekcije nekih podataka, no ta provjera nije bila sistematična zbog opsega posla.

Za ustanovljavanje faktora istodobnosti potrošnje elektroprivrednih područja prema onoj Hrvatske korišten je omjer maksimalne satne potrošnje Hrvat-

ske i sume maksimalnih satnih potrošnji područja za svaki mjesec u promatranom razdoblju. Naprimjer, maksimum Hrvatske bio je u prosincu 1982. godine 1 960 MW (31. u 18 sati), a maksimumi su područja bili: Osijek 291 MW (30. u 18 sati), Rijeka 280 MW (24. u 18 sati), Split 562 MW (30. u 17 sati) i Zagreb 868 MW (24. u 18 sati). Suma maksimuma područja bila je dakle 2 001 MW, pa je faktor istodobnosti 0,98 ili 98%, tj. suma neistodobnih maksimuma područja veća je 2,09% od maksimuma istodobne potrošnje Hrvatske. Takvi su mjesečni omjeri izračunati za cijelo promatrano razdoblje i aritmetička sredina (\bar{x}) takvog skupa podataka je

97,85%

a standardna devijacija (σ)

1,085%.

Veličina standardne devijacije upućuje da je rasipanje vrijednosti oko aritmetičke sredine dosta veliko, pa je istraženo kolika su aritmetička sredina i standardna devijacija mjesečnih podataka u razdoblju 1971 – 1983. To je dano u tablici 1. (u %).

Tablica 1.

	\bar{x}	σ
I.	97,93	1,043
II.	98,58	0,571
III.	98,33	0,943
IV.	98,36	0,557
V.	97,44	1,432
VI.	97,64	1,354
VII.	97,47	0,501
VIII.	97,55	0,900
IX.	97,93	0,850
X.	97,16	0,922
XI.	97,39	1,271
XII.	98,32	0,835

Obično su za ispitivanja prijenosne mreže najinteresantniji VII – VIII. i I. – XII. mjesec, pa bi bilo korek-

tno u analizama uvažiti odgovarajuće razlike istodobnosti maksimalne potrošnje. Zbog jednostavnosti obično se ne čini takva distinkcija i za jednu prognoziranu potrošnju uzima se jednaka razlika sume potrošnje područja i globala Hrvatske («godišnja», uprosječena). U provedenoj analizi ta je prosječna vrijednost gotovo identična aritmetičkom sredinom podataka za VII. i XII. mjesec, i to bi opravdavalo postojeću praksu. U apsolutnim iznosima postotak razlike kreće se u intervalu od 97,16% do 98,58%.

Ti su odnosi ustanovljeni, kako je već rečeno, analizom podataka o maksimalnoj mjesečnoj srednjoj potrošnji (MW) kako slijedi iz dispečerskih izvještaja i objavljenih u ZEOH-ovim »Mjesečnim izvještajima«.

Slični odnosi se dobivaju kritičkom obradom momentanih maksimalnih potrošnji (čija prava vrijednost ustvari nije poznata). Naime, momentana apsolutna maksimalna potrošnja različita je od one srednje satne. Moguće ju je deducirati iz krivulje trajanja opterećenja (formirane iz dispečerskih podataka o srednjim satnim opterećenjima — istih onih iz kojih se vade i podaci za »Izvještaj«) aproksimirane trima pravcima.

Može se zaključiti da je zbog neistodobnosti **suma maksimalnih potrošnji četiri elektroprivredna područja (MW) veća od istodobne maksimalne potrošnje Hrvatske (MW) prosječno za cijelu godinu 2,2 do 2,3 %**, odnosno egzaktnije da će sa 68,3% vjerojatnošću biti veća između 1,1% i 3,3%.

Sljedeći je korak, pošto je utvrđena neistodobna maksimalna potrošnja Hrvatske, raspodjela po područjima. Za ustanovljavanje proporcija učešća korišteni su opet »Mjesečni izvještaji«, odnosno podaci za istodobnu večernju maksimalnu potrošnju treće srijede za Hrvatsku i po područjima. Iz tih veličina dobivene su proporcije udjela pojedinih područja u maksimalnoj istodobnoj potrošnji Hrvatske. Na primjer, večernja maksimalna potrošnja treće srijede u prosincu 1982. bila je za Hrvatsku 1 885 MW (18 sati), a po područjima: Osijek 276 MW (17 sati), Rijeka 278 MW (18 sati), Split 503 MW (18 sati) i Zagreb 837 MW (18 sati). Zbog neistovremenosti očitavanja pojavljuje se razlika između sume po područjima i Hrvatske (1 894 MW vs. 1 885 MW, 0,5%). Slijede učešća: Osijek 14,64%, Rijeka 14,75%, Split 26,68% i Zagreb 44,4%. Iz takvih skupova mjesečnih podataka za cijelo promatrano razdoblje (profiliranih u smislu homogenosti) dana su u tablici 2. učešća pojedinih područja u ukupnoj potrošnji Hrvatske (%) po godinama kao aritmetičke srednje vrijednosti (\bar{x}) sa standardnom devijacijom (σ).

Tablica 2.

	Osijek		Rijeka		Split		Zagreb	
	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)
1971.	13,08	0,38	15,82	0,55	24,03	1,86	47,39	1,92
1972.	13,39	0,86	15,53	1,04	25,25	1,39	46,11	1,82
1973.	13,97	0,43	15,25	0,75	24,92	1,79	46,07	2,13
1974.	13,43	0,81	14,46	1,00	31,62	1,19	41,01	1,31

	Osijek		Rijeka		Split		Zagreb	
	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)
1975.	13,24	0,66	14,13	0,71	32,23	1,93	40,71	1,88
1976.	12,82	0,56	14,21	0,67	32,85	2,09	40,82	2,13
1977.	12,85	0,64	14,72	0,83	30,63	1,34	41,98	1,41
1978.	12,93	0,60	14,63	0,91	30,25	1,57	42,14	1,82
1979.	12,72	0,49	14,72	0,53	30,30	1,32	42,37	1,96
1980.	13,03	0,90	14,65	0,63	30,16	2,18	42,37	1,83
1981.	13,63	0,87	14,25	0,65	30,47	1,33	42,19	1,19
1982.	13,41	0,97	14,83	0,76	29,00	2,36	43,11	2,01
1983.	14,03	0,42	14,30	0,29	29,52	0,64	42,80	0,40

Ti su podaci razrađeni i po mjesecima u tablici 3:

Tablica 3.

	Osijek		Rijeka		Split		Zagreb	
	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)
I.	13,45	0,56	14,44	0,57	28,56	3,16	43,81	2,90
II.	13,29	0,58	14,53	0,65	28,58	2,39	43,66	1,90
III.	13,12	0,68	14,64	0,76	28,80	2,39	43,72	1,97
IV.	13,20	0,54	14,22	0,68	29,37	2,61	43,44	2,01
V.	13,29	0,55	14,74	0,59	29,20	2,48	42,89	2,05
VI.	12,72	0,69	15,03	0,85	30,48	3,29	41,98	2,48
VII.	12,02	0,70	15,86	0,59	32,15	3,14	39,80	2,28
VIII.	12,66	0,40	15,99	0,79	31,60	3,13	40,32	2,29
IX.	13,47	0,57	14,51	0,93	29,27	2,86	42,85	2,45
X.	14,07	0,53	14,33	0,78	27,27	3,17	45,02	2,29
XI.	13,88	0,45	14,53	0,77	27,58	3,18	44,47	2,60
XII.	13,64	0,75	14,36	0,72	28,51	2,75	44,27	2,23

Srednje aritmetičke vrijednosti i standardne devijacije za učešće potrošnje elektroprivrednih područja u potrošnji Hrvatske u razdoblju 1971 – 1983. jesu (%):

	\bar{x}	σ
Osijek	13,23	0,80
Rijeka	14,73	0,87
Split	29,27	3,22
Zagreb	43,03	2,76
	100,33	

U tablici 2. primjetan je sa 1974. diskontinuitet učešća područja Splita i Zagreba, pa su izračunate aritmetičke srednje vrijednosti učešća potrošnje područja u potrošnji Hrvatske i za razdoblje 1974 – 1983:

	\bar{x}	σ
Osijek	13,16	0,82
Rijeka	14,51	0,78
Split	30,72	2,00
Zagreb	41,91	1,88
	100,30	

Mogu se zaključiti, iz aspekta pripreme podataka za ispitivanja prijenosne mreže, da su **udjeli potrošnje elektroprivrednih područja (MW) u ukupnoj potrošnji Hrvatske (MW):**

Osijek	13 %
Rijeka	14 %
Split	31 %
Zagreb	42 %

ili, egzaktnije, da će ti udjeli biti sa 68,3% vjerojatnošću u intervalu

Osijek	12,3 – 14,0%
Rijeka	13,7 – 15,3%
Split	28,7 – 32,7%
Zagreb	40,0 – 43,8%

Orijentacijski je obrađeno i razdoblje 1984 – 1986. u kojem, kako smo već napomenuli, podaci nisu koherentni zbog različitog načina prikupljanja, i dobivena su sljedeća učešća:

	\bar{x}	σ
Osijek	14,09	1,12
Rijeka	15,12	1,02
Split	30,76	2,13
Zagreb	40,08	2,37

Pitanju ovih osnovnih podataka o potrošnji, što znači i poznavanju elektroenergetskog sistema, njihovoj točnosti, prikupljanju i arhiviranju, njihovoj adekvatnoj obradi, trebat će očito posvetiti doličnu pažnju.

LITERATURA

- [1] ZDENKO TONKOVIĆ: »Prijenosna mreža SR Hrvatske za razdoblje 1985 – 90. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.

RELATION OF POWER CONSUMPTION IN SR CROATIA TO ELECTRICAL UTILITIES OF OSIJEK, RIJEKA, SPLIT AND ZAGREB

In the article are discussed results of dispatching data with deductive consumption relations in SR Croatia. Determined are isochronous and anisochronous maximal powers in electrical utilities of Osijek, Rijeka, Split and Zagreb as well as total of republic and relative portions of areas in total SR Croatia.

VERHÄLTNISSE DES ENERGIEVERBRAUCHES KROATIENS UND ELEKTROWIRTSCHAFTLICHE GEBIETE VON OSIJEK, RIJEKA, SPLIT UND ZAGREB

In der Arbeit spricht man über die Ergebnisse der Analyse der Dispscher — Angaben mit deduzierten Verhältnissen des Verbrauches in Kroatien. Es wurden gleichzeitige und nichtgleichzeitige Energiemaxima der elektrowirtschaftlichen Gebiete von Osijek, Rijeka, Split und Zagreb sowie der Republik, festgestellt. Man spricht über die entsprechende Teilnahme der Gebiete von ganz Kroatien.

СООТНОШЕНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ХОРВАТИИ И ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ

В работе приводятся результаты анализа диспетчерских данных с дедуктивными соотношениями областей в Хорватии. Установлены одновременные и неодновременные максимумы мощности электрохозяйственных областей городов Осиека, Ријеки, Сплита и Загреба и республики в целом, а также соответствующее участие областей в итоге Хорватии.

Naslov pisca:

Mr. Zdenko Tonković, dipl.inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih b.37,
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1987-09-04

Radna organizacija »ATM« specijalizirana je inženjering-organizacija za projektiranje, proizvodnju, montažu i održavanje postrojenja mjerno-regulacione tehnike i automatskog upravljanja u industriji.

Poslovna politika radne organizacije prvenstveno je usmjerena na nuđenje kompletnih rješenja i izvođenje mjerno-regulacionih i upravljačkih sistema na postrojenjima termoenergetike, crne i obojene metalurgije, petrokemije, industrije građevnog materijala i prehrambene industrije. Osnovu takve djelatnosti čini vlastiti projektni biro s velikim iskustvom u primjeni mjerno-regulacionih i upravljačkih sistema, kako uređajima vlastite proizvodnje tako i uređajima drugih proizvođača.

Vlastita proizvodnja mjerno-regulacione i upravljačke opreme temeljena je na suvremenom timskom radu i razvojnom odjelu, gdje je vlastitim snagama i znanjem razvijen niz modernih uređaja, koji se uspješno proizvode i plasiraju na domaće i svjetsko tržište.

**PROJEKTIRANJE
 INŽENJERING
 KONZALTING**

**MONTAŽA,
 ISPITIVANJE I PUŠTANJE
 U POKUSNI RAD**

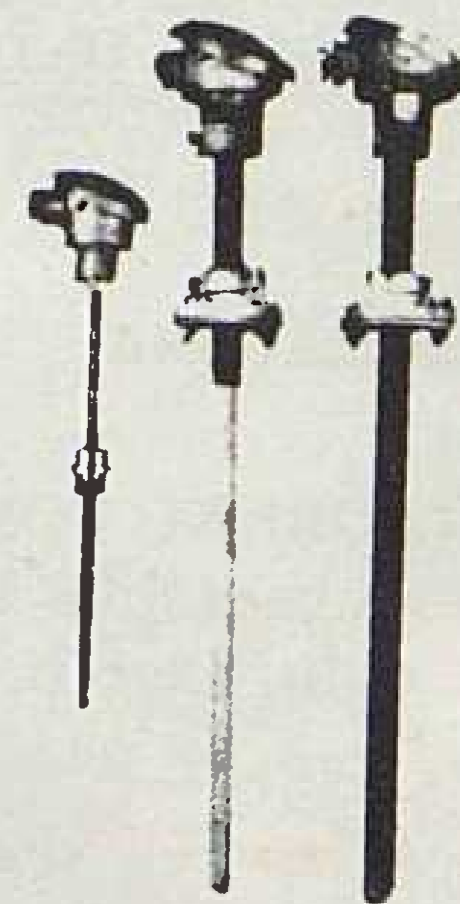
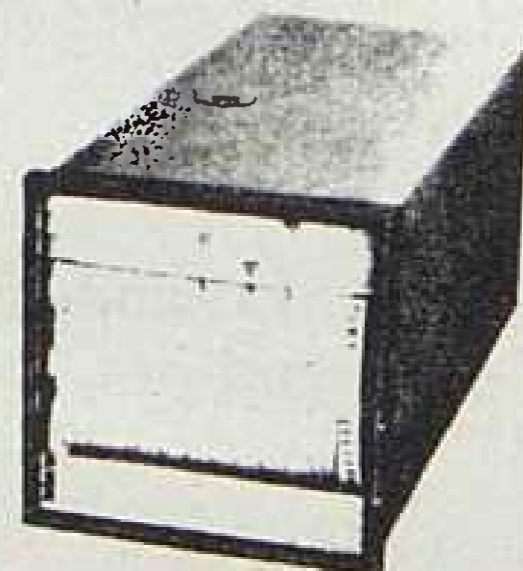
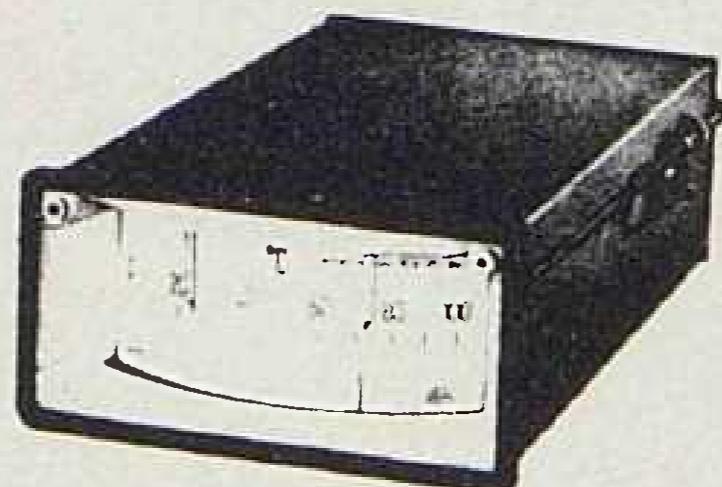
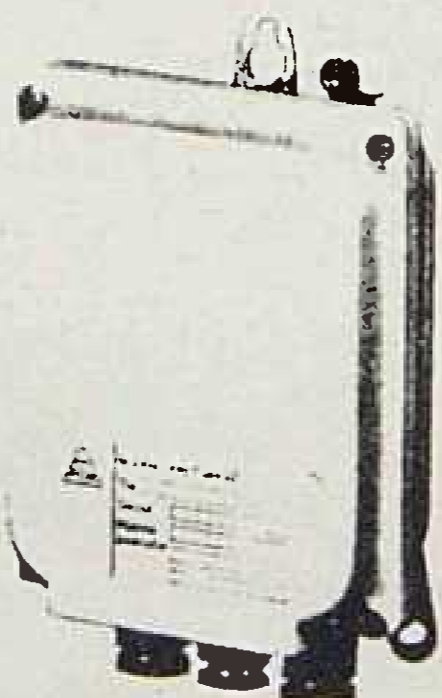
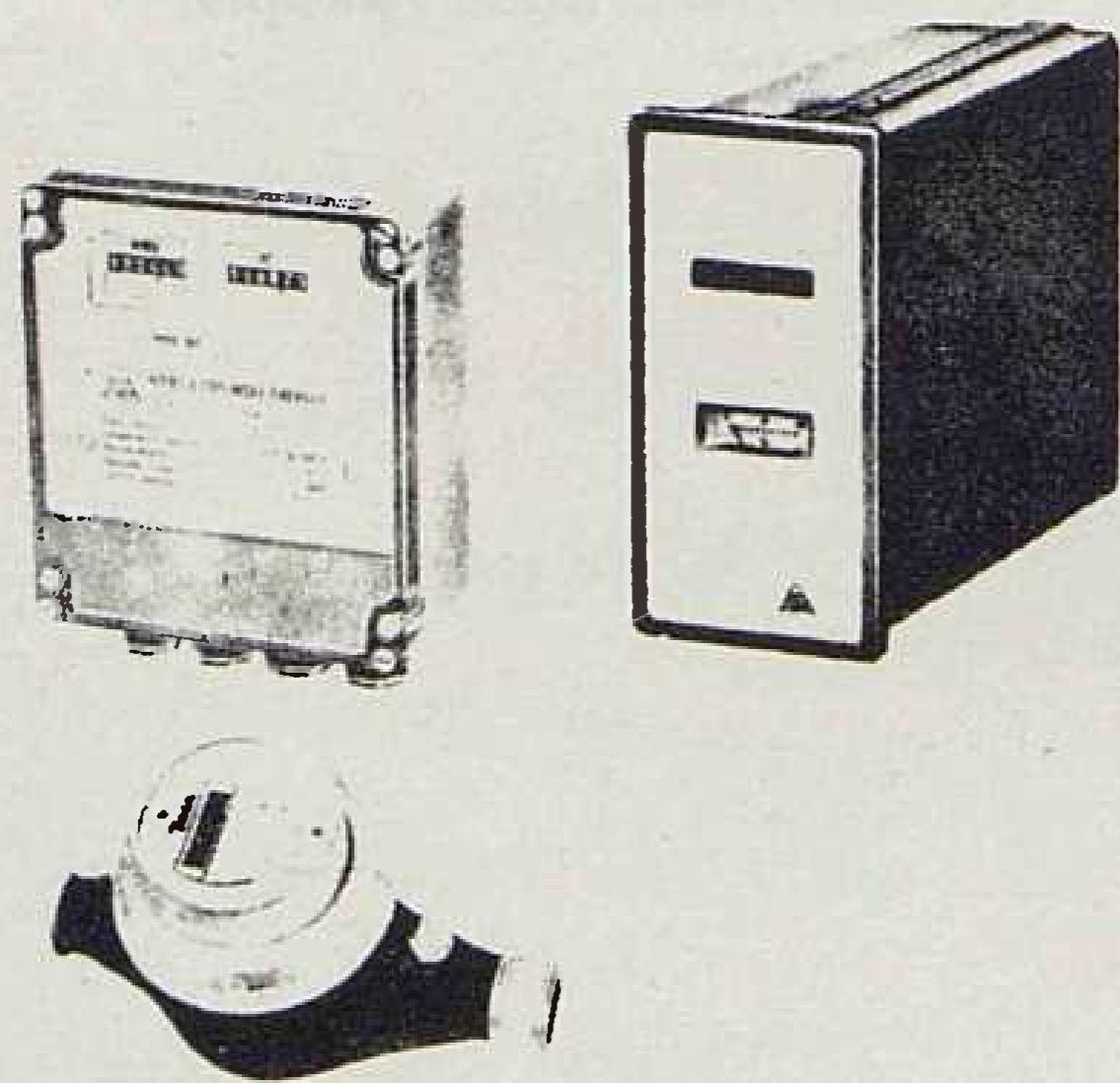
**PROIZVODNJA,
 ISPORUKA NA OSNOVI
 PROIZVODNE
 KOOPERACIJE,
 SERVIS**

Radna organizacija može ponuditi moderna tehnička rješenja za većinu kompliciranih problema, zahvaljujući i razvijenoj poslovnoj suradnji i kooperaciji s poznatim svjetskim proizvođačima mjerno-regulacione opreme. Razvijajući takve odnose i isporučujući svoje proizvode poznatim svjetskim tvrtkama, RO »ATM« privređuje znatna sredstva koja služe za kompletiranje vlastitog proizvodnog programa proizvodima kooperanata pri inženjering-poslovima.

Radna organizacija »ATM« dobila je najveća priznanja za svoje besprijekorno obavljene montažne radove na najvećim objektima u zemlji i inozemstvu. Posebno je značajna činjenica da možemo obavljati sve vrste radova — od projektiranja, predispitivanja opreme, izrade montažne dokumentacije, fizičke instalacije, kontrole kvalitete, funkcionalnog ispitivanja, puštanja u pogon, do vođenja pokusnog pogona i održavanja uređaja u pogonu.

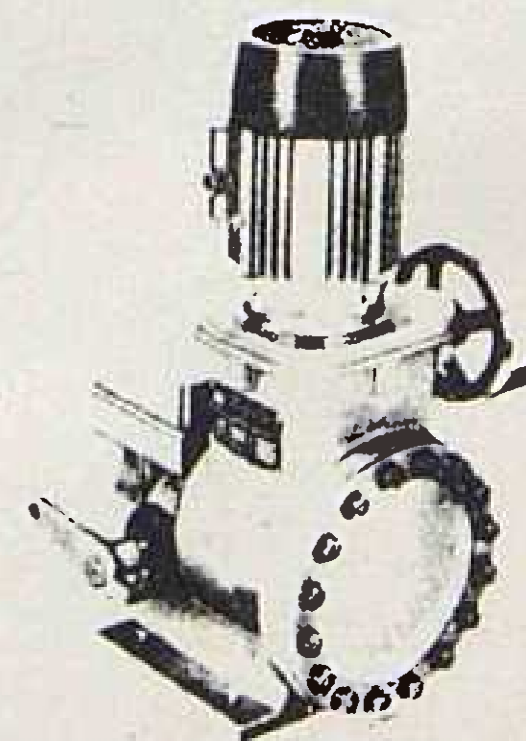
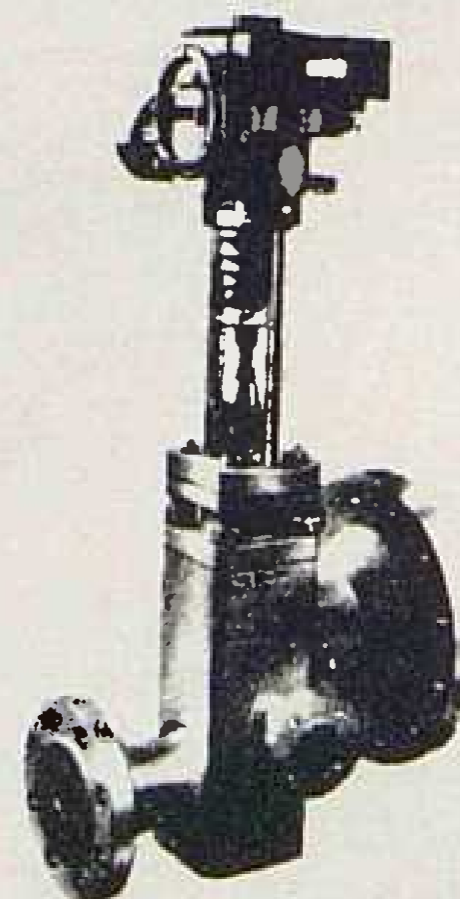
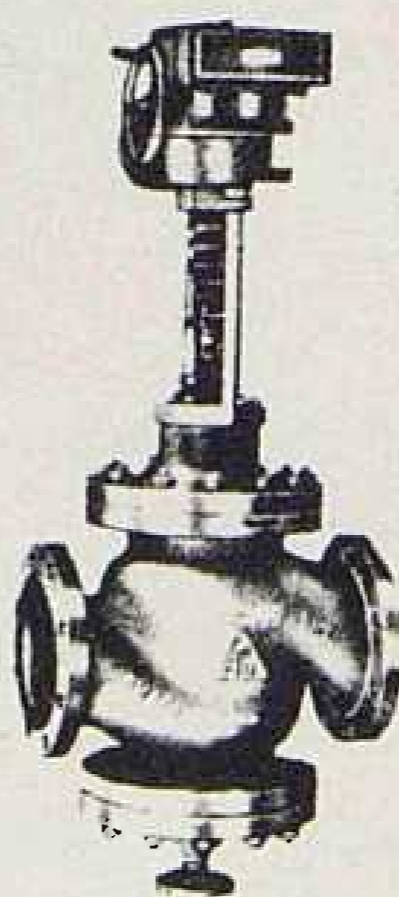
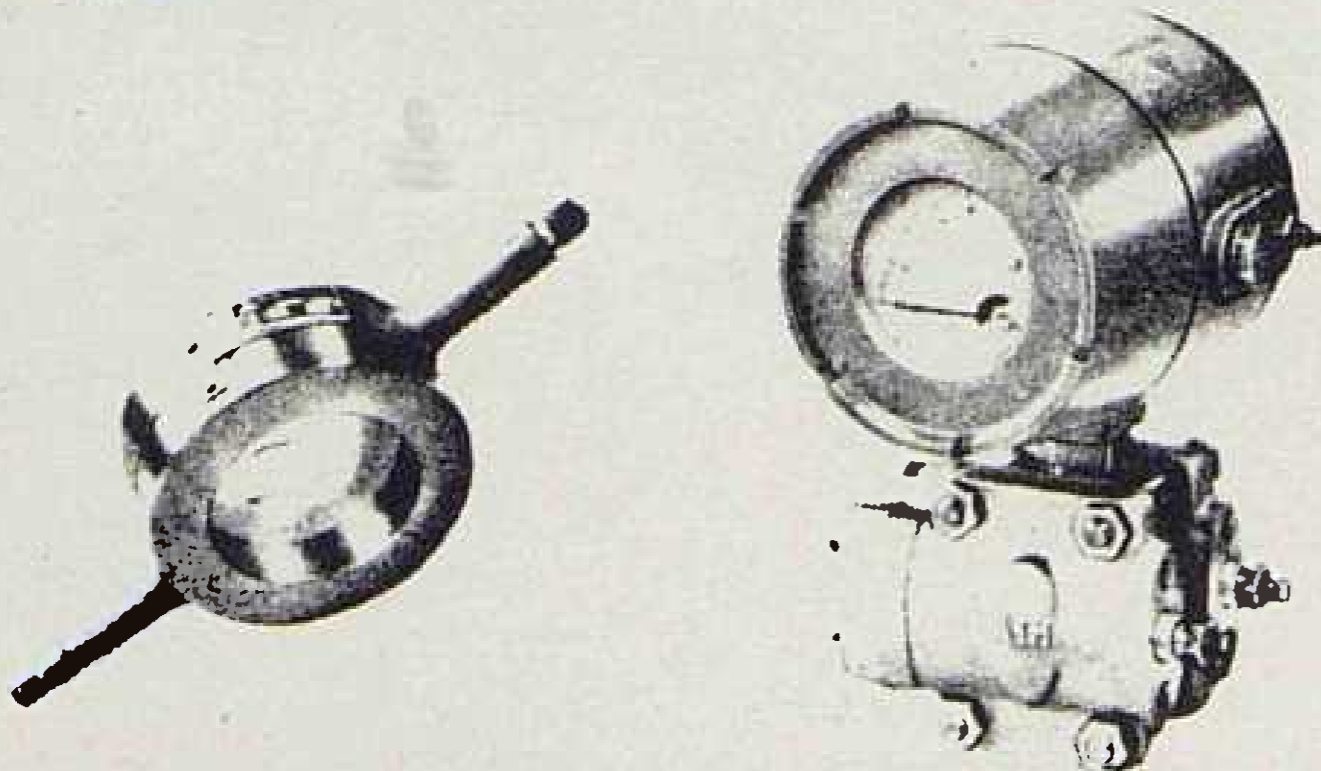
PREDSTAVLJAMO VAM NEKE OD NAŠIH PROIZVODA:

MJERILA TOPLINSKE ENERGIJE
 ELEKTRIČNI POKAZNI INSTRUMENTI
 DVOPOLOŽAJNI REGULATORI
 PISAČI



TERMoeLEMENTI I OTPORNI TERMOMETRI
 OPREMA ZA MJERENJE U SILOSIMA
 NIVOREGULATORI
 PI I PID-REGULATORI
 ELEKTRIČNI SERVOMOTORI
 REGULACIONI VENTILI
 REDUKCIONO-RASHLADNE STANICE

MJERNI PRETVARAČI OTPORA I MILIVOLTA
 PRETVARAČI TLAKA I DIFERENCIJALNOG TLAKA
 MJERNE PRIGUŠNICE
 ARMATURE ZA MJERENJE PROTOKA
 INTEGRATORI ISTOSMJERNE STRUJE



IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

RAČUNARSKO DISPEČIRANJE DISTRIBUTIVNE MREŽE

Nekoliko britanskih i zapadnonjemačkih tvrtki (British Telecom, Krupp Atlas Elektronik, Framentec, Queen Mary College) trenutno rade na projektu »Kritic« koji bi trebao riješiti računarsko dispečiranje razdjelnih mreža. Problem je načelno isti za sve vrste razdjelnih mreža (električnih, plinskih i vodovodnih), a kao pokusna korištena je jedna elektrodistributivna mreža u SRNJ (300 km², 500 000 stanovnika, 500 MW). Osim posve distributivnih mreža, promatraju se i one s vlastitim izvorima.

Osnovni problem koji bi trebao riješiti ovaj ekspertni sistem (sistem zasnovan na znanju, KBS) je u realnom vremenu odlučivati na kojem postrojenju i kako treba intervenirati da bi se zadovoljio novi konzumni nivo. Ovo je optimizacijski proces koji koristi nekoliko tehničkih i ekonomskih parametara kao što su:

- cijena proizvedene energije
- ugovoreni odnosi s dobavljačima goriva
- prisutnost kombiniranih procesa u pojedinim elektranima (toplinski, električni)
- stupanj korisnosti postrojenja u ovisnosti o opterećenju.

Problem naročito zamršuju ugovorni odnosi između pojedinih elektroprivrednih tvrtki te složen tarifni sistem. Najviši prioritet ima zahtjev maksimalnog dozvoljenog opterećenja koji je distributivna tvrtka ugovorila s dobavljačem električne energije, s obzirom da prekoračenje ove granice povlači visoke kazne.

Promatrana obračunska snaga mjeri se kao ukupni potrošak energije u 15-minutnom obračunskom intervalu. S druge strane, pak, jasno je da je ekonomski interes distributivne tvrtke prodati što više energije i opteretiti mrežu što bliže dozvoljenoj granici.

Razvijen je prototip sistema za vođenje distributivne mreže. Vanjski uvjeti su pretpostavljeni za hladan zimski dan. Zadaci prototipa su upravljati tokovima snaga u danim granicama te poštivati različite tarifne uvjete (postoji osam različitih tarifnih grupa). Prototip se načelno sastoji od konkretnih podataka o mreži i sustava načela u kojima su sadržani principi dispečiranja mreže, te od programa za simulaciju konzuma (tek u posljednjoj fazi projekta predviđa se ispitati sistem u pogonskim uvjetima).

Mnogo pažnje je posvećeno proučavanju ponašanja konzuma i simulaciji opterećenja. Osnovni izvor je redovni dnevni dijagram opterećenja. Osnovne namjene programa za simulaciju tereta su

- opisati ponašanje konzuma pri različitim utjecajima
- omogućiti simulaciju konzuma radi ispitivanja sistema za vođenje mreže.

Vanjski utjecaji, kao što su vremenski uvjeti, nisu uzeti u obzir. Osnovni problem ovdje je činjenica da ovi ne utječu isključivo na ponašanje konzuma, već i na cjelokupni teret i mrežu. Razvijena je cijela teorija ponašanja konzuma pod utjecajem vanjskog uzročnika.

Sklop za zaključivanje radnog naziva »Mikic« razvijala je posebna radna grupa u okviru projekta. Ovaj sklop zasniva se na sustavu načela koja sadržavaju potrebno znanje dispečiranja, iskustvo dispečera, tarifne uvjete i slično.

Projekt se prema izvještaju u ovom članku nalazi u fazi ispitivanja prototipa simulacijskim programom. Upravlja se fiktivnim opterećenjem 35 grupa potrošača koristeći 100 upravljačkih načela.

Modern Power Systems, siječanj 1987.

D. Tomić

SAVEZNI MINISTAR O NUKLEARNOJ ENERGIJI

Savezni ministar za istraživanja SR Njemačke dr. Reisenhuber izjavio je na kongresu njemačkog elektroprivrednog saveza, u svibnju 1987, sljedeće: »Mi ostajemo ovisni o upotrebi nuklearne energije dok god se ne pronade alternativa isto toliko sigurna, čista za okoliš i ekonomična.« Savezna vlada, međutim, ne ispušta iz vida mogućnost iskorištenja drugih izvora energije, kao i nuklearne energije fuzije u budućnosti.

Elektrizitätswirtschaft 86(1987), br. 11

Mrk.

NOVE NUKLEARNE ELEKTRANE

Nakon katastrofe u Černobilu u javnosti je zavladao mišljenje da se prestalo s gradnjom nuklearnih elektrana u svijetu. Činjenice su, međutim, pokazale suprotno. Prema izvještaju organizacije Atomic Industrial Forums (AIF), u SAD se svakih 7 tjedana pušta u pogon po jedna nuklearka. Trenutno se gradi 20 nuklearnih elektrana koje će biti puštene u pogon u sljedeće 3 godine.

Elektrizitätswirtschaft 86(1987), br. 11

Mrk.

POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŠVICARSKOJ

U Švicarskoj je od ukupno raspoloživih 42 TWh električne energije u 1986. godini 70% utrošeno u industriji, obrtu, uslužnim djelatnostima, prometu i za javnu rasvjetu. Samo na industriju i obrt otpada 64%. U usporedbi s prethodnom godinom ova je grupa potrošača povećala potrošnju za 600 GWh. Domaćinstva su potrošila 12,1 TWh ili 29% potrošnje. Zanimljivo je spomenuti da je udio domaćinstva u ukupnoj potrošnji posljednjih godina gotovo konstantan. Smatra se da se to može pripisati proizvodnji novih aparata za domaćinstvo koji znatno štede energiju.

Elektrizitätswirtschaft 86(1987), br. 12

Mrk.

NAPREDAK U RAZVOJU FUZIJSKIH REAKTORA

Premda je u razvoju fuzijskih reaktora učinjen velik napredak, njihovo praktično iskorištenje ne očekuje se prije polovine sljedećeg stoljeća. Do fuzijske nuklearne elektrane još je duduše dalek put, ali ipak danas postoje konkretne predodžbe o njezinu izgledu. Posebni fizikalni uvjeti su poznati, a periferni su uređaji jednaki onima u klasičnim termoelekttranama. U fuzijskom će se reaktoru spajati atomi deuterija

i tricija (vodikovih atoma s dvostrukom i trostrukom masom) pri temperaturi od oko sto milijuna K (Kelvina) i pritom oslobadati energiju. To će biti sličan proces kao onaj koji se odvija na Suncu. Produkt te fuzije bit će atomi helija i neutroni. Energija helijevih atoma bit će korištena za održavanje temperature procesa, a energija neutrona (80%) za dobivanje energije koja će se koristiti u elektrani. Zbog toga, po mogućnosti, moraju biti svi tako stvoreni neutroni uhvaćeni i zakočeni. Pritom nastala toplina bit će u izmjenjivaču topline predana turbini za pogon generatora. No neutroni imaju još jednu zadaću. Dok deuterija ima u dovoljnim količinama u morskoj vodi, tricija, koji je radioaktivan, praktički u prirodi nema. No neutroni se mogu bombardiranjem atoma litija razbiti u atome tricija i helija. Na taj bi način od deuterija i litija, kao osnovnog materijala, nastao međuprodukt tricija i uz proizvodnju energije na kraju bezopasni helij.

Koncepcija fuzijske nuklearne elektrane bila bi po prilici sljedeća. Centralni je element fuzijska komora prstenastog cijevnog oblika, promjera cijevi 2 do 5 m, a promjera prstena 10 do 15 m. Nadalje slijedi tzv. blanket u kojemu neutroni proizvode toplinu i tricij. Izmjenjivač topline predaje toplinu turbini. Ukupna bi snaga iznosila nekoliko tisuća MW. Uređaji u blanketu odvajaju proizvedeni tricij i skupljaju ga do uvođenja u fuzijski proces. Zatim su tu uređaji kojima se deuterij i tricij dovode do vrlo visoke temperature, kao i magnetski svici koji skupe plazmu i drže je podalje od stijenki. Pri visokim fuzijskim temperaturama deuterij i tricij potpuno su rastavljeni u svoje komponente, pozitivnu jezgru i negativne elektrone. Ovakav je plin električki vrlo dobro vodljiv i naziva se plazmom. Smatra se da će za zagrijavanje plazme na potrebnu temperaturu trebati snaga od nekih 100 MW. Današnji fuzijski eksperimentalni reaktori traže oko 50 MW.

Glavni cilj današnjih istraživanja jest bolje upoznavanje procesa u plazmi i njezina ponašanja. Laboratorijska se proučavanja vrše na dva tipa uređaja »tokamak« i »stellerator«. Među njima je osnovna razlika u načinu zagrijavanja plazme. U sistemu tokamak plazma se zagrijava kao sekundarni namot transformatora, a u drugom tipu, uz nešto kompliciraniji uređaj, plazma se grije izvana. Ispitivanja ovakve vrste provode se gotovo u svim industrijski razvijenim zemljama čije naučne ustanove rade često u kooperaciji. Kao primjer može se navesti rad na energetskom fuzijskom programu. Države članice Evropske ekonomske zajednice, kojima su se pridružile Švedska i Švicarska, putem organizacije Euroatom surađuju zajedno. Zajedničkim su snagama izgradili i vrše eksperimente u dosad najvećem postrojenju tipa tokamak, pod nazivom JET (Joint European Torus).^{*} Uređaj se nalazi u Engleskoj u mjestu Culham. U dosadašnjim pokusima plazma je sadržavala samo deuterij, dok se u JET planira i dodatak tricija. Tada bi se već 50% potrebne energije za zagrijavanje plazme dobivalo iz fuzijskog procesa. Vjerojatno bi se takav eksperiment mogao izvesti 1992. godine. Osim ovog evropskog programa intenzivno se radi na razvojnim programima u SAD, Japanu i SSSR-u. Fuzijskim programom u SAD ostvaruje se eksperiment TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor) u Princetonu. Predviđa se također rad s tricijem. U njemu je već postignuta temperatura od 200 milijuna K. Uz ovaj tip nastavljaju se također i ispitivanja tipa stellerator. I stručnjaci u SSSR-u predviđaju rad s tricijem u novom T 15 (tip tokamak) sa supravodljivim magnetima.

Vrlo su žive međusobne konzultacije i savjetovanja na međunarodnom planu. Ovakva je suradnja dobila dodatne impulse nakon političkih razgovora na vrhu između SAD i

SSSR-a. Dogovoren je velik fuzijski eksperiment na osnovi zajedničke gradnje.

Već u dosadašnjem toku istraživanja, kad je osnovni cilj bio da se ispituju fizikalni uvjeti fuzije, morala su se riješiti i mnoga tehnološka pitanja. No za ostvarenje fuzijskog reaktora postoji još mnogo otvorenih problema. Da bi se prišlo rješavanju tih problema, osnovana je prije nekoliko godina evropska studijska grupa koja radi na programu NET (Next European Torus). Zadaća je grupe da izradi tehnološki ostvariv plan fuzijskog eksperimenta s užarenom plazmom. U planu će biti definirani otvoreni tehnološki problemi koji će se zatim rješavati u evropskim razvojnim institutima i industrijskim poduzećima. Osnovni zadatak je razvoj odgovarajućeg materijala, i to prikladnog suprovodiča za magnetske namote, i odgovarajućeg izolacijskog materijala koji bi najbolje zaustavljao neutrone. Nadalje, treba poboljšati strukturu materijala koji je izložen udaru toka neutrona i kemijskim utjecajima. Posebno je važno stvoriti takav čelik koji bi u snopu neutrona postao što manje radioaktivan. Na taj bi se način velik dio radioaktivnog materijala mogao privremeno uskladištiti i nakon nekih 30 ili 50 godina ponovno upotrijebiti. Također će biti važan zadatak NET da razradi koncepciju blanketeta (dio uređaja gdje se fuzijska energija pretvara u toplinu i stvara neophodni tricij).

Kad se govori o fuzijskom reaktoru, svakako treba istaći njegove prednosti u pogledu sigurnosti. Prednosti su sljedeće:

- Fuzioni se reaktor ne može preopteretiti i tako uništiti, jer se u slučaju kvara gasi.
- Akumulirana energija u fuzijskom reaktoru u nekom određenom trenutku nije veća od energije nekih 100 autobaterija. Ova energija i energija magnetskog polja i energija goriva nisu dovoljne da se počnu taliti dijelovi reaktora. Za ovu ograničenu energiju dade se izraditi oko reaktora sigurnosna ljuska koja može izdržati i najteže havarije.
- Fuzija nema kao rezultat radioaktivne produkte. Nastala radioaktivnost uvjetovana je djelovanjem neutrona na stijenke i konstrukciju. A taj se utjecaj može optimirati.
- Radioaktivni tricij u reaktoru u zatvorenom je kružnom toku.

Prema današnjem znanju, međutim, glavni je rizik u procesu fuzije količina tricija od oko jednog kilograma. Smatra se da bi se u slučaju potpunog zatajivanja sigurnosnih uređaja moglo osloboditi najviše 200 grama tricija. Ostali je čvrsto vezan. Posljedica bi mogla biti da u krugu 1 kilometra oko nuklearne elektrane neka osoba primi ozračenje od 6 do 8 rema pri trajnom zadržavanju. Treba spomenuti da je npr. u Njemačkoj dopuštena godišnja doza za radnike u nuklearnim elektranama 5 rema.

Fuzijski će se reaktori prihvatiti u praksi ako unatoč visokoj cijeni dadu znatno više energije nego što je potrebno za njihovu gradnju i održavanje u pogonu. Osim toga, moraju biti jeftiniji od alternativnih energetskih izvora. Oni, svakako, obećavaju dugoročno energetsko rješenje.

Graditi i održavati u pogonu fuzijske reaktore moći će samo tehnički razvijene zemlje, ali osnovne su sirovine jednako pristupačne svima.

Prema *Energie* 39(1987), br. 6

Mrk.

SUPRAVODLJIVOST DANAS

Kao što je poznato, bakar vrlo dobro vodi električnu struju, ali unatoč tome osjetni dio proizvedene električne energije otpada na gubitke u bakru. Ako bi se pronašao neki idealni vodič bez gubitaka, to bi predstavljalo tehničku revoluciju

^{*} O fuzijskom reaktoru JET vidi »Energija« 33(1984). br. 2, str. 155

ravnu onoj koju je izazvao izum tranzistora i zatim razvoj tehnologije poluvodiča. Nevidljivi bi kabeli zamijenili goleme visokonaponske nadzemne vodove. Generatori i motori velike snage znatno bi se smanjili, a u kompjutorskoj tehnici proizvele bi se nove, usavršene generacije kompjutora. Svojstvo vodiča da ne pružaju nikakav otpor električnoj struji, zbog čega nema ni gubitaka, nazivamo supravodljivošću.

To je svojstvo otkriveno prvi put kod žive još godine 1911, kad je živa ohlađena na temperaturu blisku apsolutnoj nuli, tj. oko 4 K. Pri toj vrlo niskoj temperaturi živa u skoku prelazi od normalnog stanja u supravodljivo. Od tada je pronađeno tisuće supravodiča, bilo kovinskih elemenata bilo sliti na odnosno kovinskih spojeva. Početkom tridesetih godina opaženo je da element niobij (Nb) prelazi u supravodljivo stanje pri temperaturi 9,2 K, a pedesetih godina kovinski spoj niobija i kositra (Nb_3Sn) pri temperaturi od 18,1 K, a početkom sedamdesetih kovinski spoj niobija i germanija (Nb_3Ge) pri 23,2 K. Smatralo se da se mnogo više kritične temperature ne mogu postići ni teorijski. Temperature za postizanje supravodljivosti kudikamo najvećeg broja istraženog materijala toliko su niske da se mogu postići samo tekućim helijem (vrelište 4,2 K). Upravo ta činjenica je razlog da supravodljivi materijali nisu do danas imali opsežniju primjenu u tehnici. Oni se koriste pri gradnji snažnih magneta, npr, za fuzijska istraživanja i za velike akceleratora. Općirna su se ispitivanja provodila radi praktične izvedbe supravodljivih energetskih kabela velike prijenosne moći i supravodljivih namota generatora velike snage (do 5 000 MW) po jedinici. No od polovice sedamdesetih godina ovakva istraživanja stagniraju.

Sredinom 1986. godine, 75 godina nakon pronalaska supravodljivosti, objavila su dva fizičara iz laboratorija IBM u Zürichu da su supravodljivo stanje dobili pri temperaturi 35 K. Oni su eksperimentirali keramikom oksida barija, lantana i bakra i taj materijal nazvali BALACUO. Nakon stanovitih skepse u redovima znanstvenika uslijedio je široki val istraživanja u svijetu, naročito u Kini, Japanu, SAD i Njemačkoj. Istraživanja su napredovala, pa su pronalazene keramike sa sve višim kritičnim temperaturama. Početkom 1987. američki su istraživači dobili materijal koji je imao skok u supravodljivo stanje već pri temperaturi 92 K. To je keramika oksida elemenata itrija, barija i bakra (YBACUO). Ispravnost navedenih američkih eksperimenata internacionalno je potvrđena, premda atomska struktura tog materijala još nije detaljnije istražena. S obzirom na današnji veliki opseg svjetskih istraživanja na polju supravodljivosti, treba se nadati novim otkrićima materijala još više kritične temperature. Svijetom već kruže vijesti o mogućnosti postizanja supravodljivosti pri 120 K, 240 K i, konačno, 300 K (sobna temperatura). Bez obzira na to da li će se ove vijesti obistiniti ili ne, kritična temperatura od 92 K je dokazana, a to je 15 K iznad vrelišta dušika (77,4 K). Hlađenje tekućim dušikom bitno je jeftinije nego hlađenje tekućim helijem. Za tehničku primjenu svakog supravodljivog materijala visoka je kritična temperatura nužan uvjet, ali ne i dovoljan. Takav materijal mora još ispunjavati neke uvjete koji se mogu sažeti u tri grupe. Mora podnijeti visoke magnetske indukcije, visoke gustoće električne struje, a mora biti tehnički obradiv i mehanički stabilan. Pri upotrebi supravodljivosti vodiča u elektrotehnici oni su već prema svojoj ulozi predviđeni da budu opterećeni velikom gustoćom struje, a time da budu i u jakom magnetskom polju. Treba, naime, istaći da u slučaju kada magnetsko polje oko supravodiča prijede neku kritičnu vrijednost za taj materijal ili gustoća struje naraste do svoje kritične vrijednosti materijal prestaje biti supravodljiv bez obzira na temperaturu. Tako je npr. za keramiku YBACUO utvrđeno da podnosi gustoću struje od 10^3 A/cm², što je mnogo niže od 10^6 A/cm² koliko se do sada postiglo s vodičima od Nb_3Sn .

Nadalje, novi supravodljivi materijal mora biti lako obradiv da se od njega mogu izvlačiti žice, kabeli i namoti. Mehanički mora biti dovoljno čvrst da izdrži magnetske sile. Upravo je u mehaničkim svojstvima vrlo nepovoljna strana novih keramičkih sintetiziranih materijala.

Prema tome, daljnja istraživanja moraju se koncentrirati na povećanje kritične gustoće struje i mogućnosti mehaničke obrade. Jedan od načina da se riješi problem krhkosti jest nanošenje (termičko ili kemijsko) supravodljivog materijala na metalnu podlogu. Time se postiže fleksibilnost, a traženi presjek supravodiča dobije se s više slojeva podloga.

Teško je danas prognozirati kada će laboratorijska istraživanja toliko uznapredovati da se započne s tehničkom primjenom novih supravodljivih materijala i time stvore bolji uvjeti za prijenos velikih količina električne energije.

Na temelju iskustva s postojećim klasičnim materijalima (hlađenih helijem) može se reći da je od otkrića novog sistema do prve tehničke primjene prošlo 10 do 15 godina. Međutim, u ovom su slučaju istraživanja u svijetu toliko intenzivna da će vremensko razdoblje do tehničke primjene biti, vjerojatno, kraće.

Energie 39(1987), br. 6

Mrk.

EVROPSKI VEZANI (INTERKONEKTIRANI) ELEKTROENERGETSKI SISTEMI

Prvi evropski međunarodni elektroenergetski sistem počela je 1951. stvarati organizacija UCPT (Francuska, Belgija, Njemačka, Švicarska, Nizozemska, Luksemburg, Austrija i Italija). Cilj povezivanja bio je da se što bolje iskoriste elektrane i prijenosna mreža država članica. Posebno da se iskoriste preljevi hidroelektrana i smanje potrebne pogonske rezerve podsistema. Na taj su se sistem zatim povezali elektroenergetski sistemi Španjolske i Portugala na jugozapadu te Jugoslavije i Grčke na jugoistoku. Na sjeveru Evrope postoji nordijski elektroenergetski sistem (Danska, Norveška, Švedska i Finska), a na istoku elektroenergetski sistem SEV-a (SSSR, Poljska, Njemačka DR, Čehoslovačka, Mađarska, Rumunjska i Bugarska). Kao izolirani radi elektroenergetski sistem Velike Britanije.

Ustvari su svi navedeni sistemi, premda ne rade sinhrono, na neki način električki vezani. Nordijske su države Norveška i Švedska vezane na Dansku istosmjernim vezama (Skaagerack i Konti-Skan). Finska je pak istim sistemom vezana na mrežu SSSR-a (Viborg).

Elektroenergetski sistem UCPT ne može raditi sinhrono niti sa sistemom SEV-a, a niti Velike Britanije pa se i tu pribjelo istosmjernim vezama. Francuska je preko Kanala istosmjernim kabelima vezana s Velikom Britanijom, a Austrija posredstvom usmjerivačke stanice Dürnrrohr sa Čehoslovačkom. Treba spomenuti da je na elektroenergetski sistem država SEV-a priključen samo jugozapadni dio mreže SSSR-a (Ukrajina), odvojen od ostalog dijela.

Navedeni elektroenergetski sistemi imali su 1985. godine sljedeće vrhove opterećenja i proizvodnju:

	UCPTE	NORDEL	GB	SEV
Vrh opterećenja GW	225	53	51	110
Proizvodnja TWh	1 280	310	260	750

Elektrizitätswirtschaft 86(1987), br. 11

Mrk.

UDIO OBLIKA PRIMARNE ENERGIJE U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE U SRNJ

U 1986. godini nuklearna je energija zauzimala vodeće mjesto u proizvodnji električne energije u SRNJ. Više od trećine ukupne energije proizvedeno je u nuklearnim elektranama čija je instalirana snaga iznosila samo petinu.

Osim iz nuklearne energije, temeljni, konstantni dio dijagrama opterećenja podmirivan je proizvodnjom u termoelektranama na lignit. Još je samo ovdje udio u proizvedenoj energiji veći od udjela u instaliranoj snazi. Termoelektrane na kameni ugljen druge su po značenju u elektroenergetskom sistemu SRNJ. Njihov udio u proizvodnji i u instaliranoj snazi iznosi oko 30%. Dakle, termoelektrane na ugljen i nuklearne elektrane podmirivale su gotovo 90% potreba.

Vrsta elektrane	Instalirana snaga		Proizvodnja	
	MW	%	TWh	%
nuklearna	19 700	23	118,9	34,4
kameni ugljen	25 460	30	105,5	30,6
lignit	12 780	15	78,8	22,8
zemni plin	10 250	12	15,6	4,5
nafta	10 550	12	5,5	1,6
hidroenergija	6 160	7	16,3	4,7
ostalo	700	1	4,6	1,4

Uloga termoelektrana na plin i tekuća goriva slična je kao i kod nas. Uglavnom su one rezerva, a nešto proizvode i za podmirivanje vršnog dijela dijagrama opterećenja. Ove elektrane zajedno imaju 24% instaliranih kapaciteta, ali proizvode samo 6% energije. Bez obzira na znatno jeftiniju naftu za potrošače u SRNJ (za čiju je kupnju u 1986. godini utrošeno oko 30 milijardi DM manje u odnosu na 1985), proizvodnja se uopće nije povećala.

Stromthemen (1987), br. 3

C. Ž.

JEDINSTVENI ELEKTROENERGETSKI SISTEM — DA ILI NE

Izgradnja jedinstvenog elektroenergetskog sistema Sovjetskog Saveza (JEESS) zacrtana je već prvim sovjetskim planom elektrifikacije (GOELRO plan) iz 1920. godine. Ta davna težnja sovjetskih elektroenergetičara trebala bi se ostvariti već u bližoj budućnosti, pa je povezivanje u JEESS-u postalo vrlo aktualno. Poznati sovjetski stručnjak profesor V.A. Venikov napisao je u časopisu »Električestvo« (br. 3/1987) članak o toj temi (prikaz tog članka izašao je u *Energiji* br. 3/1987). Članak je u SSSR-u izgleda izazvao velik interes, jer se je u sljedećem »Električestvu« (br. 4/1987) pojavilo nekoliko polemičkih odgovora. U daljnjem tekstu ukratko ćemo prikazati ta mišljenja.

J.V. Ščerbina smatra da se principi izneseni u GOELRO-planu u vezi s JEESS-om ne mogu doslovno prihvatiti, već se jedinstveni elektroenergetski sistem treba izgraditi na hijerarhijskom principu samostalnih podsistema. Pritom treba uzeti u obzir sljedeće:

- Glavni aspekt uzroka narušenja stabilnosti velikog sistema u cjelini jest slaba međusobna veza podsistema.
- Problem elektroenergetskog sistema u SSSR-u ne može se usporediti ni s američkim niti s evropskim. Treba, naime, povezati mrežu dulju više od 12 tisuća kilometara, od čega dobar dio u rijetko naseljenom Sibiru.

- U današnjim kompliciranim elektroenergetskim sistemima nije moguće tako programirati automatsku relejnu zaštitu da pravilno radi u svim pogonskim slučajevima i najrazličitijim kvarovima u sistemu, koji se nikako ne mogu predvidjeti. To naročito vrijedi za sinhroni rad sistema, kakav bi bio sistem od Lenjingrada do Vladivostoka. Autor to uspoređuje s velikim brodom koji ne bi imao zaštitu od velikih havarija. Ako se pak podsistemi povežu istosmjernim vezama, bilo dalekovodima bilo stanicama (leđa uz leđa), kvarovi bi djelovali kao na brodu s pregradama. Istosmjerne visokonaponske veze danas su vrlo sigurne, što su pokazala iskustva u svijetu, a i iskustva dugogodišnjeg pogona istosmjernog ± 400 kV voda Volgograd – Donbas. Pri takvoj istosmjernoj vezi regulacija snage je vrlo brza, a frekvencije vezanih podsistema neovisne. To, naravno, silno olakšava intervencije dispečera.

Autor predlaže razradu triju matematičkih modela razvoja JEESS-a uz pretpostavku:

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

Te tri varijante rješenja proanalizirale bi se na temelju ekonomskih principa.

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

Nesinhrona veza ni u kojem slučaju ne smanjuju prednosti vezanoga jedinstvenog sistema, već, naprotiv, povećavaju njegovu efikasnost. Takva veza također ne predstavlja odstupanje od jedinstvenog operativnog i automatskog upravljanja JEESS-a. Pri vrednovanju istosmjerne veze treba svakako uzeti u račun prednosti jednostavne i brze regulacije toka snage, kao i mogućnost promjene frekvencije u podsistemu.

Prema primjeni istosmjernih veza mnogo se kritičnije odnosi drugi diskutant D.A. Arzamescev. Tvrdi da se elektroenergetski sistem iznad neke kritične veličine može održati stabilnim i ne vidi opasnost od prevelikih struja kratkog spoja, no ti su problemi davno doveli do ideje istosmjernog povećanja. D.A. Arzamescev smatra da se mnogi problemi mogu riješiti umjesto skupim istosmjernim vezama transformatorima s poprečnom regulacijom. Ako se pak može optimirati rad u podsistemu, istosmjerna je veza neekonomična. Točno je da istosmjerno vezani sistemi mogu neovisno regulirati frekvenciju, no ta se prednost može i drukčije riješiti. Dosadašnja su iskustva pokazala da sistem može raditi stabilno i zadržati pogonsku sposobnost uz postojeću automatiku. Kvarovi su većinom rezultat slabih međusistemskih veza. Tvrdnja da sistem dostiže neku kritičku veličinu s obzirom na mogućnost regulacije nema dovoljnu naučnu ni praktičnu osnovu. Kod vrlo velikih havarija uloga istosmjernih veza ne može se potcijeniti, ali je nužno pažljivo ocijeniti mjesto i režim rada istosmjerne veze. Ovakvu vezu, kao bitno nov element u elektroenergetskom sistemu, ne smije se promatrati samo pojedinačno, već uzimajući u obzir sveukupni efekt grupe istosmjernih veza. U takvom radu mogu nastati bitno nove pojave koje neće pojednostavniti, već zakomplicirati neke aspekte automatike sistema.

Treći diskusijski članak napisala su četiri stručnjaka: J.D. Barkan, Z.P. Krišan, J.F. Kuzmin i N.J. Markušević. Oni se direktno ne zalažu ni za jedan sistem povezivanja, ali iznose uvjete u kojima rade podsistemi u sklopu velikog interkonektiranog energetskeg sistema. Važno je u prvom redu da podsistemi budu energetske izbalansirani, a izvori što jednoličnije porazdijeljeni. Kod velike koncentracije elektrana treba izgraditi nadsistemske veze, bilo trofazne, bilo istosmjerne. U vezanom velikom sistemu visokocentralizirano upravljanje je nepredvidivo. Operativno i automatsko upravljanje treba organizirati u podsistemima, a koordinacija je centralna. Pri ispadima vodova velike prijenosne moći ili ispada velikih izvora istosmjerne veze ništa ne mijenjaju.

U istraživanju strategije razvitka sistema treba uspoređivati veći broj varijanata za dulje razdoblje. Pri istraživanjima treba se koristiti matematičkim modelom, naročito dinamičkim.

Autori misle da je pitanje razvitka energetike u zemlji vrlo aktualno. Za rješavanje tog pitanja treba razviti metode koje obuhvaćaju energetske tehnološka pitanja, ekonomiku, ekologiju i sociološke probleme uz modeliranje proizvodnje i prijenosa. Tek na temelju modeliranja zajedničkog djelovanja navedenih komponenata i njihove analize može se govoriti o optimizaciji cijelog kompleksa.

Mrk.



ASEA i BROWN BOVERY — JEDNO PODUZEĆE

S obzirom na naše prilike i tendencije vjerojatno će biti interesantna vijest da su usred ljeta, 10. kolovoza 1987, uprave grupacija ASEA u Vasterasu (Švedska) i BBC Brown Boveri u Badenu (Švicarska) izdale obavijest o sjedinjavanju svog djelovanja. Tako ova vijest koja je obišla svijet dolazi samo nešto kasnije od one iz Njemačke, da će Kraftwerk Union nestati unutar Siemens.

Nova kompanija započet će djelovati početkom 1988. pod imenom ASEA BROWN BOVERY. Udjeli u vlasništvu i upravljanju bit će na osnovi pola/pola, a nacionalni profil i unutrašnju organizaciju kao i vlasništvo dionica obje će grupacije zadržati kao dosad.

Kakva je pozadina ovog spajanja? Elektroindustrija karakterizirana je stagnacijom ili sporim rastom na većini tržišta. Istovremeno je porasla potreba za visokokvalificiranim i specijaliziranim istraživanjima i razvojem. Treba dodati i zahtjev u mnogim zemljama za vlastitim sudjelovanjem i proizvodnjom. ASEA i Brown Boveri su obje tehnološki orijentirane kompanije s velikim sličnostima u svojim poslovnim segmentima. One se komplementiraju na svojim matičnim tržištima u skandinavskim zemljama, Švicarskoj, Zapadnoj Njemačkoj, Italiji i Austriji. Zajednička kompanija imat će 2/3 svog ukupnog poslovanja u Evropi, a planira-

na je ekspanzija u Sjevernu Ameriku i Aziju/Australiju. S obzirom na spomenuti naglasak na tehnologiji, inovaciji i kvaliteti, objedinjavanjem će se postići značajna sredstva za istraživanja i razvoj. S druge strane, smanjit će se troškovi, a povećati profit i mogućnost kreditiranja za velike projekte (što je toliko značajno za zemlje Trećeg svijeta).

BBC Brown Boveri osnovan je 1891. Od svojih 94000 zaposlenih 22000 su izvan Evrope. Oko 25% poslovanja vezano je uz proizvodnju i distribuciju, a preostalih 50% uz aktivnosti u transportu, standardnim proizvodima (naročito niskona-ponskim aparatima), elektroničari (informatika, predajnici), mjerenju i upravljanju, industrijskoj primjeni (rudarstvo, metalurgija, kemija, nafta, tiskarstvo).

ASEA je osnovana 1883. Od svojih 71000 zaposlenih oko 20000 je izvan nordijskih zemalja. Postrojenja za proizvodnju i prijenos/distribuciju čine oko 1/3 djelatnosti Grupacije, a ostali dio koncentriran je na automatiku i procesno upravljanje. ASEA je jedan od vodećih svjetskih proizvođača industrijskih robota, a grupacijom Fläkt (u kojoj ASEA drži većinu vlasništva) pokriveno je i područje zagađivanja okoline i problematike okoline. Tako će po broju zaposlenih nova kompanija biti paritetna francuskoj CGE i britanskoj GEC, a po prometu je veća od obje i približit će se Siemensu.

Z. Ton.

NOVE KNJIGE

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

Izdavač: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig

Format 16,5 × 23,5 cm, tvrdokoričeno, 325 stranica, 165 slika, cijena 20 DM.

Knjiga je namijenjena ovlaštenim rukovodiocima rasklopnih postrojenja u elektroprivredi i industriji, a može vrlo dobro poslužiti svima kojima su potrebna znanja i upute o pogonu i rukovanju takvim postrojenjima. Materija se temelji na TGL propisima Njemačke DR sa stanjem 1985, a razvrstana je u 7 poglavlja.

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

Obuhvaćena je organizacija radnih ekipa, pitanje odgovornosti, zaštita pri radu, osiguranje i kontrola beznaponskih stanja, zatim radovi blizu dijelova pod naponom, rad pod naponom i način kontrole prilikom kvara. Zaštita od požara sadržana je u 6. poglavlju. Opisani su materijali u vezi s njihovom zapaljivosti, način i postupak pri gašenju, uređaji za gašenje, za alarmiranje i spašavanje. U posljednjem se poglavlju govori o nesrećama i prvoj pomoći pri udaru električne struje.

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

Mrk.

Merker P. Günter: **KONVEKTIVE WÄRMEÜBERTRAGUNG**

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

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

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

Knjiga je podijeljena na tri dijela s ukupno 10 poglavlja. Na početku je uvod s osnovnim pojmovima iz materije koja se

obrađuje i povijesni pregled razvoja nauke o toplini. Prvi dio ima četiri poglavlja, a obrađuje osnovne relacije termofluidne dinamike. Obraden je prijenos energije u fluidi, turbulentni i impulsni i prijenos topline, uloga graničnog sloja pri strujanju i zakon sličnosti pri prijenosu topline.

U drugom dijelu, također s četiri poglavlja, obuhvaćeni su problemi pri lamilarnom strujanju u kanalu i turbulentnom strujanju u cijevima. Razmatra se prijelaz topline na ravnoj ploči i pri strujanju oko cilindričnog tijela.

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

U dodatku se objašnjavaju pojmovi gradijenta, divergencije i rotacije i termičkih jednadžbi stanja. Kao što je u ovakvoj vrsti knjiga uobičajeno, dodan je opširni popis literature.

Mrk.

Krunoslav Begović: **HIDROENERGETSKA POSTROJENJA** (Uvod u probleme izbora opreme)

Izdavač »Delit« Društvo elektrotehničkih inženjera i tehničara Sisak 1986; 282 stranice, 182 slike, format 24 × 16,5 cm, meko ukoričeno

Knjiga je prvenstveno pisana za potrebe studenata Fakulteta Strojaraštva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Istovremeno ona može poslužiti kao izvrstan priručnik inženjerima u praksi, jer sadrži niz podataka, dijagrama, nomograma i tablica neophodnih u fazi projektiranja, izgradnje i eksploatacije hidroenergetskih postrojenja. Knjiga obrađuje više međusobno povezanih struka, no težište je dano na problematiku koju u praksi rješavaju strojarski i elektroinženjeri. Na kraju knjige je opširan popis literature. Knjiga sadrži 17 poglavlja.

1. Uvod

Dani su općeniti podaci o proizvodnji i potrošnji električne energije, značaj hidroelektrana u EES, tipovi hidroelektrana, osnovni hidraulički odnosi pri iskorištenju vodnih snaga, veličina izgradnje, te broj i veličina agregata.

2. Hidromehanička oprema

Opisana je oprema svih bitnih dijelova hidroelektrane, dane su smjernice za izbor i dimenzioniranje opreme te procjena težine.

3. Tlačni cjevovodi

Opisani su tipovi tlačnih cjevovoda, obraden ekonomični promjer, prikazani hidraulički odnosi i smjernice za dimenzioniranje.

4. Vodne turbine i reverzibilne pumpne turbine
Dane su osnovne karakteristike Francis, Kaplan i Pelton turbina i izbor osnovnih parametara. Također su dane karakteristike cijevnih turbina. Opisani su sistemi regulacije, automatike i smjernice za procjenu težine.
 5. Električni generatori
Dane su osnovne električne i mehaničke veličine generatora uključujući i cijevne generatore. Opisani su također motorgeneratori reverzibilnih grupa.
 6. Transformatori snage
Opisani su osnovni električni pojmovi i dani podaci o energetske transformatorima.
 7. Rasklopna postrojenja
Dane su osnove za dimenzioniranje opreme, sheme i dispoziciona rješenja postrojenja, te proračun pouzdanosti.
 8. Uređaji upravljanja, zaštite i dojave
Opisan je osnovni princip upravljanja u hidroelektrana, procesna obrada podataka, optimizacija pogona te zaštitni uređaji hidroelektrana.
 9. Pomoćni uređaji
Dani su podaci za vlastitu potrošnju elektrane uključujući izmjeničnu i istosmjernu struju i komprimirani zrak. Također su opisane dizalice i unutrašnji transport.
 10. Rješenja dispozicije objekata hidroenergetskog postrojenja
Dane su osnovne dispozicije svih vrsta hidroelektrana.
 11. Tehnički uvjeti za isporuku opreme
Dane su smjernice za sastav tehničkih uvjeta za isporuku i montažu opreme.
 12. Ispitivanje opreme i probni pogon
Dan je popis odgovarajućih domaćih i međunarodnih propisa za ispitivanje opreme.
 13. Troškovi izgradnje i račun rentabiliteta
Dane su smjernice za određivanje troškova opreme kao i za račun rentabiliteta.
 14. Završne napomene
Dane su neke napomene vezane za pogon hidroelektrana i to za hidraulički udar, hidrauličku rezonanciju i za koordinaciju vremena zatvaranja raznih organa ispred i u vodnoj turbini.
 15. Dodatak I
Dana je usporedba osnovnih parametara cijevnih turbina u kruški i Kaplan turbine.
 16. Dodatak II
Opisan je stabilitet regulacije pumpnih hidroelektrana.
 17. Pregled najvećih izvedenih hidrauličnih postrojenja
Dan je popis odgovarajućih postrojenja u nas i u svijetu.
- Na kraju se može reći da knjiga daje značajan doprinos potpunjavanju praznine u našoj stručnoj literaturi.



„MONTER“

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

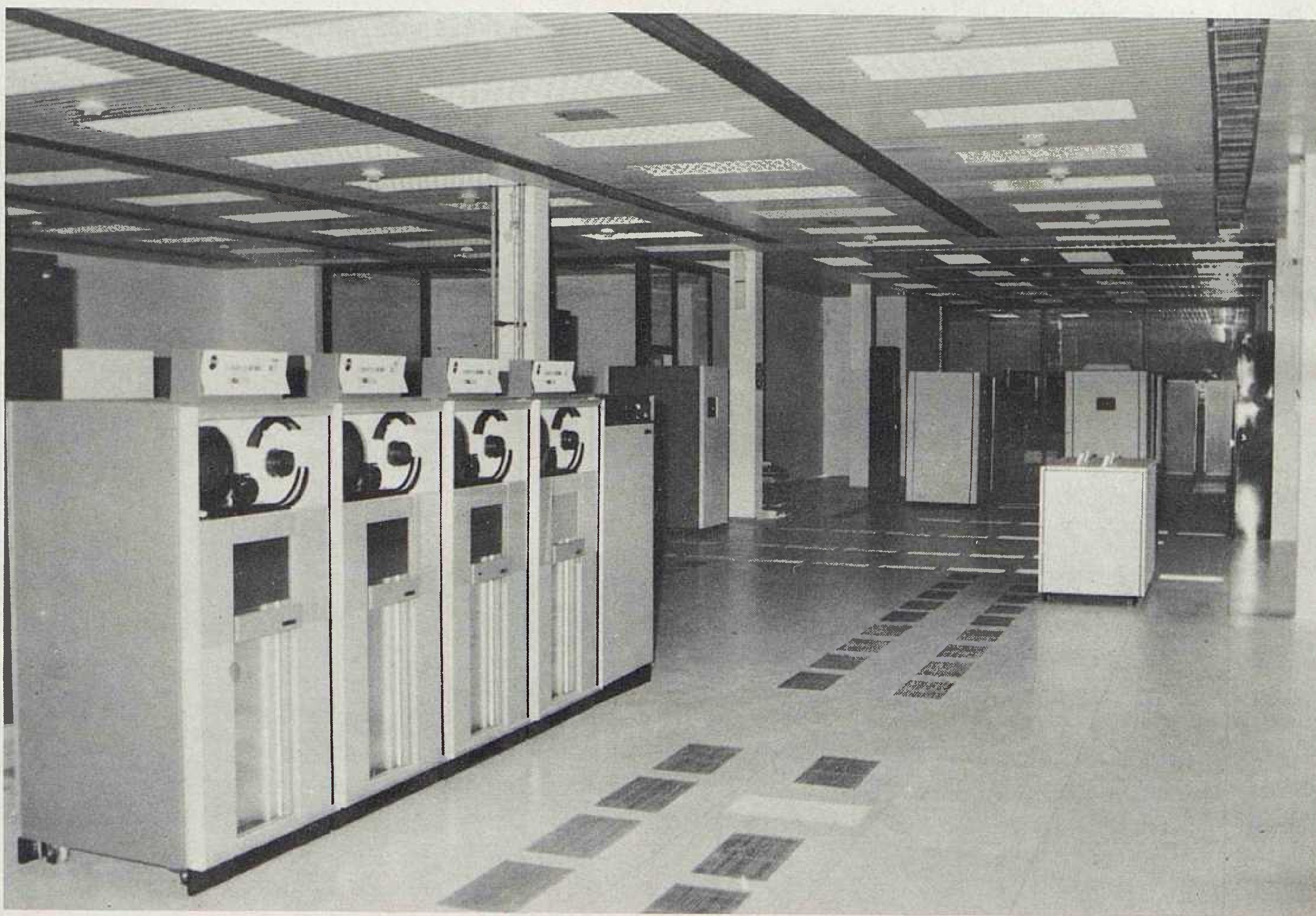
41000 Zagreb N. Demonje 4
Telefon 041/571-866
Telegram Monter
Telex 21433 Yu Monter

SPONZOR-SUORGANIZATOR
UNIVERZIJADE'87
ZAGREB
JUGOSLAVIJA



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

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



CAOP Zagreb — instalaterske radove izvodili radnici Montera