UDK 621.31 ENJAAC 33 (1–6) 1–548 (1984) YU ISSN 0013–7448

ENERGIJA

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1984. GODINI

Boinović, V. — Trbojević, S.: Uloga nekonvencionalnih izvora energije u energetici Jugoslavije . 227 3

Božin, I.: Razvoj Instituta za elektroprivredu i današnji elektroenergetski problemi 3 1

Čorak, D. — Jelavić, V. — Mužek, Z.: Matematički model za optimizaciju energetske opskrbe urbanih sredina 19 1

Čubrić, S.: Procjena rezervi geotermalne energije u dijelu geotermalnog ležišta 131 2

Ćurković, J. — Jelavić, V.: Metode za evakuaciju demografskih, meteoroloških i radioloških karakteristika lokacija nuklearnih elektrana 211 3

Ćurković, J. — Bradač, V.: Radioaktivna tekuća ispuštanja iz nuklearnih elektrana PWR Tipa . . 483 6

Filipović-Grčić, B.: O asinhronom uklapanju generatora kod brzog automatskog ponovnog uklapanja 41 1

Filipović-Grčić, B. — Žutobradić, S.: Opravdanost uvođenja zaštite sabirnica u gradskim TS 110/20/10 kV 107 2

Fuštar, S.: Optimalni raspored remonta termoagregata u godišnjoj bilanci 377 5

Granić, G. — Zeljko M.: Mogući pravci razvoja potrošnje energije u SRH do 2000. godine 9 1

Granić, G. — Zeljko, M.: Korištenje sezonskih akumulacijskih bazena uz upotrebu linearnog programiranja 295 4

Granić, G. — Alerić, S.: Metoda valorizacije doprinosa konstantnih potrošača elektroenergetskom sistemu koji proizlazi iz njihove mogućnosti prilagođavanja potrebama sistema . . 455 6

Hebel, Z., — Mesić, M.: Analiza elektroenergetskog konzuma na području Elektroprivrede Zagreb pomoću elektroničkog računala UNIVAC 1100 . . . . . 115 2

Kalan, B.: Metoda za proračun pouzdanosti i raspoloživosti prenaponske mreže-programa NEVA 373 5

Krulc, Z.: Specifični otpor tla. Geološko-geoelektrični presjeci tla 477 6

Lovašić, Z. — Jurčević, M. — Petrović, B.: Proračun ravnotežnih i prijelaznih gorivih ciklusa kod lakovodno-tlačnih reaktora 363 5

Markovčić, B.: Razvoj i stanje kabelske tehnike visokog napona danas u svijetu 505 6

Matanić, D.: Izbor parametara generatora pare za blokove na Kosovu 55 1

Matanić, D.: Tendencije razvoja svjetske kotlogradnje i odraz na izgradnju termoelektrana kod nas 493 6

Mužek, Z.: Razvoj korištenja energije na području grada Zagreba u razdoblju 1961 – 1978 . . . . . 197 3

Mužek, Z.: Pregled opskrbe toplinom iz nuklearnih elektrana u svijetu 397 5

Naumovski, I.: Visokonaponski sklopni aparati izolirani plinom SF_6-sadašnjost i budućnost . . 317 4

Naumovski, I.: Prilike pri uklapanju kondenzatorskih baterija i izbor prikladnih sklopnih aparata 429 5

Navečerel, D.: Redukcija pasivnih elektroenergetskih mreža 187 3

Nikolić, B.: Veličine gradskog područja kojeg napajaju TS – VN – SN u zavisnosti od primenjenog tipa SN mreže 46 1

Ožegović, M.: Redukcija trofazne pasivne mreže u metodi grane 99 2

Ožegović, M.: Interpretacija rezultata jednofazne i trofazne π-sheme dvostrukog dalekovoda . . . 301 4

Petric, N.: Radovi u trafo-stanicama sa stajališta sigurnosti 143 2

Pešut, D.: Adaptivan postupak predviđanja dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sistemu 191 3

Petrović, B. — Urli, N.: Proračun i eksperimentalna provjera karakteristika jezgre lakovodnog reaktora na primjeru NE Krško 287 4

Plećaš, I. — Todorović, M. — Kostadinović, A. — Lovašić, Z.: Usporedna analiza postupaka kondicioniranja taloga iz isparivača u NE Krško . . 65 1

Staniša, B.: Sto godina proizvodnje i razvoja parnih turbina 407 5

Subašić, D.: Bitne značajke lokacijske dozvole za nuklearne elektrane 121 2

Šimurina, I.: Statistički pregled elektroprivrede SR Hrvatske 515 6

Štahan, I.: Da li su SF_6 postrojenja tlačne posude ili ne? 137 2

Tropin, K. A.: Razvoj električnog grejanja u nas i u svetu 241 3

Tropin, K. A.: Napajanje industrijskih preduzeća električnom energijom putem dubokog uvađanja vodova 499 6

Vujević, D.: Markovinović, D.: Viši harmonički članovi u mreži SR Hrvatske 465 6

Žutobradić, S. — Filipović-Grčić, B.: Proračun unutrašnjih prenapona u distributivnim mrežama uzemljenim preko otpornika 311 4

Žutobradić, S.: Uzemljenje zvjezdišta 10/20 kV mreža 469 6

Radovi Instituta za elektroprivredu u 1983. godini . 319 4

UDK 621.31

ENJAAC 33 (1) – (1984) 1 – 96

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka

Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split

SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske

Elektra, Karlovac

Elektroslavonija, Osijek

Elektroistra, Pula

Elektroprimorje, Rijeka

Elektrodalmacija, Split

Elektra, Zagreb

Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos

Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1984 — 01 — 20

Godište 33 (1984) Zagreb 1984 Br. 1

SADRŽAJ

Božin, I.: Razvoj Instituta za elektroprivredu i današnji elektroenergetski problemi (Pregledni rad) . . . 3

Granić, G. – Zeljko, M.: Mogući pravci razvoja potrošnje energije u SRH do 2.000 godine (Originalni znanstveni rad) 9

Čorak. D. – Jelavić, V. – Mužek, Z.: Matematički model za optimalizaciju energetske opskrbe urbanih sredina (Originalni znanstveni rad) 19

Filipović, B.: O asinhronom uklapanju generatora kod brzog automatskog ponovnog uklapanja (Pregledni rad) 41

Nikolić, B.: Veličina gradskog područja kojeg napajaju TS-VN/SN u zavisnosti od primenjenog tipa SN mreže (Pregledni rad) 46

Matanić, D.: Izbor parametara generatora pare za blokove na Kosovu (Originalni znanstveni rad) 55

Plećaš, I. – Todorović, M. – Kostadinović, A. – Lovašić, Z.: Usporedna analiza postupaka kondicioniranja taloga iz isparivača u NE Krško (Originalni znanstveni rad) 65

Savjetovanja i konferencije 69

Iz strane stručne literature 71

Vijesti iz elektroprivrede 76

Obavijesti proizvođača 79

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 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR Elektroprenos

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:
prijenos električne energije, izraduje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja, te svojim vozilom marke

Kaelble

i prikolicom

Scheuerle

prevozi teški teret do 120 tona.

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

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

RAZVOJ INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU I DANAŠNJI ELEKTROENERGETSKI PROBLEMI*

Ivo Božin, Zagreb

UDK 621.31, 620.9
PREGLEDNI RAD

Prikazan je 30-godišnji razvoj Instituta za elektroprivredu u Zagrebu, njegov djelokrug rada te materijalna i kadrovska opremljenost. Iznesene su također današnje energetske poteškoće zemlje i uloga IE u njihovu uklanjanju.

Ključne riječi: Institut za elektroprivredu, razvojni rad, elektroenergetika.

Prošlo je 30 godina od vremena kada je Institut za elektroprivredu (IE) upisan u registar privrednih organizacija grada Zagreba. Točnije, 29. 5. 1953, na zajedničkoj sjednici gradskog vijeća i vijeća proizvođača, doneseno je rješenje o formiranju instituta, a upis u registar privrednih organizacija izvršen je 16. lipnja iste godine.

Smatram potrebnim da u povodu ovog jubileja iznesem najosnovnije momente iz razvoja u proteklih 30 godina, te kažem nešto o sadašnjem stanju i o sadašnjem energetskom trenutku SR Hrvatske.

Primjena energije, posebno električne, imala je u prošlosti, a isto tako će biti u budućnosti, važan utjecaj na rast privrednih aktivnosti, a prema tome i na ekonomsku snagu društva i životni standard stanovništva. Danas je postalo evidentno i za svakog građanina da je električna energija nerazdvojni dio rada i života te da je kontinuitet u opskrbi preduvjet ne samo za daljnji razvoj, nego i za održavanje sadašnjeg nivoa.

Od oslobođenja do 1950. godine studijski rad na području elektroenergetike odvijao se u skromnim razmjerima. Studije su bile planirane i izdvojene u okviru ministarstva elektroprivrede Jugoslavije, odnosno Instituta za elektroprivredu u Beogradu. U toku 1952. godine dolazi do uvođenja novog decentraliziranog sistema rada u elektroenergetskom sistemu zemlje, pa se osniva i elektroenergetski sistem NR Hrvatske. U situaciji kada je elektroprivreda Hrvatske bila suočena s naglim rastom potrošnje električne energije i značajnim problemima koje je s tim u vezi trebalo rješavati, 1952. godine u sklopu elektroprivrede formira se grupa stručnjaka za planiranje razvoja, što je i nukleus budućeg instituta.

Uvidjelo se, naime, da je za kvalitetnije i brže rješavanje razvojnih problema nužno izdvojiti iz svakodnevne operative jedan dio iskusnog stručnog kadra i omogućiti im stručni rad i usavršavanje. Tada se s pravom moglo od njih očekivati da primjenom znanstvenih i stručnih metoda pridonesu kvalitetnijem planiranju i samom razvoju elektroprivrede. Osnivanje instituta bio je odraz potreba elektroprivrede Hrvatske koja je stvorila i uvjete za njegov rad, osiguravajući mu osim stručnog kadra potreban prostor i druge materijalne uvjete. Od samog osnutka Institut je organizaciono odvojen od elektroprivrede, a funkcionirao je kao ustanova sa samostalnim financiranjem. Unatoč tome elektroprivreda je zadržala značajan utjecaj na rad i razvoj instituta.

To se odražavalo utvrđivanjem dugogodišnjeg programa razvoja i godišnjih planova instituta. Sve do 1965. godine u organima upravljanja Instituta sudjelovali su delegati elektroprivrede, a 1978. godine u povodu obilježavanja 25. obljetnice elektroprivreda je s Institutom za elektroprivredu potpisala ugovor o dugoročnoj poslovno-tehničkoj suradnji. U prvim godinama rada nastojalo se elektroprivredi dati takve radove koji bi joj pomogli kod definiranja dugoročnih programa razvoja. Reprezentativne studije iz tog vremena jesu:

- vodne snage NRH
- perspektivno planiranje proizvodnje i potrošnje električne energije
- praktična upotreba konzumnog okvira za izradu elektroenergetske bilance.

U Institutu su se od samog početka obrađivali problemi prijenosa i razdiobe električne energije te programirala mreža cijelog sistema. Istodobno su obrađivani neki tehnički problemi, u ono doba vrlo aktualni za cijelu Jugoslaviju, kao što su standardizacija napona, propisi za projektiranje dalekovoda, uzemljenje neutralne točke prijenosnog sistema itd. Ekonomske analize i unapređivanje metoda obrade ekonomskih problema bili su također predmet rada od kojih valja spomenuti elaborat o teorijskim postavkama na novi tarifni sistem.

* Govor direktora IE na proslavi 30. godišnjice instituta 22. studenoga 1983.

Programska orijentacija Instituta bila je u osnovi uvijek usmjerena potrebama elektroprivrede. Bilo je, međutim, razdoblja kada je bilo nemoguće osigurati kontinuitet zaposlenosti na zadacima elektroprivrede, pa je dolazilo do povremenih, a kasnije i trajnijih usmjeravanja rada cijelih timova na druga područja. U želji da osnovne snage budu usmjerene na područje energetike i posebno elektroprivrede, prevladalo je mišljenje u Institutu da bi širenje programa i na druga područja, iako kratkoročno financijski interesantno, dugoročno gledajući bilo ipak nekorisno. Tako je i u zadnjih 12 godina dolazilo do izdvajanja iz sastava Instituta cijelih radnih jedinica (za slabu struju, za termotehnička mjerenja), a istovremeno formirala se nova jedinica za hidrotehničke sisteme.

Današnje usmjerenje, koje definirano i našim programom razvoja, orijentirano je na sljedeća osnovna područja:

— znanstvenoistraživački rad
— konzultantski poslovi
— ispitivanje elektroenergetskih objekata i opreme.

Od svog osnutka Institut je radio na znanstvenoistraživačkim radovima u području razvoja suvremenih metoda i programa koja se koriste kod izrade podloga za dugoročne i srednjoročne projekcije razvoja. To se u prvom redu odnosi na projekcije razvoja potrošnje energije i posebno električne energije, izbora optimalne strukture proizvodnje, dugoročne projekcije razvoja visokonaponske mreže i osnovna rješenja mreže distribucije.

U području termotehničkih sistema razvijene su metode i programi za optimiranje rada termoenergetskih postrojenja i toplinskih sistema u cjelini. Posljednjih godina uspješno su se rješavali zadaci optimalnog višenamjenskog korištenja pojedinih vodotoka, a razvijeni su i programi za istraživanje utjecaja energetskih objekata na okolinu (TNE).

Institut je danas postao nosilac obrade mnogih problema jugoslavenske i hrvatske elektroprivrede i energetike uopće.

Konzultantski poslovi razvijaju se u posljednjih nekoliko godina. Radi se o cijelom nizu studija, analiza i drugih zadataka u fazi pripreme gradnje pojedinih objekata te pružanje stručnih usluga investitorima za vrijeme građenja kao što su kontrola kvalitete opreme u tvornicama, kontrola u montaži, ispitivanja i drugo. Prema raspoloživim informacijama ugovoreni zadaci ove vrste za objekte (PTE Osijek, TE-TO Zagreb, EL-TO Zagreb, NE Krško, HE Čakovec, RHE P Obrovac, TE-TO Osijek) uspješno su završeni ili se privode kraju.

Dugi niz godina Institut radi na terenskim i laboratorijskim ispitivanjima elektrotehničke i strojarske opreme te na ispitivanju cijelih postrojenja. Tako su vršena funkcionalna i garantna ispitivanja na mnogim elektranama, trafo-stanicama i dalekovodima visokog napona te u nešto manjoj mjeri i na distributivnoj mreži u SRH, kao i na elektranama u SR BiH, SAP Kosovo i Vojvodini. Nužnost održavanja što veće pogonske spremnosti elektroenergetskih objekata te sve veće značenje povećavanja stupnja korisnog djelovanja odnosno smanjivanja gubitaka u proizvodnji, prijenosu i distribuciji daje sve veću važnost preventivnim i pogonskim ispitivanjima.

S obzirom na važnost nuklearnog programa za SR Hrvatsku i SFR Jugoslaviju dozvolite da iznesem nekoliko podataka o dosadašnjoj našoj aktivnosti na ovom području.

Zajedno s pripremama elektroprivrede Hrvatske za izgradnju nuklearnih elektrana u toku 1967. godine u Institutu su započeli poslovi na ovom programu. U početku to su bile studije o dugoročnom elektroenergetskom razvoju i ulozi nuklearnih elektrana u elektroenergetskom sistemu, da bi se kasnije nastavili sa studijama o uključivanju NE Krško u elektroenergetski sistem Hrvatske i Slovenije. Nakon zaključenja ugovora o izgradnji nuklearne elektrane Krško s investitorom smo zaključili ugovor kojim je definiran naš zadatak na poslovima kontrole kvalitete strojarske opreme, a samo djelomično i instrumentacije.

U završnom dijelu izgradnje zaključeni su novi poslovi na raznim ispitivanjima. Zahvaljujući savjesnom i odgovornom radu naših radnika, mogu konstatirati da su ugovoreni zadaci na kontroli kvalitete, ispitivanju cjevovoda u primarnom krugu, ispitivanju parogeneratora, garantnim ispitivanjima itd. izvršeni uspješno i na vrijeme, na zadovoljstvo i investitora i stranog isporučioca.

Paralelno sa našim aktivnostima na izgradnji nuklearne elektrane Krško, u Institutu su rađene mnoge studije povezane s utvrđivanjem dugoročnog nuklearnog programa, s izborom lokaliteta za nove nuklearne elektrane, te raznim studijama i drugim aktivnostima povezanim s pripremama za izgradnju NE Prevlaka.

Budućnost svake privredne organizacije, a posebno znanstvenoistraživačke, ovisna je o kvaliteti i sposobnosti stručnog kadra da sa uspjehom rješava složene privredne i tehničke probleme razvoja. To posebno vrijedi u današnje vrijeme, kada smo suočeni s ozbiljnim ekonomskim poteškoćama te kada uloga znanstvenog i stručnog kadra može i treba da odigra značajnu ulogu u pronalaženju pravih rješenja. Zato mi dozvolite da o kadru iznesem nekoliko podataka.

Broj zaposlenih radnika u proteklih 30 godina mijenjao se ovisno o zadacima Instituta, odnosno o razvoju elektroprivrede. Davne 1953. godine u Institutu su bila zaposlena 53 radnika, 1960. 97 radnika, 1970. 68 radnika, 1980. 118 radnika, danas u njemu radi 130 radnika. Od ukupnog broja zaposlenih 91 ili 70 % su radnici s visokom i višom stručnom spremom. Prosječna starosna dob je 37,6 godina, a prosječni radni staž 13,7 godina. To pokazuje da je u Institutu danas zaposlen pretežno mladi kadar. Broj radnika sa znanstvenim zvanjima sve je veći i danas imamo 9 doktora znanosti, 16 magistara, dok su na postdiplomskom studiju upisana 24 radnika. Prema

kriterijima republičkog komiteta za znanost imamo registriranih 48 istraživača.

Uvažavajući staru istinu da se do optimalnih rezultata u istraživanju i stručnom rješavanju problema može doći ako se što bolje poveže teorija i praksa, danas u Institutu rade često na istim zadacima inženjeri i ekonomisti s bogatim iskustvom u planiranju elektroenergetskog sistema i izgradnji objekata zajedno sa sveučilišnim profesorima, doktorima znanosti i magistrima.

Institut je ulagao i danas ulaže dio svoje akumulacije na školovanje i specijalizaciju stručnog kadra u zemlji i inozemstvu, što se pokazalo vrlo efikasnom investicijom.

Od 1977. godine do danas 14 naših inženjera s uspjehom je završilo specijalističke tečajeve iz nuklearnog programa koje je organizirala međunarodna agencija za atomsku energiju u Beču.

Kao što sam na početku napomenuo, elektroprivreda je 1953. godine za rad Instituta osigurala najnužniju opremu i prostor. Dugo godina nije bilo mogućnosti za nabavu potrebnih instrumenata i aparata kako za istraživački rad, tako ni za ispitivanja opreme u elektroprivredi. U posljednjih nekoliko godina napravljeno je zaista mnogo. To se postiglo izdvajanjem vlastitih financijskih sredstava, kao i uz značajnu pomoć elektroprivrednih organizacija, te pomoć SIZ-a za znanstveni rad. Tako smo 1980. godine nabavili i stavili u pogon vlastito računalo, zatim suvremenu opremu za ispitivanje termoenergetskih objekata pa i značajnog dijela opreme u nuklearnim elektranama, na primjer dio stacionarne opreme u visokonaponskom laboratoriju Instituta, te pokretnu visokonaponsku ispitnu stanicu sa izmjeničnim naponom do 200 kV i istosmjernim do 300 kV. Sadašnja opremljenost uređajima i instrumentima omogućava kvalitetan istraživački rad te precizna mjerenja neophodna za brzo utvrđivanje tehničkog stanja opreme u elektroenergetskim objektima. Upravo danas, u povodu obilježavanja 30 godišnjice rada, završava se adaptacija takozvanog »toplinskog laboratorija« koji će se poslije mnogo godina koristiti na racionalan način.

Na osnovi republičkog zakona o organizaciji znanstvenog rada iz prosinca 1974. godine Institut za elektroprivredu je registriran kao znanstvena organizacija u travnju 1977. godine i posluje kao radna organizacije bez OOUR-a. Za pojedina programska područja djeluje pet studijskih jedinica, i to:

— za elektroenergetske sisteme
— za razdjelne mreže i niskonaponske mreže
— za termoenergetske sisteme
— za hidroenergetske sisteme
— laboratorij za visoki napon i prijenosne mreže.

Zajednički poslovi obavljaju se u radnoj jedinici Zajedničke službe.

Oko 98 % ukupnog prihoda ostvarujemo s poslovnim partnerima iz privrede (80 % elektroprivreda Hrvatske), i to na osnovi zaključenih ugovora za izradu odgovarajućih zadataka, a samo 2 % na osnovi samoupravnog sporazuma i ugovora sa republičkom zajednicom za znanstvenoistraživački rad. Naše dosadašnje financijsko poslovanje bilo je uspješno. Međutim, smatram da postoji mogućnost unapređenja odnosa s našim glavnim partnerom elektroprivredom Hrvatske. To se po mojem mišljenju može ostvariti dugoročnim sporazumom ili ugovorom u kome bi se preciznije definirali zadaci Instituta u okviru razvojnih problema elektroprivrede, način reguliranja materijalnih odnosa te odgovornost za kvalitetu obavljenih zadataka.

U posljednjih nekoliko godina stvorene su mogućnosti (programske, kadrovske, materijalne) da se razmišlja o plasmanu naših usluga na međunarodnom tržištu. Prva devizna sredstva realizirali smo 1977. godine radeći na tzv. programu MIS-a, koji je zajednica jugoslavenske elektroprivrede povjerila jednoj stranoj firmi. Posao je financirala međunarodna banka za obnovu i razvoj, a dio zadataka u okviru tog programa riješio je Institut.

U završnom dijelu izgradnje nuklearne elektrane Krško obavljali smo razna ispitivanja kako za potrebe investitora, tako i za potrebe isporučioca opreme. Dio tih ispitivanja, koja smo obavljali za američku tvrtku WESTINGHOUSE, realiziran je u deviznim sredstvima. U toku 1981. godine zaključili smo prvi ugovor s firmom COMBUSTION ENGINEERING iz SAD za sudjelovanje na razvoju uređaja za nedestruktivno ispitivanje opreme u nuklearnim elektranama, koji je uspješno završen.

U srednjoročn om planu razvoja 1981 – 1985. godine stavili smo sebi u zadatak da se više angažiramo na nalaženju novih poslova u inozemstvu. Tako smo se pojavili na više međunarodnih natječaja bilo sami, bilo zajedno sa drugim organizacijama (Elektroprojekt, Dalekovod, Ingra). Naši dosadašnji rezultati na ovom području su skromni, ali ohrabrujući. Potrebe za deviznim sredstvima snažan su poticaj da ih sami realiziramo.

Za uspješan rad na znanstvenoistraživačkim i stručnim programima nužna je komunikacija s rezultatima istraživanja i tehničkim rješenjima u svijetu. Ponukan postojećim poteškoćama u osiguranju deviza i plaćanju stranih knjiga i časopisa, dozvolite da iznesem samo jednu misao: vjerojatno se neće uskoro povratiti vrijeme kada je svaka ustanova, a nerijetko i pojedinac, mogao naručivati i knjige i časopise za devizna sredstva, često ne razmišljajući da li je to baš nužno. Smatram da bi bilo racionalno da biblioteka Instituta koja ima više od 3 000 knjiga novijeg izdanja i prima 50-tak stranih časopisa (od čega 40 putem razmjene bez deviznog plaćanja), postane jezgra biblioteke namijenjene širim potrebama elektroprivrede. U takvim uvjetima lakše bi se riješila sve veća potreba za stranom literaturom, koja posebno dolazi do izražaja kod uvođenja i korištenja nuklearne tehnologije.

Institut je izdavač stručnog časopisa Elektroprivrede SRH »Energija«. Poslije 32 godine izlaženja časopis je postao poznat u području energetike i izlazi u nakladi od 1 700 primjeraka. Osim pretplatnika u zem-

lji, upućuje se na više adresa u 7 zapadnih i 3 istočnoevropske zemlje. Sa zadovoljstvom mogu konstatirati da nemamo problema s financiranjem i redovnim izlaženjem časopisa, za što možemo zahvaliti suizdavačima iz elektroprivrede Hrvatske i republičkoj zajednici za znanstveni rad.

Na osnovi zaključenih SAS-ova Institut surađuje s Institutom »Nikola Tesla« u Beogradu, Institutom »Josip Vidmar« u Ljubljani, Elektroprivrednim institutom u Sarajevu, Fakultetom strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, Fakultetom elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, a u izvršavanju konkretnih ugovorenih zadataka surađujemo i s Građevinskim institutom, Elektroprojektom, TPK, HMZ, AFF, svima iz Zagreba te drugima.

Iznio sam osnovne podatke da bi se dobila makar približna slika o razvoju i sadašnjem stanju. Postignuti su zaista vrijedni rezultati na koje možemo biti ponosni. Za postignute rezultate i doprinos u razvoju energetike Jugoslavije IE je 1978. godine odlikovao predsjednik republike Ordenom rada sa zlatnim vijencem. Ne bih htio da i ovom prilikom ne spomenem da je na manji broj naših radova bilo i zamjerki poslovnih partnera. Jedan dio primjedaba odnosio se na nezadovoljstvo s predloženim rješenjima s obzirom na suštinu razlika u pristupu, dok se dio primjedbi, u osnovi opravdanih, odnosio na nedovoljnu argumentiranost predloženih rješenja, i neusklađenost stavova Instituta u nekim pitanjima koje se obrađuju u više studija. Smatrajući ovo posljednje našim propustom, nastojat ćemo da toga u budućnosti bude što manje.

Obilježavanje obljetnica ima u pravilu svečarski karakter i nije uobičajeno u ovakvim prilikama govoriti o problemima. Međutim, danas je u SRH problem energetske opskrbe, a posebno opskrba električnom energijom tako velik da se osjećam obaveznim da na tu temu iznesem nekoliko misli:

Trenutno stanje je sljedeće:

— Proizvodnja i nabava električne energije manja je od potreba potrošača, pa su u toku ograničenja, iako je izgrađenost kapaciteta u elektranama veća od potreba.
— Nema dovoljno derivata nafte, osobito loživog ulja za potrebe elektroprivrede, ostale privrede i domaćinstva, a potrošnja ostalih derivata je racionirana.
— Nema osiguranih potrebnih količina plina za sirovinske i energetske potrebe pa se ove zime računa s ograničenjem.
— Drva i ugljena na tržištu ima i nema.

Za sadašnje stanje bez pretjerivanja možemo kazati da je krizno, bremenito mogućim daljnim zaoštravanjem. Ono je posljedica krupnih promjena na svjetskom energetskom tržištu nastalih 1973. godine (petnaesterostruko povećanje cijene sirove nafte), ali i presporih i neadekvatnih naših mjera u proteklih 10 godina za prilagođavanje novonastaloj svjetskoj situaciji. I zato današnji energetski trenutak ne bi se mogao okarakterizirati kao posljedica nepredvidivih događaja ili više sile, iako posljedice takvog stanja mogu biti ravne elementarnim nepogodama.

Moramo se podsjetiti da se i u mnogim zemljama svijeta uvoznicama nafte nakon 1973. godine pridavao izuzetan značaj supstituciji tekućih goriva i racionalnoj upotrebi energije. Rješavanje tih pitanja bilo je u prvom koraku popraćeno izradom studija, donošenjem odgovarajućih zakona, pa i odluka i preporuka, a u drugom koraku konkretnim društveno-ekonomskim mjerama ekonomskim itd, te povećanom proizvodnjom alternativnih izvora energije. A mi smo, na žalost, još uvijek pretežno na prvom koraku, pa je to jedan od glavnih razloga za sadašnje probleme. Sadašnje stanje u elektroenergetskom sistemu posebno je teško, a iz dana u dan ono može postati i kritičnije zato što su mogućnosti proizvodnje sve manje (mazut, voda, te povremeni kvarovi na postrojenjima), a potrošnja električne energije raste kako iz sezonskih razloga, tako i zbog pomanjkanja drugih energenata, te odnosa cijena među njima, koji usmjeravaju potrošače na korištenje električne energije i tamo gdje je to društveno neopravdano. Iako moramo mijenjati ponašanje u smislu racionalne upotrebe energije pa je propagiranje štednje nužno u sadašnjim prilikama. Pri postojećim odnosima cijena iluzorno je očekivati da štednja električne energije, posebno u domaćinstvima, može popraviti elektroenergetski debalans. Deseci i deseci domaćinstava ne mogu rasvjetom uštedjeti koliko jedno domaćinstvo odnosno jedna električna peć može potrošiti. A evo i primjera. Nastupom zahlađenja u roku od 14 dana potrošnja u SR Hrvatskoj porasla je za oko 6 GWh ili za oko 20 % uz iste mjere štednje i ograničenja. To je posljedica upotrebe električne peći za zagrijavanje prostorija. Radi pomanjkanja drugih energenata i interesa građanina da se grije sa što manjim financijskim izdacima. Debalans se može smanjivati samo povećanom proizvodnjom u termoelektranama na mazut (do dolaska kiša) te smanjenjem potrošnje, što se pored apela može osigurati samo korelacijom sadašnjih odnosa cijena pojedinih energenata.

Kao što se vidi, današnje stanje je teško, pa je nužno makar grubo sagledati kakvi su izgledi za budućnost. Poznato je da se stanje u energetici ne može mijenjati od danas do sutra, već da su nam nužna dugoročna rješenja te konkretne odluke i mjere koje danas moramo poduzimati i čiji efekt možemo imati nakon više godina.

Prema strategiji dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije, a isto tako i koncepciji razvoja Hrvatske, u čijoj izradi sudjeluju naši stručnjaci, naznačeni su osnovni pravci za izlaz iz sadašnjeg stanja, koji se u osnovi svode na:

— povećanje proizvodnje domaćih izvora energije (ugljen, nafta, plin vodne snage)
— supstitucija loživog ulja
— racionalna potrošnja energija.

Generalna linija nije sporna, ali ona sama za sebe ne rješava baš ništa (to je i opet samo prvi korak) ako paralelno ne donesemo i ostale ekonomske i druge

mjere te ne gradimo nove objekte koji osiguravaju povećanu proizvodnju domaće energije, odnosno ako ekonomskim mjerama ne utječemo na racionalnu potrošnju. A evo nekoliko podataka o današnjim kretanjima u tom području:

— Proizvodnja domaće nafte opada, a plina stagnira zbog nedostatka deviza. Prema elaboratima INE, 200 milijuna dolara koji bi se danas uložili u proizvodnju plina, osigurali bi novu proizvodnju od 1985. dalje od 1,1 mlrd m^3/g. Budući da nema deviza, ne bi trebali računati na ovu proizvodnju u 1985. godini.
— Elektroenergetske bilance do 1987. g. mogle bi se zatvoriti odnosno osigurati planirana potrošnja električne energije samo uz povećano korištenje izgrađenih termoelektrana na tekuće gorivo. Potrebne godišnje količine mazuta do 1990. godine iznose, ovisno o hidrološkim prilikama, od 125 000 t/g do 1 120 000 t/g.
Mrak s kojim smo danas suočeni posljedica je neosiguranih planiranih količina mazuta u 1983. godini od 600 000 tona, i to zbog pomanjkanja deviza. Ne bude li mogućnosti da se na vrijeme osiguraju devize, odnosno mazut, mrak do 1987. godine mogao bi biti i veći nego što je danas.
— Izgradnja novih elektrana koje mogu ući u pogon iza 1987. uvjetovana je osiguranjem potrebnih financijskih sredstava. Ekonomski položaj elektroprivrede Hrvatske dugi je niz godina neriješen, a prema najnovijim sagledavanjima 1983. godina završit će s manjkom prihoda od oko 19 milijardi dinara. U skladu sa sanacijskim programom, ove se godine iz namjenskih sredstava razvoja prebacuje oko 7,5 milijardi dinara ili otprilike 40 % od ukupnih sredstava razvoja za sanaciju gubitka. Elektroprivreda nije u stanju u ovakvoj situaciji donijeti odluku o izgradnji novih elektrana. Budući da se danas ne može započeti izgradnja novih objekata, ne možemo računati ni na supstituciju tekućih goriva, ni na osiguranje povećane potrošnje u kasnijim godinama (nakon 1988).
— Rast proizvodnje električne energije trebao bi pratiti odnosno prethoditi planiranom rastu privrednih aktivnosti, ali uz naglašeno racionalno trošenje energije na svim područjima njezina korištenja.

Sadašnji odnosi cijena pojedinih energenata stimuliraju neracionalno korištenje električne energije, što se može ilustrirati sljedećim primjerom:

Ako dinarske izdatke za zagrijavanje jedne prostorije električnom energijom označimo sa 1,0, onda je izdatak za korištenje ugljena 0,87, plina 1,10, drva 1,34, a lakog loživog ulja 2,5. To je nenormalno, da ne kažem apsurdno, ako znamo da je za proizvodnju električne energije objektivno potrebno najveće investiciono ulaganje po jedinici proizvodnje i da je u termoenergetskim postrojenjima stupanj korisnog djelovanja vrlo nizak (30 %). Dakle, racionalna potrošnja u ovakvim odnosima cijena ne može biti.

Energetika traži velika financijska sredstva za razvoj. Za osiguranje normalnog rasta u stabilnim prilikama to iznosi oko 4 % društvenog proizvoda. Budući da se radi o neophodnosti prestruktuiranja proizvodnje, nužno je povećanje sa 4 na 5 %. To je poseban razlog zbog čega se na povećanje efikasnosti u planiranju razvoja i izgradnji energetskih objekata mora inzistirati po svaku cijenu. Sadašnje stanje ne zadovoljava i ono se mora, u prvom redu mijenjati, preciznijim definiranjem odgovornosti svakog učesnika.

Na osnovi iznesenog treba zaključiti da ciljevi strategije dugoročnijeg razvoja energetike te stvarno stanje i tendencije nemaju baš mnogo zajedničkog. Može se čak ustvrditi da su kretanja suprotna od proklamiranih i poželjnih. Sve to govori u prilog daljnjeg zaoštravanja energetske, a posebno elektroenergetske krize u idućim godinama. Situacija se može izmijeniti samo temeljitim preispitivanjem sadašnjih stanja i kretanja te radikalnim promjenama koje će usmjeriti i proizvodnju i potrošnju u željenom pravcu.

Ako ne bismo bili u stanju realno ocjeniti kamo nas vode sadašnji odnosi i ako nismo u stanju predložiti i odgovarajuće mjere za rješavanje ovog problema, mogla bi se dovesti u pitanje i naša stručnost i naša društvena odgovornost. Po mom mišljenju, to se jednako odnosi kako na one koji rade u elektroprivredi, odnosno energetici, tako i na sve one koji su izvan ovih organizacija, a utječu i odlučuju o njihovu poslovanju i razvoju.

Iako je situacija teška, ona nije i bezizlazna ako smo složni u ocjeni stanja i mjerama koje vode iz sadašnje krize. Materijalna osnova društva i kadrovski potencijal to moraju osigurati. Institut je spreman da u okviru svog kadrovskog i materijalnog potencijala preuzme svoj dio zadatka i odgovornosti u sagledavanju i rješavanju sadašnjih nagomilanih problema.

KEY WORDS: INSTITUT FOR THE ELECTRIC POWER INDUSTRY DEVELOPMENT, ELECTRIC POWER

DEVELOPMENT OF »INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU« and TODAY ELECTRIC POWER PROBLEMS

In the article is presented 30 year development of »Institut za elektroprivredu« in Zagreb, scope of activities, equipment and staff characteristics. Presented are today electric power problems in country and activity of institut in relieving them.

ENTWICKLUNG DES INSTITUTS FÜR ELEKTROWIRTSCHAFT UND DIE HEUTIGEN ELEKTROENERGETISCHEN PROBLEME

Geschildert wurde die 30 jährige Entwicklung des Institutes für Elektrowirtschaft in Zagreb, sein Arbeitsbereich, sowie die materielle Ausstattung und das Personal.
Besprochen wurden ebenfalls die heutigen Energie-Probleme des Landes und die Rolle des IE in ihrer Überwindung.

РАЗВИТИЕ ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА И НЫНЕШНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Описано 30-летнее развития Института электрохозяйства в г. Загреб, его поле деятельности, а также материальная и кадровая обеспеченность. Наряду с этим излагаются нынешние энергетические трудности страны и поль Института электрохозяйства в их устранении.

Naslov pisca:

Ivo Božin, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis:
1983 – 11 – 25.

SAVJETOVANJE O SUVREMENOJ PROBLEMATICI UZEMLJENJA

Organizator: Časopis ELEKTROTEHNIKA

Termin: Proljeće 1984.

U skladu s koncepcijom i već ustaljenom praksom časopis ELEKTROTEHNIKA priprema za proljeće 1984. godine novo savjetovanje na temu **SUVREMENA PROBLEMATIKA UZEMLJENJA.** Cilj je savjetovanja da se sustavno i na nov način obrađuju aktualne teme s područja elektrotehnike, uz specifičan pristup i što širu suradnju svih zainteresiranih stručnjaka.

U sklopu takve obrade pojedine teme stručnjaci pišu članke s dotičnog područja. Takve članke časopis ELEKTROTEHNIKA počinje objavljivati prije održavanja savjetovanja, što omogućuje prethodno upoznavanje zainteresiranih s problematikom, pristupima, rješenjima i sl. Autori članaka kasnije sudjeluju na savjetovanju kao referenti, a savjetovanja imaju izrazito radni i diskusioni karakter.

Ovim putom časopis ELEKTROTEHNIKA poziva na suradnju sve zainteresirane stručnjake koji smatraju da mogu dati doprinos obradi teme ovog savjetovanja. Inicijativna grupa za pripremu savjetovanja razradila je zasad okvirni program i podgrupe. Od zainteresiranih stručnjaka očekuje se uključivanje pisanjem članaka, ali i sugestije u pogledu daljnje razrade programa novih tema i sl.

Okviran program savjetovanja je sljedeći:

GRUPA A: NAČINI I METODE PRORAČUNA I OPTIMIZIRANJA UZEMLJIVAČA

GRUPA B: UTJECAJ UZEMLJIVAČA NA OKOLICU I SUSTAVI UZEMLJENJA:

- zahtjevi na uzemljivač
- struja kroz uzemljivač
- problemi iznošenja / unošenja potencijala
- područje utjecaja potencijalnog lijevka na bliske metalne mase u zemlji
- industrijski uzemljivači

GRUPA C: TEHNIČKA REGULATIVA I METODE MJERENJA

- domaća tehnička regulativa s područja uzemljenja i njena usklađenost sa suvremenim zahtjevima i razvojem elektroenergetskih sustava
- način i metode mjerenja karakterističnih veličina na uzemljivaču i sustavima uzemljenja
- praksa i iskustva

U skladu s navedenim časopis ELEKTROTEHNIKA poziva na suradnju sve zainteresirane stručnjake, posebno u pogledu davanja sugestija, razrade sadržaja, obrade tema i sl.

Sve ostale obavijesti i upute mogu se dobiti u Uredništvu časopisa ELEKTROTEHNIKA, Berislavićeva 6/I, 41000 ZAGREB ili na telefon (041) 422-943 (radnim danom od 10 do 12 sati).

MOGUĆI PRAVCI RAZVOJA POTROŠNJE ENERGIJE U SRH DO 2000. GODINE

Dr Goran Granić i Mladen Zeljko, Zagreb

UDK 620.9, 621.31 (497.13)
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu su, na temelju korelacije potrošnje energije (energije predane potrošačima) i društvenog proizvoda, te sagledavanjem rasta društvenog proizvoda do kraja stoljeća, izvršena predviđanja potrošnje energije. Predviđanja su izvršena za ukupnu potrošnju energije i po grupama potrošača (industrije, saobraćaja i opće potrošnje) u dvije varijante rasta društvenog proizvoda.

Ključne riječi: energija, predviđanje potrošnje.

1. UVOD

Sva sagledavanja budućeg razvoja privrede koja se u posljednje vrijeme izvode imaju jednu zajedničku crtu, a to je procjena da sadašnje usporavanje rasta nije trenutnog karaktera, već da će imati obilježja dugoročne razvojne politike. Takva razmišljanja u potpunosti se mogu primijeniti i na energetiku, odnosno razvoj potrošnje energije, jer je potrošnja energije u funkciji razvoja privrede i društva u cjelini. Ta se funkcijska veza može promatrati s aspekta **posljedica** razvoja privrede i društva u cjelini na razvoj potrošnje energije, ili s aspekta **uzroka** razvoja potrošnje energije (zbog problema u opskrbi dovoljnih količina energije) na brži ili sporiji rast privrede i društva.

U razdoblju od 1961. do 1980. godine ostvaren je prosječni rast potrošnje energije u iznosu 3,97 % (tabl. 1). Pri tome se misli na energiju predanu potrošačima. U isto vrijeme ostvaren je porast društvenog proizvoda od 6,04 % (tabl. 2).

I potrošnja energije i društveni proizvod brže su rasli u razdoblju 1961 — 1970. (energija 4,35 %, društveni proizvod 6,23 %), nego u razdoblju 1970 — 1980. (energija 3,62 %, a društveni proizvod 5,82 %).

Ako bi se promatralo razdoblje 1970 — 1980. po petogodištima, onda se u prvom petogodištu (1970 — 1975) ostvario veći porast potrošnje (4,25 %), nego u drugom petogodištu (2,98 %). Trend usporavanja potrošnje zadržan je i u prvim godinama tekućeg petogodišta.

Od ukupne potrošnje energije u razdoblju 1961 — 1980. najveći dio otpada na opću potrošnju — 43,05 %, industriju — 35,56 % a najmanji dio na saobraćaj — 21,39 %. Struktura potrošnje se u promatranom razdoblju mijenjala, tako da je u 1961. godini potrošnja po grupama potrošača bila: industrija 33,25 %, saobraćaj 20,36 % i opća potrošnja 46,38 %, a u 1980. godini: industrija 36,86 %, saobraćaj 21,80 % i opća potrošnja 41,33 %.

Tablica 1. Razvoj potrošnje energije od 1961. do 1980. (energije predane potrošačima: ukupne i po grupama)

Godina	Energija predana potrošačima 10^{15}J			
	Ukupno	Industrija	Saobraćaj	Opća potr.
1961.	116,83	38,85	23,79	54,19
1962.	116,73	39,35	22,90	54,48
1963.	128,29	42,95	25,20	60,14
1964.	138,44	47,65	27,33	63,46
1965.	143,66	51,97	26,87	64,82
1966.	144,64	53,02	28,14	63,48
1967.	148,81	54,54	29,62	64,65
1968.	157,65	56,12	32,04	69,49
1969.	165,37	59,04	34,65	71,68
1970.	171,47	60,39	36,67	74,41
1971.	179,95	61,82	41,25	76,88
1972.	189,13	67,01	40,93	81,19
1973.	191,95	66,70	44,20	81,05
1974.	203,42	76,34	44,35	82,73
1975.	211,24	78,37	47,97	84,90
1976.	216,85	82,93	47,27	86,65
1977.	227,68	81,43	50,13	96,12
1978.	242,82	83,67	55,09	104,06
1979	249,62	84,17	56,14	109,31
1980.	244,68	90,19	53,36	101,13

Iz ovog kratkog prikaza razvoja potrošnje energije i društvenog proizvoda može se uočiti da između ta dva mjerila razvoja društva postoji čvrsta funkcijska veza. Uvažavanje međusobnih utjecaja i određivanje njihove zakonitosti u prošlosti poslužit će za projekciju mogućeg razvoja potrošnje energije u budućnosti.

Tablica 2. Društveni proizvod od 1961. do 1980. godine ukupne privrede i grupa potrošača

u cijenama 1980.

Godina	Društveni proizvod 10^9 dinara			
	Industrija	Saobraćaj	Opća potrošnja	Ukupno
1961.	38,599	.12,301	81,574	132,474
1962.	42,193	12,911	81,142	136,246
1963.	47,870	14,308	87,007	149,185
1964.	54,940	15,240	95,208	165,388
1965.	59,091	15,861	95,748	170,700
1966.	62,793	16,674	104,164	183,631
1967.	63,231	18,484	108,665	190,380
1968.	66,478	19,229	113,516	199,223
1969.	70,910	20,704	122,370	213,984
1970.	76,391	22,470	130,321	229,182
1971.	80,301	24,347	140,825	245,473
1972.	87,984	25,162	142,207	255,353
1973.	89,888	26,932	147,890	264,710
1974.	99,745	29,530	157,940	287,215
1975.	101,450	30,399	159,716	291,565
1976.	108,950	32,244	185,005	326,199
1977.	118,929	34,202	200,156	353,287
1978.	127,730	37,662	214,915	380,307
1979	136,610	39,217	228,995	404,822
1980.	139,569	39,507	224,590	403,669

Podaci uzeti iz: Ivo Vinski, Osnovna sredstva i društveni proizvod i zaposlenost u privredi SR Hrvatske od 1961. do 1980. godine, Ekonomski institut Zagreb, Zagreb, 1982.

Tablica 3. Društveni proizvod u općoj potrošnji po podgrupama opće potrošnje

u cijenama 1980.

Godina	Društveni proizvod 10^9 dinara						
	Poljoprivreda	Šumarstvo	Građevinarstvo	Trgovina	Ugostiteljstvo	Obrt	Ostale djelat.
1961.	29,030	3,777	13,457	23,167	6,293	5,850	
1962.	28,900	4,093	12,627	24,043	5,951	5,528	
1963.	30,153	4,876	15,585	24,315	6,663	5,415	
1964.	30,081	4,697	16,620	30,665	7,120	6,025	
1965.	27,466	4,806	17,616	31,465	7,725	6,670	
1966.	32,172	4,534	18,797	33,542	8,280	6,839	
1967.	32,577	4,261	20,659	35,577	8,244	7,347	
1968.	32,784	4,729	21,768	36,748	9,768	7,719	
1969.	33,983	4,615	23,218	41,111	11,219	8,224	
1970.	33,828	4,697	25,374	45,567	12,184	8,671	
1971.	35,202	4,604	27,511	51,090	13,194	9,224	
1972.	31,766	4,430	27,826	54,409	13,892	9,884	
1973.	35,997	4,648	26,270	56,313	14,225	10,437	
1974.	38,938	4,929	27,310	61,226	14,415	11,122	
1975.	36,430	4,837	29,710	62,124	14,664	11,951	
1976.	39,799	4,788	32,233	63,087	14,597	13,854	16,647
1977.	42,726	5,219	35,618	68,273	15,641	14,668	18,011
1978.	42,491	5,157	39,154	75,523	16,665	15,949	19,976
1979	45,104	5,360	42,838	77,769	18,976	17,417	21,531
1980.	43,462	4,913	41,662	76,492	19,848	17,756	20,457

Podaci uzeti iz: Ivo Vinski, Osnovna sredstva i društveni proizvod i zaposlenost u privredi SR Hrvatske od 1961. do 1980. godine, Ekonomski institut Zagreb, Zagreb, 1982.

2. KORELACIJA DRUŠTVENOG PROIZVODA I ENERGIJE PREDANE POTROŠAČIMA

Ovisnost potrošnje energije o drugim utjecajnim veličinama najčešće se može opisati putem višestruke linearne regresije:

$$W_t = b_1X_{1t} + b_2X_{2t} + b_3X_{3t} + \ldots + b_LX_{Lt} \qquad (1)$$

gdje su: $b_1 \ldots b_L$ — koeficijenti funkcije ili koeficijenti korelacije

$X_1 \ldots X_L$ — utjecajni faktori kao što su: društveni proizvod, potrošnja energije po karakterističnim grupama potrošača, cijene energije itd.

L — broj utjecajnih faktora

W_t — potrošnja energije.

Za opisivanje funkcijske veze ponekad se koriste i nelinearni oblici funkcija, ali takvih oblika koji se daljnjim postupkom mogu linearizirati.

Optimizacija koeficijenata korelacije

Traženje zakonitosti ponašanja, odnosno funkcijske ovisnosti potrošnje energije o utjecajnim faktorima svodi se na određivanje koeficijenata funkcije b_1, $b_2 \ldots b_L$. Postoji više metoda koje omogućuju rješenje ovog problema. One se najčešće razlikuju u načinu tretiranja razlike između ostvarene vrijednosti i predviđene vrijednosti, odnosno mogućnosti određivanja zakonitosti pogreške, pridavajući joj karakter zavisne varijable. U ovom radu primjenjene su **četiri metode** optimizacije koeficijenata korelacije:

1. Metoda najmanjih kvadrata odstupanja u kojoj se odstupanja tretiraju kao nezavisne varijable. Općenito oblik funkcije glasi:

$$\varepsilon(b_1, b_2 \ldots b_L) = \sum (W_t - \hat{W}_t)^2 \rightarrow \min \qquad (2)$$

gdje je W_t — vrijednost funkcije prema analitičkom izrazu

$\hat{W}_t$ — ostvarena vrijednost u prošlosti.

2. Metoda COCHRANE-ORCUTT u kojoj se odstupanja tretiraju kao zavisne varijable. U tom slučaju funkcija ima oblik:

$$W_t = \sum_{i=1}^{L} b_iX_{it} + u_t \qquad (3)$$

gdje je u_t — izračunato odstupanje za koje vrijedi da je $u_t - \alpha_1 u_{t-1} = \varepsilon_t$. Vektor ε_t je vektor slučajnih nezavisnih odstupanja, a α koeficijent autoregresije koji se dobiju iterativnim putem. Početna vrijednost α određuje se iz odstupanja minimiziranjem kvadrata odstupanja kao nestohastički slučaj početne vrijednosti.

3. Metoda INVERZNE INTERPOLACIJE ima jednak pristup u tretmanu odstupanja kao i metoda Cochrane-Orcutt. Razlika je jedino u načinu odre-

đivanja autoregresivnog koeficijenta α. Kod inverzne interpolacije početna se vrijednost stohastički određuje u granicama 0,9999 i — 0,9999, a konačna vrijednost dobije se iterativnim putem, minimizirajući ostala odstupanja koja se ne mogu objasniti putem zavisne varijable u_t.

4. NEWTON-RAPHSONOVA iterativna metoda razlikuje se od prethodne dvije što se odstupanje u_t opisuje funkcijama drugog reda:

$$u_t - \alpha_1 u_{t-1} - \alpha_2 u_{t-2} = \varepsilon_t \qquad (4)$$

Početne vrijednosti autoregresivnih koeficijenata α_1 i α_2 određuju se iz odstupanja minimiziranjem kvadrata odstupanja, kao nestohastički slučaj početne vrijednosti, a konačna vrijednost minimiziranjem pogreške odstupanja koja se ne može objasniti zavisnom varijablom u_t.

Pokazatelji kvalitete aproksimacije

Usporedbu većeg broja karakterističnih funkcija koje opisuju zakonitost ostvarenja nezavisne varijable (u ovom slučaju energije) moguće je izvršiti preko karakterističnih pokazatelja kvalitete korelacije kao što su:

1. Standardna devijacija (σ_ε) ili standardna pogreška ostatka. Kod prve metode optimizacije odnosi se na ukupni ostatak između procijenjene i ostvarene vrijednosti, a za ostale tri metode samo na manji dio pogreške koji se ne da objasniti zavisnom varijablom u_t. Što je manja vrijednost σ, korelacija je pouzdanija.

2. Koeficijent determiniranja je kvadrat višeznačnog koeficijenta korelacije baziranog na standardnoj devijaciji σ

$$R = 1 \cdot - \frac{\sigma_\varepsilon}{\sigma_w} \qquad (5)$$

gdje je σ_w standardna pogreška zavisne varijable tj. regresenda. Što je veća vrijednost R, to je pouzdanija korelacija.

3. Procentualna pogreška

$$P = \frac{\sigma}{\bar{W}} \cdot 100 \qquad (6)$$

gdje je $\bar{W}$ srednja vrijednost zavisne varijable

4. Durbin — Watsonova statistika računa se na temelju odstupanja procijenjene i ostvarene vrijednosti. U slučaju druge, treće i četvrte metode optimizacije parametara to se odnosi samo na onaj dio pogreške koji se ne da objasniti zavisnom varijablom u_t.

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^{n} (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} \varepsilon_t^2} \qquad (7)$$

5. Log vjerojatnost određuje se prema izrazu

$$LV = - n \cdot \log \sqrt{\sum_1^n \varepsilon_t^2 / n} \qquad (8)$$

gdje je n broj opažanja (broj podataka na kojima se temelji korelacija). Što je vrijednost LV manja, to je pouzdanija korelacija.

2.1. Energija predana potrošačima

Promatrano je pet oblika analitičke funkcije koja opisuje korelaciju potrošnje energije predane potrošačima (W^u) i društvenog proizvoda (DP^u)

1. $W_t^u = b_1 + b_2 DP_t^u$ (9)
2. $W_t^u = b_1 + b_2 \cdot t + b_3 \cdot DP_t^u$ (10)
3. $W_t^u = b_1 + b_2 \cdot t + b_3 \cdot DP_t^u + b_4 \cdot DP_{t-1}^u$ (11)
4. $W_t^u = b_1 + b_2 DP_t^i + b_3 DP_t^s + b_4 DP_t^o$ (12)
5. $W_t^u = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^i + b_4 DP_t^s + b_5 DP_t^o$ (13)

U prvom izrazu korelacijska veza prikazana je putem linearnog oblika funkcije. Takav oblik najčešće se može sresti u stručnoj literaturi. Rezultati proračuna navedeni su u tabl. 4.

Drugi oblik korelacije ima dva člana korelacije jednaka prvom obliku, a novi član uzima u obzir vremensku konstantu. Time se želi naglasiti vremenska dimenzija promjene društvenog proizvoda i potrošnje.

Sljedeći (treći) oblik korelacije je drugi oblik nadopunjen još jednim članom koji uzima u obzir ostvarenja društvenog proizvoda u prethodnoj godini. Novim članom opisuje se zavisnost razvoja društva (i potrošnje) u prethodnoj godini na razvoj u tekućoj godini.

Razvoj potrošnje energije, a time i društvenog proizvoda, različito se ostvaruje u prošlosti po grupama potrošača: industriji, saobraćaju i općoj potrošnji. Zbog toga je četvrti oblik korelacije opisan preko društvenog proizvoda industrije (DP^i), saobraćaja (DP^s) i opće potrošnje (DP^o).

Peti oblik korelacije je četvrti oblik dopunjen još jednim članom — vremenskim članom, naglašavajući vremensko trajanje promjena potrošnje i društvenog proizvoda.

Ako se kao mjera kvalitete korelacije uzme koeficijent determinacije, onda su se najbolji rezultati dobili primjenom četvrtog tipa optimizacije koeficijenata korelacije.

Iz tabl. 4, je vidljivo da funkcijski oblik

$$W_t^u = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^i + b_4 DP_t^s + b_5 DP_t^o \qquad (14)$$

najbolje opisuje korelacijsku vezu potrošnje energije predane potrošačima i društvenog proizvoda. Koeficijent determinacije od 0,9976 i procentualna pogreška u iznosu 1,1657 % pokazuju vrlo visoku kvalitetu korelacije.

Tablica 4. Karakteristični pokazatelji kvalitete korelacije za svih pet oblika korelacije

	Funkcijski oblik				
	1 (9)	2 (10)	3 (11)	4 (12)	5 (13)
Koeficijent determinacije	0,9913	0,9966	0,9965	0,9947	0,9976
Standardna devijacija	4,0164	2,5194	2,5470	3,1364	2,0919
Durbin-Watsonova statistika	1,8340	1,5501	1,7268	1,6133	1,7730
Log vjerojatnost	−27,1195	−17,4314	−16,8935	−20,9775	−12,9667
Procentualna pogreška	2,2380	1,4038	1,4193	1,7477	1,1657

2.2. Energija predana potrošačima po grupama potrošača

Potrošači su podijeljeni u tri osnovne grupe: industriju, promet, opću potrošnju. Za sve tri grupe potrošača promatrana su tri oblika analitičke funkcije koja opisuje korelaciju potrošnje energije i društvenog proizvoda.

1. $W_t^g = b_1 + b_2 t + b_3 \cdot DP_t^g + b_4 \cdot DP_{t-1}^g$ (15)
2. $W_t^g = b_1 + b_2 \cdot DP_t^u + b_3 \cdot W_t^u$ (16)
3. $W_t^g = b_1 + b_2 \cdot DP_t^g + b_3 \cdot DP_t^u + b_4 \cdot W_t^u$ (17)

gdje se g odnosi na grupe potrošača i može poprimiti oznaku I — industrija, s — saobraćaj i o — opća potrošnja.

Prvi izraz je korelacijska veza društvenog proizvoda pripadajuće grupe potrošača. U analitičku funkciju uključena je i vremenska varijabla da bi se naznačilo trajanje promjene društvenog proizvoda i potrošnje. Osim toga, kao četvrti član, uključen je društveni proizvod ostvaren u prethodnoj godini (t−1), naglašavajući time povezanost ostvarenja potrošnje i društvenog proizvoda u jednoj godini s ostvarenjima u drugoj godini.

U drugoj korelacijskoj vezi promatrana je potrošnja bilo koje grupe potrošača s ostvarenjem ukupnog društvenog proizvoda i ukupne potrošnje energije.

Treći izraz korelacijske veze razlikuje se od drugog u jednom članu, tj. on je drugi izraz dopunjen još jednim članom — društvenim proizvodom pripadajuće grupe potrošača.

Kod opće potrošnje promatran je još jedan oblik analitičke funkcije, koja opisuje ovisnost potrošnje energije opće potrošnje i društvenog proizvoda podgrupa potrošača kao što su poljoprivreda (DP^p), šumarstvo (DP^S), građevinarstvo (DP^G), trgovina (DP^T), ugostiteljstvo i turizam (DP^{Ug}), obrt (DP^Z) i ostale djelatnosti (DP^{OD}).

4. $W_t^o = b_1 + b_2 DP_t^p + b_3 DP_t^S + b_4 DP_t^G + b_5 DP_t^T + b_6 DP_t^{Ug} + b_7 DP_t^Z + b_8 DP_t^{OD}$ (18)

Razlog za takav oblik korelacije proistječe iz različitih razvoja pojedinih podgrupa opće potrošnje.

2.2.1. Industrija

Kod svih triju oblika korelacije najbolji rezultati ostvareni su četvrtim tipom optimizacije koeficijenata korelacije. Karakteristični pokazatelji kvalitete aproksimacije navedeni su u tabl. 5.

Tablica 5. Karakteristični pokazatelji kvalitete korelacije za sva tri oblika korelacije potrošnje energije u industriji i društvenog proizvoda i potrošnje ukupne energije

	Funkcijski oblik		
	1 (15)	2 (16)	3 (17)
Koeficijenti determinacije	0,9837	0,9768	0,9789
Standardna devijacija	2,0531	2,4512	2,3364
Durbin-Watsonova statistika	2,2541	2,2123	2,2926
Log vjerojatnost	−12,3961	−16,5039	−14,9073
Procentualna pogreška	3,2168	3,8405	3,6606

Najpouzdanija korelacijska veza ostvarena je prvim oblikom analitičke funkcije:

$$W_t^i = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^i + b_4 DP_{t-1}^i \quad (19)$$

Koeficijent determinacije iznosi 0,9837, a procentualna pogreška 3,2168 %.

2.2.2. Saobraćaj

Ako se kao kriterij pouzdanosti korelacijske veze uzme koeficijent determinacije i procentualna pogreška, onda se četvrtim tipom optimizacije koeficijenata korelacije (Newton-Raphsonova iterativna metoda) za sva tri analitička oblika korelacije ostvarila najbolja korelacijska veza. Karakteristični pokazatelji kvalitete aproksimacije za sva tri tipa analitičke funkcije navedeni su u tablici 6.

Tablica 6. Karakteristični pokazatelji kvalitete korelacije za sva tri oblika korelacije potrošnje energije u saobraćaju s društvenim proizvodom i ukupnom energijom

	Funkcijski oblik		
	1(15)	2(16)	3(17)
Koeficijent determinacije	0,9838	0,9883	0,9905
Standardna devijacija	1,4096	1,1971	1,0818
Durbin-Watsonova statistika	1,7775	1,7032	1,5798
Log vjerojatnost	4,7252	−2,1446	0,5398
Procentualna pogreška	3,6714	3,1179	2,8175

Najpouzdanija korelacija ostvarena je analitičkom funkcijom 3:

$$W_t^s = b_1 + b_2 \cdot DP_t^s + b_3 \cdot DP_t^u + b_4 \cdot W_t^u \quad (20)$$

s koeficijent determinacije 0,9905 i procentualnom pogreškom od 2,8175 %.

2.2.3. Opća potrošnja

Kod opće potrošnje, kako je to već prije navedeno, promatrana su četiri tipa analitičkih funkcija koje opisuju korelaciju između potrošnje energije i društvenog proizvoda i ukupne potrošnje energije. Kao i u svim prethodnim regresijskim analizama, najpouzdanija korelacija ostvarena je četvrtim tipom optimizacije koeficijenata korelacije. Sumarni rezultati za sva četiri tipa korelacije navedeni su u tabl. 7.

Tablica 7. Karakteristični pokazatelji kvalitete korelacije za sva četiri oblika korelacije između potrošnje energije i društvenog proizvoda, odnosno ukupne energije

	Funkcijski oblik			
	1(15)	2(16)	3(17)	4(18)
Koeficijent determinacije	0,9902	0,9872	0,9938	0,9944
Standardna devijacija	1,6093	1,8390	1,2824	1,2146
Durbin-Watsonova statistika	2,3465	2,3534	2,1801	2,3377
Log vjerojatnost	−8,3224	−11,2803	−3,7251	−6,4332
Procentualna pogreška	2,0835	2,3808	1,6603	1,5725

Prema kriterijima pouzdanosti korelacijske veze (koeficijentu determinacije i procentualnoj pogrešci) najkvalitetnija korelacija ostvarena je preko analitičkog oblika funkcije 4:

$$W_t^o = b_1 + b_2 DP_t^P + b_3 DP_t^S + b_4 DP_t^G + b_5 DP_t^T + b_6 DP_t^{Ug} + b_7 DP_t^Z + b_8 DP_t^{OD} \quad (21)$$

Kod tog oblika korelacija koeficijenta determinacije iznosi 0,9944, a procentualna pogreška 1,5725 %.

3. RAZVOJ POTROŠNJE ENERGIJE U SRH DO 2000. GODINE

Projekcija budućeg razvoja potrošnje temelji se na utvrđenim zakonitostima razvoja potrošnje u prošlosti i projekcije razvoja društva izraženima kroz rast društvenog proizvoda.

Zakonitost razvoja u prošlosti utvrđena je putem korelacijskih veza potrošnje energije i društvenog proizvoda, odnosno (kada se radi o grupama potrošača) i ukupne potrošnje energije. Sve projekcije budućeg razvoja temeljit će se na rezultatima proračuna iznesenim u prethodnom poglavlju.

Budući razvoj društva (društvenog proizvoda) promatran je u dvije varijante. U obje varijante do 1985. godine predviđen je jednak porast društvenog proizvoda prema revidiranom srednjoročnom planu Republike. Od 1985. do 2000. godine u prvoj varijanti prosječna godišnja stopa rasta predviđena je u iznosu 4,72 % (maksimalna varijanta razvoja), a u drugoj varijanti u iznosu 2,83 % (minimalna varijanta razvoja). Podaci o razvoju društvenog proizvoda* za obje varijante, ukupno za privredu i po grupama potrošača, navedeni su u tabličnom prilogu od tabl. 8 do tabl. 10.

Tablica 8. Projekcija rasta društvenog proizvoda ukupne privrede za razdoblje 1980-2000.

u cijenama 1980.

Godina	Društveni proizvod 10^9 dinara	
	Varijanta I	Varijanta II
1980.	403,669	403,669
1985.	431,125	431,125
1990.	542,421	495,448
1995.	683,933	569,860
2000.	863,863	655,942

Tablica 9. Projekcija rasta društvenog proizvoda prema grupama potrošača za razdoblje 1980-2000. godine

u cijenama 1980.

Godina	Društveni proizvod 10^9 dinara					
	Varijanta I			Varijanta II		
	Industrija	Saobraćaj	Opća potr.	Industrija	Saobraćaj	Opća potr.
1980.	139,569	39,507	224,590	139,569	39,507	224,590
1985.	149,982	42,360	238,780	149,982	42,360	238,781
1990.	191,506	53,553	297,358	174,043	48,772	272,633
1995.	244,277	67,786	371,866	201,871	56,189	318,800
2000.	311,339	85,882	466,637	234,052	64,770	357,120

Tablica 10. Projekcija rasta društvenog proizvoda u općoj potrošnji za razdoblje 1980-2000. godine

u cijenama 1980.

Var.	God.	Društveni proizvod 10^9 dinara						
		Poljopr.	Šumarstvo	Grad.	Trgov.	Ugostit.	Zanat.	Ostale djelatnosti
I	1980.	43,462	4,913	41,662	76,492	19,848	17,756	20,457
	1985.	48,931	5,815	40,733	76,913	22,878	20,195	23,316
	1990.	55,491	6,100	50,918	99,525	29,331	26,202	29,791
	1995.	63,851	6,462	63,861	128,261	37,543	33,868	38,020
	2000.	74,504	6,923	80,308	164,779	47,992	43,653	48,478
II	1980.	43,463	4,913	41,662	76,492	19,848	17,756	20,457
	1985.	48,931	5,815	40,733	76,913	22,878	20,195	23,316
	1990.	52,864	5,999	46,664	89,855	26,584	23,627	27,040
	1995.	57,421	6,211	53,522	104,821	30,872	27,605	31,348
	2000.	62,698	6,457	61,454	122,130	35,835	32,217	36,329

Pri određivanju zakonitosti razvoja potrošnje u prošlosti korišten je veći broj analitičkih funkcija. Izborom analitičke funkcije koja najbolje opisuje zakonitost ostvarenja u prošlosti prema kriteriju kvalitete aproksimacije (usporedbom koeficijenata determinacije) ostvaren je preduvjet za predviđanje budućih trendova. Kako hipoteza o nastanku uočenih zakonitosti u budućnosti krije u sebi uvijek određeni nivo

* Korišteni su podaci iz: Preliminarna projekcija dugoročnog razvoja privrede SRH do 1995/2000. godine — radna verzija, izrađena u Ekonomskom institutu u Zagrebu

nesigurnosti, projekcija budućeg razvoja ne može se temeljiti samo na jednoj analitičkoj funkciji. Potrebno je uzeti u proračun veći broj predviđanja izvršenih na temelju različitih korelacijskih oblika i na taj način odrediti mjerodavnu potrošnju. Najčešće se proračun mjerodavne potrošnje izvodi na taj način da se svakoj prognozi pridruži težinski faktor. Izraz za određivanje mjerodavne potrošnje glasi:

$$W_t = \frac{\sum_1^K \beta_i \cdot W_{it}}{\sum_1^K \beta_i} \qquad (22)$$

gdje je β_i težinski faktor, a W_{it} predviđena potrošnja po i-toj korelaciji. Za težinski faktor može se uzeti kvadrat koeficijenta determinacije $\beta_i = R_i^2$.

3.1. Projekcija ukupne energije predane potrošačima

Na temelju utvrđene zakonitosti razvoja potrošnje u prošlosti za svih pet analitičkih izraza korelacije, i na temelju pretpostavke o rastu društvenog proizvoda za razdoblje 1980.-2000. godine, određena je projekcija budućeg razvoja potrošnje energije (energije predane potrošačima). Rezultati proračuna navedeni su u tabl. 11.

Tablica 11. Projekcija razvoja ukupne potrošnje energije za pet različitih oblika korelacije potrošnje i društvenog proizvoda

Var.	Funkcijski oblik	Energija predana potrošačima 10^{15}J			
		1985.	1990.	1995.	2000.
I	1. $W_t^U = b_1 + b_2 DP_t^U$	258,96	318,23	379,24	464,00
	2. $W_t^U = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^U$	276,27	327,16	275,39	431,10
	3. $W_t^U = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^U + b_4 DP_{t-1}^U$	276,03	325,46	373,60	431,05
	4. $W_t^U = b_1 + b_2 DP_t^i + b_3 DP_t^S + b_4 DP_t^o$	260,42	317,25	387,41	474,76
	5. $W_t^U = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^i + b_4 DP_t^S + b_5 DP_t^o$	273,81	326,85	378,25	439,00
II	1. $W_t^U = b_1 + b_2 DP_t^U$	258,96	290,30	325,95	366,76
	2. $W_t^U = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^U$	276,27	316,68	349,92	384,63
	3. $W_t^U = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^U + b_4 DP_{t-1}^U$	276,03	314,55	347,89	384,61
	4. $W_t^U = b_1 + b_2 DP_t^i + b_3 DP_t^S + b_4 DP_t^o$	260,42	294,46	332,56	374,00
	5. $W_t^U = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^i + b_4 DP_t^S + b_5 DP_t^o$	273,81	313,43	346,14	379,68

Najviši nivo potrošnje ostvario bi se s četvrtim tipom analitičkog izraza za varijantu I i drugim tipom za varijantu II, a najniži nivo potrošnje s analitičkim izrazom 3 u varijanti I i s prvim izrazom za varijantu II. Razlika između maksimalne i minimalne procjene za varijantu I iznosi 43,71 10^{15}J ili oko 9,2 % od maksimalne procjene. Nešto je umanjena razlika u varijanti II i iznosi 17,87 10^{15}J ili 4,6 % od maksimalne procjene.

Mjerodavna potrošnja određena je prema izrazu (22), a za težinske faktore uzeti su koeficijenti determinacije (tabl. 12).

Tablica 12. Izvedena procjena ukupne potrošnje energije

	Energija predana potrošačima 10^{15}J	
	Varijanta I	Varijanta II
1985.	269,12	269,12
1990.	381,81	305,93
1995.	378,36	340,53
2000.	447,92	378,08

Kvaliteta izvedene procjene ukupne potrošnje energije (energije predane potrošačima) provjerena je još jednom putem petog analitičkog izraza za korelaciju potrošnje i društvenog proizvoda, s kojim je u prethodnom koraku ostvarena najkvalitetnija aproksimacija. S analitičkim izrazom za varijantu I

$$W_t^U = 76{,}2910 + 2{,}4185t + 0{,}2114DP_t^i + 2{,}1082\,DP_t^S + 0{,}0599_t^o \qquad (23)$$

ostvarena je vrlo kvalitetna korelacija s koeficijentom determinacije od 0,9989 i procentualnom pogreškom od 1,3277 %.

Za varijantu II koeficijenti korelacije donekle se razlikuju od vrijednosti iz varijante I, i to zato što su se prilagođavali drugom nivou potrošnje. Izraz za korelaciju glasi:

$$W_t^U = 79{,}2180 + 2{,}8987t + 0{,}097\,53\,DP_t^i + 1{,}9544\,DP_t^s + 0{,}0969\,DP_t^o \qquad (24)$$

Koeficijent korelacije iznosi 0,9984, a procentualna greška 1,3780 %.

Mjerodavne vrijednosti ukupne potrošnje energije određene su prema izrazima 23 i 24 (rezultati proračuna navedeni su u tabl. 13).

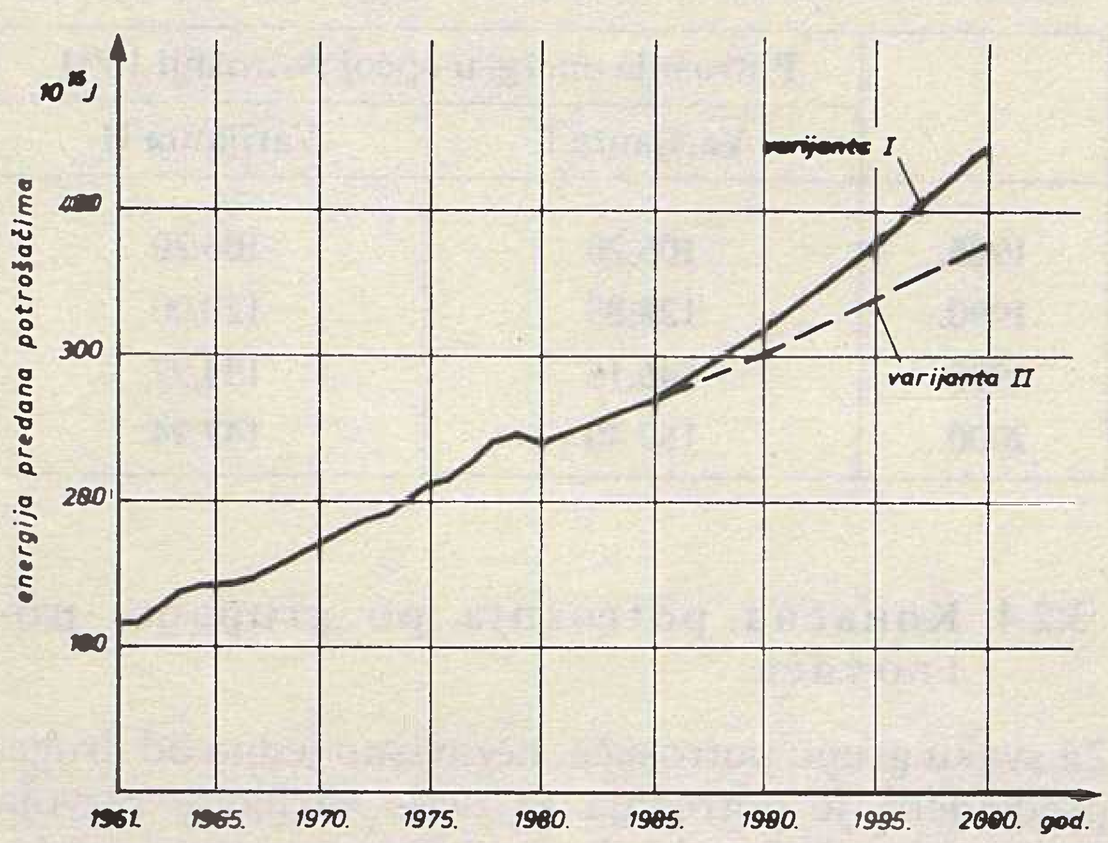
Tablica 13. Ukupna potrošnja energije (energije predane potrošačima) za razdoblje 1980-2000.

	Energija predana potrošačima 10^{15}J	
	Varijanta I	Varijanta II
1980.*	244,68	244,68
1985.	272,09	272,09
1990.	320,07	304,90
1995.	377,79	341,08
2000.	447,89	379,19

* Za 1980. godinu navedena su ostvarenja potrošnje energije.

U varijanti I prosječni godišnji porast potrošnje za razdoblje 1980-2000. godine iznosio bi 3,07 %, a u varijanti II 2,21 %.

Grafički prikaz razvoja potrošnje energije u SRH od 1961. do 1980. godine i projekcija razvoja potrošnje do 2000. godine za dvije varijante razvoja dani su u sl. 1.



Varijanta razvoja:

I. pod pretpostavkom rasta društvenog proizvoda u razdoblju 1985/2000. od 4,72 %

II. pod pretpostavkom rasta društvenog proizvoda u razdoblju 1985/2000. od 2,83 %

Slika 1. Razvoj ukupne potrošnje energije (energije predane potrošačima) u SRH do 2000. godine

3.2. Potrošnja po grupama potrošača

Promatrane su tri karakteristične grupe potrošača: industrija, saobraćaj i opća potrošnja, i za svaku grupu potrošnje izvedena je procjena potrošnja s tri tipa analitičke funkcije i dvije varijante razvoja društvenog proizvoda. Za opću potrošnju napravljena je još jedna procjena prema razvoju podgrupa opće potrošnje.

3.2.1. Industrija

Rezultati proračuna predviđanja potrošnje energije u industriji navedeni su u tabl. 14.

Iznosi predviđene potrošnje u industriji u 2000. godini razlikuju se za 18,72 10^{15}J (10,94 %) u varijanti I i za 4,57.10^{15}J (3,1 %) u varijanti II.

Izvedena procjena potrošnje energije u industriji izračunata je prema izrazu 22, a kao težinski faktori uzeti su koeficijenti determinacije (tabl. 15).

Tablica 14. Procjena potrošnje energije u industriji na temelju korelacije potrošnje energije, društvenog proizvoda i ukupne potrošnje energije

Var.	Funkcijski oblik	Potrošnja energije u industriji 10^{15}J			
		1985.	1990.	1995.	2000.
I	1. $W_t^i = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^i + b_4 DP_{t-1}^i$	103,06	118,70	134,23	152,26
	2. $W_t^i = b_1 + b_2 DP_t^u + b_3 W_t^u$	103,44	119,65	135,88	157,00
	3. $W_t^i = b_1 + b_2 DP_t^i + b_3 DP_t^u + b_4 W_t^u$	103,73	122,39	143,48	170,98
II	1. $W_t^i = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^i + b_4 DP_{t-1}^i$	103,06	115,88	128,52	142,53
	2. $W_t^i = b_1 + b_2 DP_t^u + b_3 W_t^u$	103,44	115,78	126,78	140,50
	3. $W_t^i = b_1 + b_2 DP_t^i + b_3 DP_t^u + b_4 W_t^u$	103,73	116,40	129,18	145,07

Tablica 15. Izvedena procjena potrošnje energije u industriji

	Potrošnja energije u industriji 10^{15}J	
	Varijanta I	Varijanta II
1985.	103,40	103,40
1990.	120,24	116,02
1995.	137,85	128,16
2000.	159,70	142,70

3.2.2. Saobraćaj

Na temelju određenih zakonitosti potrošnje u prošlosti i pretpostavki razvoja društvenog proizvoda u budućnosti napravljena su predviđanja potrošnje energije u saobraćaju. Rezultati proračuna navedeni su u tabl. 16.

U 2000. godini predviđanja se razlikuju u varijanti I za 8,43 10^{15}J (7,8 %), odnosno u varijanti II za 1,81 10^{15}J (2,0 %).

Mjerodavna potrošnja energije u saobraćaju izračunata je prema izrazu 22. Rezultati proračuna navedeni su u tabl. 17.

3.2.3. Opća potrošnja

Kod opće potrošnje promatrana su četiri tipa analitičkih funkcija koje opisuju korelaciju potrošnje energije i društvenog proizvoda, odnosno ukupnu energiju. Rezultati proračuna navedeni su u tabl. 18.

Tablica 16. Procjena potrošnje energije u saobraćaju na temelju korelacije potrošnje energije, društvenog proizvoda i ukupne potrošnje energije

Var.	Funkcija oblika	Potrošnja energije u saobraćaju 10^{15}J			
		1985.	1990.	1995.	2000.
I	1. $W_t^s = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^s + b_4 DP_{t-1}^s$	60,95	73,36	89,10	107,29
	2. $W_t^s = b_1 + b_2 DP_t^u + b_3 W_t^u$	63,03	74,81	86,09	98,86
	3. $W_t^s = b_1 + b_2 DP_t^s + b_3 DP_t^u + b_4 W_t^u$	62,31	74,18	87,63	102,96
II	1. $W_t^s = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^s + b_4 DP_{t-1}^s$	60,95	68,66	78,39	88,20
	2. $W_t^s = b_1 + b_2 DP_t^u + b_3 W_t^u$	63,03	72,68	81,16	90,01
	3. $W_t^s = b_1 + b_2 DP_t^s + b_3 DP_t^u + b_4 W_t^u$	62,31	70,91	79,89	88,98

Tablica 17. Izvedena procjena potrošnje energije u saobraćaju

	Potrošnja energije u saobraćaju 10^{15}J	
	Varijanta I	Varijanta II
1985.	62,09	62,09
1990.	74,11	66,45
1995.	87,59	75,87
2000.	103,02	85,36

Tablica 18. Procjena potrošnje energije u općoj potrošnji na temelju korelacije potrošnje energije, društvenog proizvoda i ukupne potrošnje energije

Var.	Funkcija oblika	Potrošnja energije u općoj potrošnji 10^{15}J			
		1985.	1990.	1995.	2000.
I	1. $W_t^o = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^o + b_4 DP_{t-1}^o$	107,03	128,02	150,00	172,12
	2. $W_t^o = b_1 + b_2 DP_t^u + b_3 W_t^u$	108,13	125,69	145,70	168,64
	3. $W_t^o = b_1 + b_2 DP_t^o + b_3 DP_t^u + b_4 W_t^u$	109,57	126,06	143,95	165,69
	4. $W_t^o = \sum b_i DP_t^i$	100,14	119,81	145,06	171,19
II	1. $W_t^o = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^o + b_4 DP_{t-1}^o$	107,03	122,74	138,38	148,09
	2. $W_t^o = b_i + b_2 DP_t^u + b_3 W_t^u$	108,13	121,96	136,94	152,83
	3. $W_t^o = b_1 + b_2 DP_t^o + b_3 DP_t^u + b_4 W_t^u$	109,57	122,36	136,03	150,03
	4. $W_t^o = \sum b_{ij} DP_t^j$	100,14	113,04	128,60	140,88

Predviđanja potrošnje energije u općoj potrošnji u varijanti I kreću se u granicama 165,69 10^{15}J do 172,12 10^{15}J (razlika 6,47 ili 3,7%), a u varijanti II u granicama 140,88 10^{15}J i 152,83 10^{15}J (razlika 11,95 ili 7,8 %).

Kao i u prethodne dvije grupe potrošača, mjerodavna potrošnja određena je prema izrazu 22. Rezultati proračuna navedeni su u tabl. 19.

Tablica 19. Izvedena potrošnja energije u općoj potrošnji

	Potrošnja energ. u općoj potrošnji 10^{15}J	
	Varijanta I	Varijanta II
1985.	106,20	106,20
1990.	124,88	120,00
1995.	146,16	134,97
2000.	169,40	147,94

3.2.4. Konačna potrošnja po grupama potrošača

Za svaku grupu potrošača, nezavisno jedna od druge, predviđena je potrošnja za dvije varijante razvoja društvenog proizvoda. Budući da je ukupna potrošnja energije utvrđena ranije, potrebno je obaviti korekciju potrošnje po grupama potrošača kako bi se uspostavila jednakost između ukupne potrošnje energije i potrošnje energije po grupama potrošača. Usklađivanje potrošnja po grupama provedeno je na temelju udjela potrošnje energije pojedine grupe, uz kontrolu zakonitosti ostvarenja preko analitičkog oblika korelacije

$$W_t^j = b_1 + b_2 t + b_3 DP_t^u + b_4 W_t^u \qquad (25)$$

Rezultati proračuna navedeni su u tabl. 20.

Tablica 20. Projekcija potrošnje energije po grupama potrošača

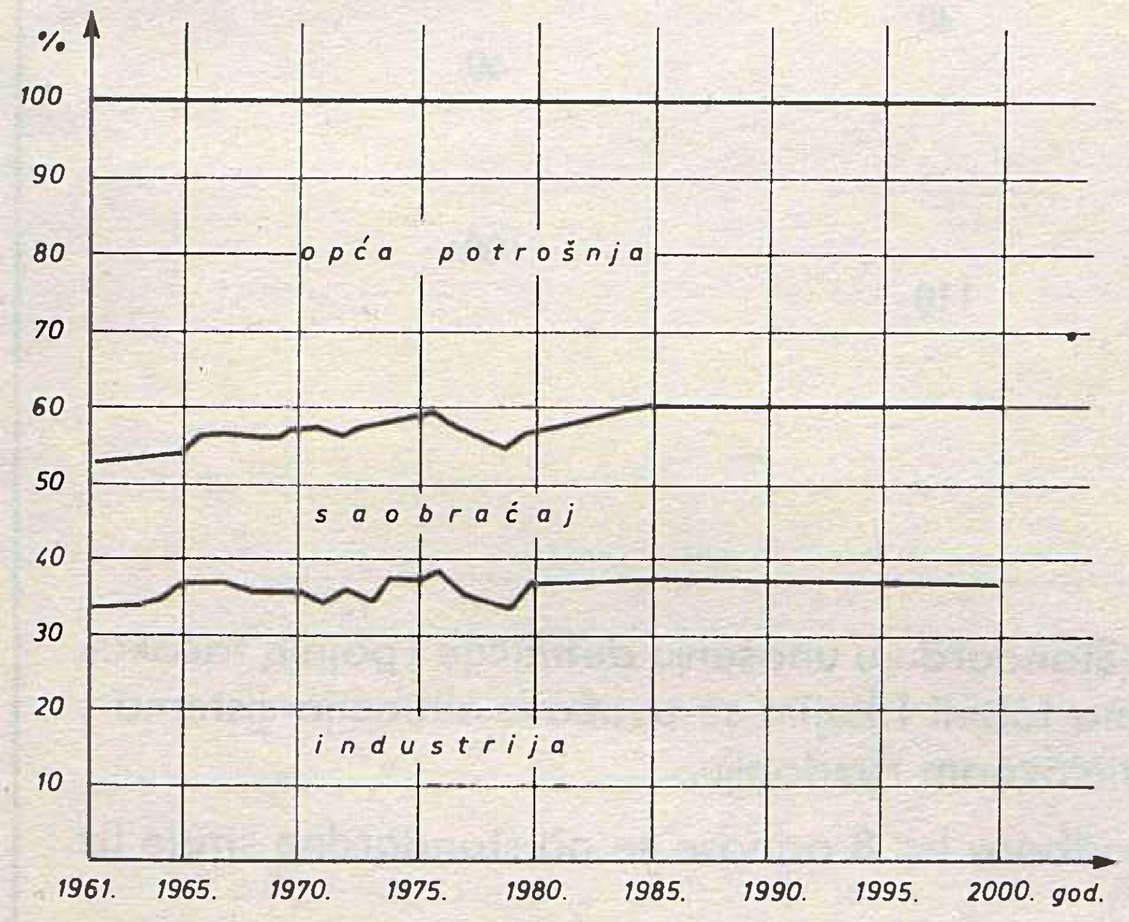
Varijanta	Godina	Potrošnja energije 10^{15}J			
		Industrija	Saobraćaj	Opća pot.	Ukupno
I	1980.	90,19	53,36	101,13	244,68
	1985.	102,24	62,29	107,56	272,09
	1990.	118,81	74,83	126,43	320,07
	1995.	139,92	89,04	148,83	377,79
	2000.	164,36	106,29	177,24	447,89
II	1980.	90,19	53,36	101,13	244,68
	1985.	102,24	62,29	107,56	272,09
	1990.	114,33	70,80	119,17	304,30
	1995.	128,85	79,78	132,45	341,08
	2000.	142,58	89,04	147,57	379,19

Za 1980. godinu navedena su ostvarenja, a predviđene potrošnje energije u 1985. godini za obje varijante razvoja društvenog proizvoda su jednake. Struktura potrošnje po grupama potrošača navedena je u tabl. 21.

Tablica 21. Struktura potrošnje energije

Varijanta	Godina	Struktura potrošnje energije			
		Industrija	Saobraćaj	Opća pot.	Ukupno
I	1980.	36,86	21,81	41,33	100,00
	1985.	37,57	22,89	39,54	100,00
	1990.	37,12	23,37	39,51	100,00
	1995.	37,04	23,56	39,40	100,00
	2000.	36,69	23,73	39,58	100,00
II	1980.	36,86	21,81	41,33	100,00
	1985.	37,57	22,89	39,54	100,00
	1990.	37,57	23,26	39,17	100,00
	1995.	37,78	23,39	38,83	100,00
	2000.	37,60	23,48	38,92	100,00

U razdoblju do 2000. godine, prema procjeni potrošnje energije po grupama potrošača, neće doći do velikih promjena u strukturi potrošnje u jednoj i u drugoj varijanti razvoja. Prosječni udio potrošnje energije u industriji u odnosu na ukupnu potrošnju iznosi 37,50%, saobraćaju 23,20 a u općoj potrošnji oko 39,30 %. Trend malih promjena u strukturi potrošnje primjetan je kod saobraćaja i to prema povećanju udjela u ukupnoj potrošnji. Kod ostale dvije grupe potrošača promjene su tolike da se kompenzira minimalni porast udjela potrošnje energije u saobraćaju. Grafički prikaz strukture potrošnje energije od 1981. do 2000. godine dan je na sl. 2.



Slika 2. Struktura potrošnje energije (energije predane potrošačima) u SRH do 2000. godine (varijanta I)

4. ZAKLJUČAK

Današnji trenutak, više nego bilo kada prije, zbog već opće poznatih privrednih poteškoća, čini predviđanje neizvjesnim, što je u samom naslovu ovog članka naglašeno kroz kvalifikaciju budućeg razvoja potrošnje energije kao mogućih pravaca razvoja potrošnje energije.

Nemoguće je kvantificirati pojedinačnu pouzdanost promatranih varijanti predviđanja s namjerom da se opredijeli za jednu ili drugu varijantu jer za to nema dovoljno čvrstih pokazatelja. Osim toga, kako je to već prije rečeno, potrošnja energije je posljedica razvoja privrede i društva, pa je prema tome njezin razvoj ovisan o ostvarenju rasta privrede i društva.

Zbog specifičnosti energetike u odnosu na ostale privredne grane, a koja se odnosi na nužnost dugoročnog planiranja i angažiranja znatnog dijela društvene akumulacije, te njezine važnosti za funkcioniranje cjelokupnog privrednog sustava, slabo gospodarenje može biti uzrok velikih privrednih i društvenih poremećaja i sporijeg rasta privrede. Iz tog je razloga manje važno formalno opredjeljenje za jednu ili drugu varijantu razvoja, već je najbitnije ostvariti pretpostavke da se razvoj potrošnje energije može realizirati. To se u prvom redu odnosi na kompleksno planiranje razvoja energetike, istraživanja, politiku cijena, dobro gospodarenje u izgradnji i eksploataciji energetskih postrojenja itd.

KEY WORDS: POWER, FORECAST OF DEMAND

POSSIBLE TRENDS IN POWER CONSUMPTION DEVELOPMENT IN SR CROATIA TILL 2000 YEAR

In the article are on the basic of correlation between consumed power (power delivered to users), and national production as well as forecasting of national production growth till the end of century, presented forecasts of power consumption. Forecasts are made for total power consumption and for groups of users (industry, traffic and general consumers) for two different growth of national product.

MÖGLICHE ENTWICKLUNGSRICHTLINIEN DES ENERGIEVERBRAUCHES IN SRH BIS 2000

In der Arbeit wurde aufgrund der Wechselbeziehung zwischen dem Energieverbrauch (der Energie die an die Verbraucher abgegeben wurde) und dem gesellschaftlichen Erzeugnis sowie seines Wachtums bis zum Ende des Jahrhunderts, der Energieverbrauch vorausgeplant. Man berechnete den gesamten Energieverbrauch auch nach Verbrauchergruppen (Industrie, Verkehr und allgemeiner Verbrauch) in zwei Varianten des gesellschaftlichen Erzeugnisses.

ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В СР ХОРВАТИИ ДО 2000 ГОДА

В работе на базе корреляции энергопотребления (энергия переданная потребителям) и общественного продукта, а также предполагаемого роста общественного продукта до конца столетия, сделаны как для общего энергопотребления, так и для отдельных групп потребителей (промышленности, транспорта и общего потребления) в двух вариантах роста общественного продукта.

Naslov pisaca:
dr Goran Granić, dipl. inž.
Mladen Zeljko, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 02 – 03

NOVI IEC-ov STANDARD NAPONA

Internacionalna elektrotehnička komisija nedavno je izdala novo, šesto izdanje publikacije »IEC standardni naponi«, a pripremio ga je Tehnički odbor br. 8 (»Standardni naponi, struje i frekvencije«), nastavljajući svoj rad poslije izlaska petog izdanja »Standarda« 1975, odnosno Amandmana 1977. Na sastancima u Moskvi 1977, Sydneyu 1979. i Dubrovniku 1980. pripremljen je novi prijedlog koji su nacionalni komiteti IEC-a u većini prihvatili po »pravili šest mjeseci«.

Glavna je novost u Standardu pojava tabele VI sa standardnim naponima ispod izmjeničnih 120 V i istosmjernih 750 V, uz već prije postojeće tabele napona između 100 V i 1 000 V (tabela I), istosmjernih i izmjeničnih napona vuče (II), napona između 1 kV i 35 kV (III), između 35 kV i 230 kV (IV) te preko 245 kV (V). Prenosimo tu novouključenu tabelu napona:

Istosmjerno		Izmjenično	
nominalne vrijednosti		nominalne vrijednosti	
preferirane (V)	dopunske (V)	preferirane (V)	dopunske (V)
	2,4		
	3		
	4		
	4,5		
	5		5
6		6	
	7,5		
	9		
12		12	
	15		15
24		24	
	30		
36			36
	40		
			42
48		48	
60			60
72			
	80		
96			
			100
110		110	
	125		
220			
	250		
440			
	600		

Uz tabelu VI, ostale su izmjene prema prethodnom Standardu u unošenju definicije »pojnih točaka« (point de livraison, supply terminala) te amandmana tabeli I kojim se uvažava situacija sistema s nominalnim naponima 220/380 V i 240/415 V u prijelaznom razdoblju.

Drugi važeći standardi iz kompetencije Tehničkog odbora br. 8 odnose se na standardne struje (iz 1938) te na standardne frekvencije (iz 1965. i 1967).

U vezi s ovim izmjenama i dinamikom IEC-a treba napomenuti da je kod nas još uvijek na snazi JUS standard napona iz 1957, u kojem je npr. 20 kV vrijednost napona mreže koja se može upotrebljavati samo izuzetno, pa je urgentna potreba njegova noveliranja.

Zdenko Tonković

MATEMATIČKI MODEL ZA OPTIMALIZACIJU ENERGETSKE OPSKRBE URBANIH SREDINA

Dr Duško Čorak, Vladimir Jelavić i Zdravko Mužek, Zagreb

UDK 620.9: 621.31

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Opisan je originalni matematički model za optimalizaciju energetske opskrbe urbanih sredina, osnovan na metodi linearnog programiranja. Nelinearni odnosi koji se javljaju kod uključivanja u razmatranje ograničenja onečišćenja zraka prevladavaju se interaktivnim korištenjem modela za optimalizaciju energetske opskrbe urbanih sredina i modela za utvrđivanje onečišćenja zraka, a nelinearnosti u vezi s uključivanjem u razmatranje opskrbe iz centralne toplane iterativnim postupkom.

Ključne riječi: energetska opskrba, optimalizacija, matematički model.

1. PRISTUP DUGOROČNOM USMJERAVANJU ENERGETSKE OPSKRBE URBANE SREDINE

Energetska opskrba je zbog svoje inertnosti upućena na dugoročno usmjeravanje i planiranje. U urbanoj sredini znatne su potrebe u energiji, pa je prisutno osnovno pitanje kakvu je energetsku opskrbu optimalno primijeniti. Pri tome se misli na određivanje optimalne strukture primarnih i sekundarnih oblika energije te određivanje potrebnih postrojenja za energetske transformacije i odgovarajućih sistema za prijenos i distribuciju energetskih oblika, a uz zadovoljenje ograničenja koja se javljaju na promatranom području (izgrađena energetska infrastruktura, ograničenje količine upotrebe nekih energetskih oblika, ograničenje zbog onečišćenja zraka i sl.).

Na isprepletenost uzajamnih veza društvenog, ekonomskog i tehničkog razvoja te prirodnih uvjeta određene sredine s energetskom opskrbom nije potrebno upoznavati. Stoga je jasno da određeni energetski oblik i način energetske opskrbe ne nalazi određeno mjesto u energetskoj opskrbi samo zbog kvalitete su generis, već njegovo mjesto određuje cjelokupnost niza faktora. Osnovni faktori koji djeluju na optimalno usmjeravanje energetske opskrbe grada i područja grada jesu:

— društveno uređenje
— klimatske i ostale geografske karakteristike
— društveno-ekonomski razvoj grada i područja grada
— dosadašnja energetska opskrba te postojeće stanje energetske opskrbe grada i područja grada
— primarni izvori energije u svijetu, zemlji te bližoj i daljoj okolici
— tehnički i energetski razvoj u zemlji i svijetu
— ekonomija dobave i korištenja energije
— ekološke značajke razvoja
— neizvjesnost imanentna budućnosti.

Navedeni redoslijed ne pokazuje rangiranje faktora prema njihovu značenju. Važnost pojedinog od njih nije ni moguće a'priori ocijeniti jer svaki, ovisno o okolnosti, može odlučujuće djelovati na optimalno rješenje dugoročne energetske opskrbe. Zato neadekvatno sagledavanje bilo kojeg faktora može dovesti do pogrešnog zacrtavanja energetske politike. Većinu nabrojenih faktora moguće je kvantitativno obuhvatiti i oni na određeni način, bilo izravno ili neizravno, predstavljaju varijable kod optimiranja energetske opskrbe te treba da budu detaljnije analizirani. Klimatske i ostale geografske značajke te društveno-ekonomski razvoj grada i područja grada određuje energetske potreba i kvalitativnom i kvantitativnom smislu. Dosadašnja energetska opskrba te postojeće stanje energetske opskrbe, primarni izvori energije u svijetu, zemlji i okolici, tehnički i energetski razvoj u svijetu i kod nas te ekološke značajke razvoja predstavljaju određena ograničenja (koja kod dugoročnog sagledavanja i optimalizacije energetske opskrbe treba obuhvatiti), a ekonomija dobave i korištenja energije jedan su od najznačajnijih parametara pri izboru oblika energije i načina energetske opskrbe.

Društveno uređenje i neizvjesnost imanentna budućnosti kvalitativni su faktori. Društveno uređenje usmjerava cjelokupni razvoj zemlje. Socijalističko društveno uređenje zahtijeva, nadalje, da se razvoj grada uskladi s razvojem cijelog područja u kojem se nalazi i širom društvenom zajednicom. Briga o čovjeku traži da se pri energetskoj opskrbi zadovolji standard primjeren trenutku razvoja te da se uzimaju u obzir zdravstveni i higijenski momenti. Jednom riječju, društveno uređenje određuje za koga se traži optimalno usmjeravanje energetske opskrbe i što je osnovni kriterij optimalnosti. Na nivou teritorijalne zajednice, kao što je grad i njegovo područje, osnovni kriterij treba biti maksimiranje dohotka po zaposlenom u svakom radnom kolektivu te minimiziranje utrošaka za zadovoljenje pojedinačno uzetih potreba

stanovništva. Prilagođeno modelu za optimalizaciju dugoročne energetske ospkrbe grada, kriterij optimalnosti je formuliran kao minimum ukupnih troškova za istraživanje i razvoj, pridobivanje, transformaciju, distribuciju i korištenje energije, pri čemu se uvažavaju društvene, privredne i ekološke značajke razvoja te prisutna ograničenja.

Drugi kvalitativni faktor, neizvjesnost imanentna budućnosti, obuhvaća neizvjesnost budućeg svjetskog političkog i ekonomskog i našeg energetskog razvoja, neizvjesnost u otkrivanju novih neobnovljivih energetskih izvora te istraživanje u svrhu savladavanja tehnoloških poteškoća za široko korištenje nekonvencionalnih obnovljivih izvora energije. Sva ta neizvjesnost zahtijeva donošenje elastičnih planova razvoja energetike. Sigurno je da je fleksibilnost određenog načina opskrbe, u smislu što manje osjetljivosti na eventualne poremećaje koje može donijeti budućnost, jedna od kvaliteta koja nije zanemariva.

Mnogobrojne mogućnosti zadovoljenja energetskih potreba korisnika s obzirom na korištenje energetskih oblika, odnosno sistema za transformaciju energije, dovode planere, projektante i konačne korisnike u nedoumicu u pogledu izbora najpovoljnijeg načina energetske opskrbe. Prepusti li se izbor opskrbe konačnom korisniku, izbor će ovisiti o visini troškova uređaja i instalacija, o cijenama energetskih oblika, utrošku vlastitog rada te standardu koji pruža pojedini sistem, prema tome o cijenama uređaja za transformaciju, cijenama instalacija, cijenama oblika energije te mogućnosti njihove nabave. Očito je da se instrumentom politike cijena izravno utječe na opredjeljenje konačnog korisnika. On se, dakle, u pravilu ravna prema trenutnom kretanju navedenih odnosa i vlastitim, trenutnim mogućnostima. Na primjer, ako pojedinog energetskog oblika na tržištu nema ili ako su trenutno prisutne neekonomske cijene za pojedine energetske oblike, korisnici će brzo reagirati koristeći npr. električnu energiju za grijanje umjesto ugljena ili prirodnog plina, što dakako ne može predstavljati optimalnu opskrbu gledano sa stajališta šire društvene zajednice. Takve nagle promjene u opredjeljenju korisnika mogu dovesti do težih poremećaja u cjelokupnom sistemu opskrbe. U najnepovoljnijem položaju je svakako elektroenergetski sistem opskrbe, jer svakom korisniku pruža mogućnost da ga koristi za zadovoljenja svih energetskih potreba u uvjetima kad drugih oblika energije nema ili kad je cijena električne energije u disparitetu s cijenama drugih energetskih oblika.

Da bi se postigla optimalna energetska opskrba korisnika, nužno je stoga usmjeriti konačne korisnike na one oblike energije koji i za korisnika i za društvenu zajednicu u jednom dužem razdoblju iziskuju minimalne troškove, ali pri tom trebaju biti zadovoljeni određeni uvjeti koji se javljaju u formi ograničenja. Obuhvaćanje utjecaja svih ili dijela navedenih osnovnih faktora kod utvrđivanja optimalne energetske strukture moguće je jedino uz pomoć matematičkih modela koji omogućuju uspostavljanje međusobnih odnosa u formi jednadžbi ili nejednadžbi. U tu svrhu razvijen je na osnovi metode linearnog programiranja matematički model za optimalizaciju energetske opskrbe urbanih sredina. Opis i način primjene modela prikazat će se u nastavku.

2. SVRHA MODELA I NJEGOV OPIS

Kod energetske opskrbe urbane sredine međusobni odnosi između primarnih, transformiranih i korisnih oblika energije najčešće se mogu prikazati u obliku linearnih jednadžbi i nejednadžbi. Postavljanjem jednadžbi zadovoljenja potreba za sve namjene koje se pojavljuju — uzimajući u obzir sve tehničke mogućnosti koje stoje na raspolaganju za zadovoljenje potreba te sve oblike energije koji se mogu koristiti na promatranom području — dolazi se do sistema linearnih jednadžbi. U takvim jednadžbama energetske potrebe su izražene kao konstante. Faktori kojima se utvrđuje transformacija oblika energije javljaju se kao koeficijenti, dok se količine pojedinih oblika energije javljaju kao nepoznanice.

Osim jednadžbi potreba potrebno je postaviti sistem jednadžbi i nejednadžbi kojima su definirana ograničenja u korištenju pojedinih oblika energije, ograničenja zagađenja zraka i sl.

Jednadžba troškova predstavlja jednadžbu cilja koju treba minimizirati. U njoj su obuhvaćene sve nepoznanice i njima pridruženi specifični troškovi.

Među određenim veličinama u postavljenom modelu nije moguće uspostaviti linearne odnose. No, koristeći se iterativnim postupkom nelinearnosti se mogu prevladati. Treba naglasiti da se ovakav slučaj javlja uvođenjem ograničenja onečišćenja zraka te uključivanjem u razmatranje opskrbe iz centralne toplane. U prvom slučaju, kod uvođenja ograničenja onečišćenja zraka, potrebno je primijeniti model za određivanje zračnog onečišćenja. Posebnim modelom za interaktivno korištenje modela za optimalizaciju energetske strukture i modela za određivanje onečišćenja zraka spomenuti iterativni postupak se automatizira. U drugom slučaju, kod uključivanja opskrbe iz centralne toplane, potrebno je obuhvatiti utjecaj prilika u toplinskom i elektroenergetskom sistemu pa se optimalizacija proširuje izvan granica promatranog urbanog područja. Ovo tehničko rješenje se stoga uključuje u razmatranje također korištenjem iterativnog postupka.

Pri optimalizaciji strukture energetske opskrbe korisnika na urbanom području potrebno je u prvom redu odrediti granice promatranog područja.

Obično se granice postavljaju sukladno političko-teritorijalnoj podjeli (na razini općina ili zajednica općina). Takvo područje najčešće nije homogeno sa stajališta energetskih potreba. Tu se javljaju područja s različitom gustoćom građenja stambenih objekata, različitom veličinom objekata i načinom gradnje, te različita industrijska područja. Nužno je stoga podijeliti gradsko područje na manja područja — građevinske i industrijske kasete — tako da svako od njih predstavlja homogenu cjelinu s obzirom na karakteristike mjerodavne za način opskrbe energijom.

Treba naglasiti da o kvaliteti podjele gradskog područja na kasete, u smislu postignuća što veće homogenosti svake kasete, u znatnoj mjeri ovisi točnost rezultata optimalizacije strukture energetske opskrbe pa je ovo pitanje potrebno dobro proučiti.

Prikaz matematičkog modela za optimalizaciju energetske strukture dan je u prilogu 1. Da bi se on mogao primijeniti, potrebno je za svaku pojedinu građevinsku i industrijsku kasetu utvrditi:

(1) energetske potrebe
(2) ukupne (promjenljive i stalne) troškove opskrbe kod svakog nakon opskrbe i svakog oblika energije.

Osim toga, na nivou cijelog urbanog područja, na nivou određenog njegova dijela ili na nivou kasete treba da se utvrde:

(3) ograničenjâ onečišćenja zraka
(4) ograničenjâ raspoložive snage ili energije pojedinog energetskog oblika.

Navedene četiri veličine (1, 2, 3, 4) predstavljaju ulazne podatke modela za optimalizaciju strukture energetske opskrbe.

3. UTVRĐIVANJE ENERGETSKIH POTREBA TE MOGUĆNOSTI NJIHOVA ZADOVOLJAVANJA

Kod primjene matematičkog modela za optimalizaciju energetske strukture jedan je od najsloženijih zadataka utvrđivanje potreba u energiji na razini pojedine građevinske i industrijske kasete. Pri tome nije dovoljno odrediti samo ukupnu energiju, već i namjenu energije te karakteristike njezina korištenja.

Energetske potrebe treba da se utvrde za ona vremenska stanja za koja se želi utvrditi optimalna struktura. No, važno je imati na umu da se sva promatranja moraju provoditi za duža vremenska razdoblja (15, 20 i više godina), te je nužno raspolagati podacima koji definiraju društveno-ekonomski razvoj promatranog područja. Posebnu vrijednost ima urbanistički i privredni plan te podaci iz prethodnog razdoblja.

3.1. Građevinske kasete

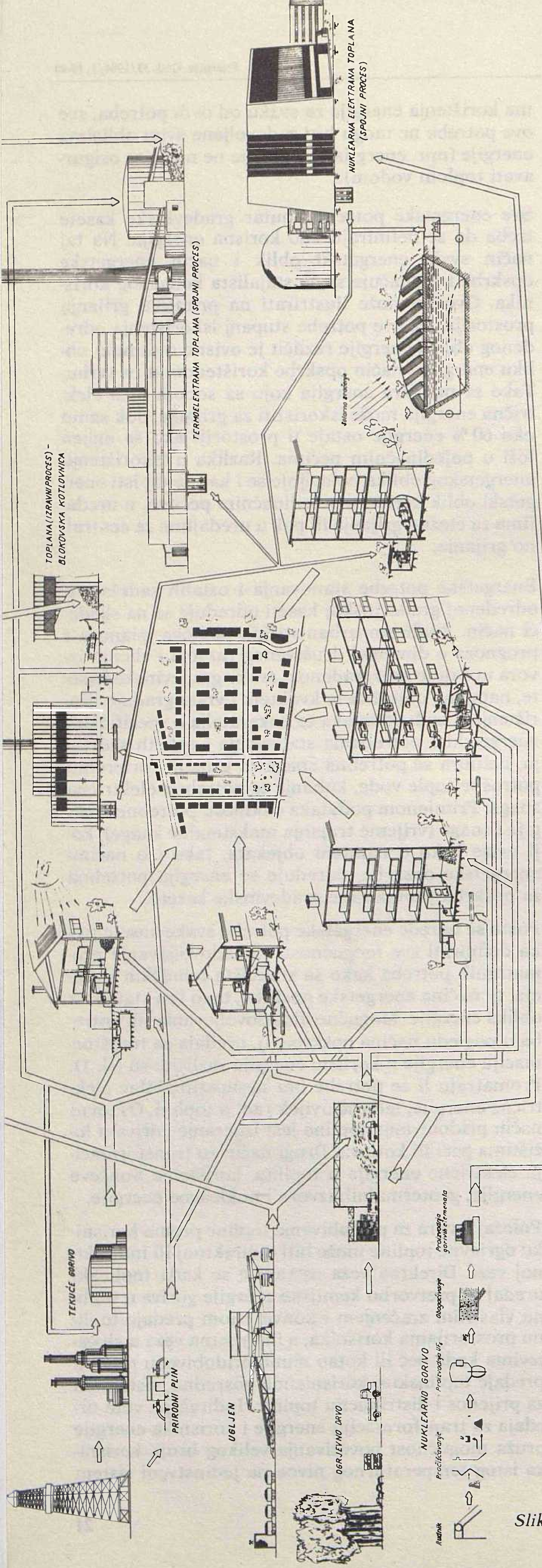
Građevinska kaseta predstavlja područje grada, izgrađeno stambenim objektima i objektima zajedničkih sadržaja, koje je homogeno po svojim energetskim karakteristikama. Da bi se mogao primijeniti matematički model za optimalizaciju energetske strukture, potrebno je za svaku građevinsku kasetu odrediti energiju za sve namjene koje se u njoj pojavljuju, tj. energiju za grijanje, energiju za pripremu potrošne tople vode, energiju za kuhanje te električnu energiju koju nije razumno ili moguće supstituirati drugim oblicima energije (npr. za rasvjetu, pogon kućanskih aparata itd.). Takva podjela je nužna jer, pored toga što postoje razlike u karakteristikama korištenja energije za svaku od ovih potreba, sve ove potrebe ne mogu biti zadovoljene svim oblicima energije (npr. energija za kuhanje ne može se osiguravati toplom vodom).

Sve energetske potrebe unutar građevinske kasete treba da se definiraju kao korisna energija. Na taj način svaki energetski oblik i način energetske opskrbe izjednačuje se sa stajališta konačnog korisnika. Ovo se može ilustrirati na primjeru grijanja prostorija. Za ove potrebe stupanj iskorištenja određenog oblika energije različit je ovisno o samom obliku energije i način opskrbe korištenom u tu svrhu. Tako se npr. sva energija koju sa sobom nosi električna energija može iskoristiti za grijanje, dok samo oko 60 % energije ostaje u prostoriji ako se ugljen loži u pojedinačnim pećima. Razlika u iskorištenju energetskog oblika pojavljuje se i kad se taj isti energetski oblik koristi u pojedinačnim pećima, u uređajima za etažno grijanje ili pak u uređajima za centralno grijanje.

Energetske potrebe stanovanja i ostalih sadržaja u određenoj građevinskoj kaseti određuje se na sljedeći način. Analizom urbanističkih planova, planova i prognoza o dinamici društvenog razvoja i sličnih izvora utvrđuje se izgrađenost svake građevinske kasete, namjena objekata te kvaliteta i vrsta gradnje. Korištenjem ovih podataka te pokazatelja o specifičnim energetskim potrebama stanovanja i ostalih sadržaja, definira se potrebna snaga za grijanje, pripremu potrošne tople vode, kuhanje te potrebna električna snaga. Primjenom podataka o odnosu potrebne energije i snage (vrijeme trajanja maksimalne snage), koji ovise kako o namjeni objekata, tako i o načinu energetske opskrbe, određuje se energija potrebna za opskrbu promatrane građevinske kasete.

Pošto se odrede energetske potrebe svake kasete treba definirati sve mogućnosti za zadovoljavanje promatranih potreba kako sa stajališta tehničkih rješenja, tj. načina energetske opskrbe, tako i sa stajališta oblika energije. Mogućnosti zadovoljavanja tih potreba u pogledu načina opskrbe, tj. uređaja za transformaciju energije u korisnu energiju različite su (sl. 1). Promatraju li se potrebe bez nesupstituabilne električne energije, tada se uvijek radi o toplini. Osnovni način pridobivanja topline jest izgaranje goriva u ložištima peći ili kotlova. Drugi način su transformacija električne energije u toplinu, korištenje Sunčeve energije, geotermalnih izvora i nuklearne energije.

Položaj izvora za pridobivanje topline prema korisniku ogrjevne topline može biti u direktnoj ili indirektnoj vezi. Direktna veza ostvaruje se kada toplinski uređaj za pretvorbu kemijske energije goriva u toplinu vlastitim zračenjem i konvekcijom predaje toplinu prostorijama korisnika, a indirektna veza u slučajevima kada peć ili kotao njima pridobivenu toplinu predaje toplinskim korisnicima posredno, sistemom za prijenos i distribuciju topline. Indirektna veza uređaja za transformaciju energije i korisnika energije pruža mogućnost povezivanja velikog broja korisnika istog temperaturnog nivoa na jedinstveni sistem



Slika 1. Mogućnosti zadovoljavanja energetskih potreba urbanih sredina

opskrbe. To povezivanje može se ostvariti od nivoa jednog stana do nivoa cijeloga gradskog područja.

Potrebe ogrjevnih korisnika u pogledu vrste goriva moguće je zadovoljiti korištenjem drveta, ekstralakog loživog ulja, električne energije, gradskog plina, ukapljenog plina, prirodnog plina, ugljena, teškog loživog ulja i urana.

Sve navedene oblike energije koji dolaze u obzir za zadovoljenje potreba ogrjevnih korisnika moguće je koristiti i za pripremu potrošne tople vode. Za potrebe kuhanja teško loživo ulje i uran ne treba razmatrati.

Nesupstituabilna električna energija uvijek se osigurava iz elektroenergetskog sistema te druge mogućnosti nije potrebno razmatrati. Pri tome, ne razmatra se oblik energije potreban za njezinu proizvodnju.

Pri analizi mogućnosti zadovoljavanja potreba korisnika u pogledu vrste postrojenja za transformaciju energije treba u okviru matematičkog modela uzeti sva realna tehnička rješenja koja s gledišta suvremenog razvitka tehnike dolaze u obzir. Posebnu pažnju treba posvetiti mogućnosti korištenja pojedinih postrojenja za transformaciju i sistema za distribuciju energije za višestruku namjenu. Tako se npr. električnom energijom mogu zadovoljiti potrebe za grijanje, kuhanje, pripremu potrošne tople vode i potrebe nesupstituabilne električne energije iz jedinstvenog sistema, ili pak toplina za grijanje i pripremu potrošne tople vode iz centraliziranog sistema neovisno o postrojenju za transformaciju.

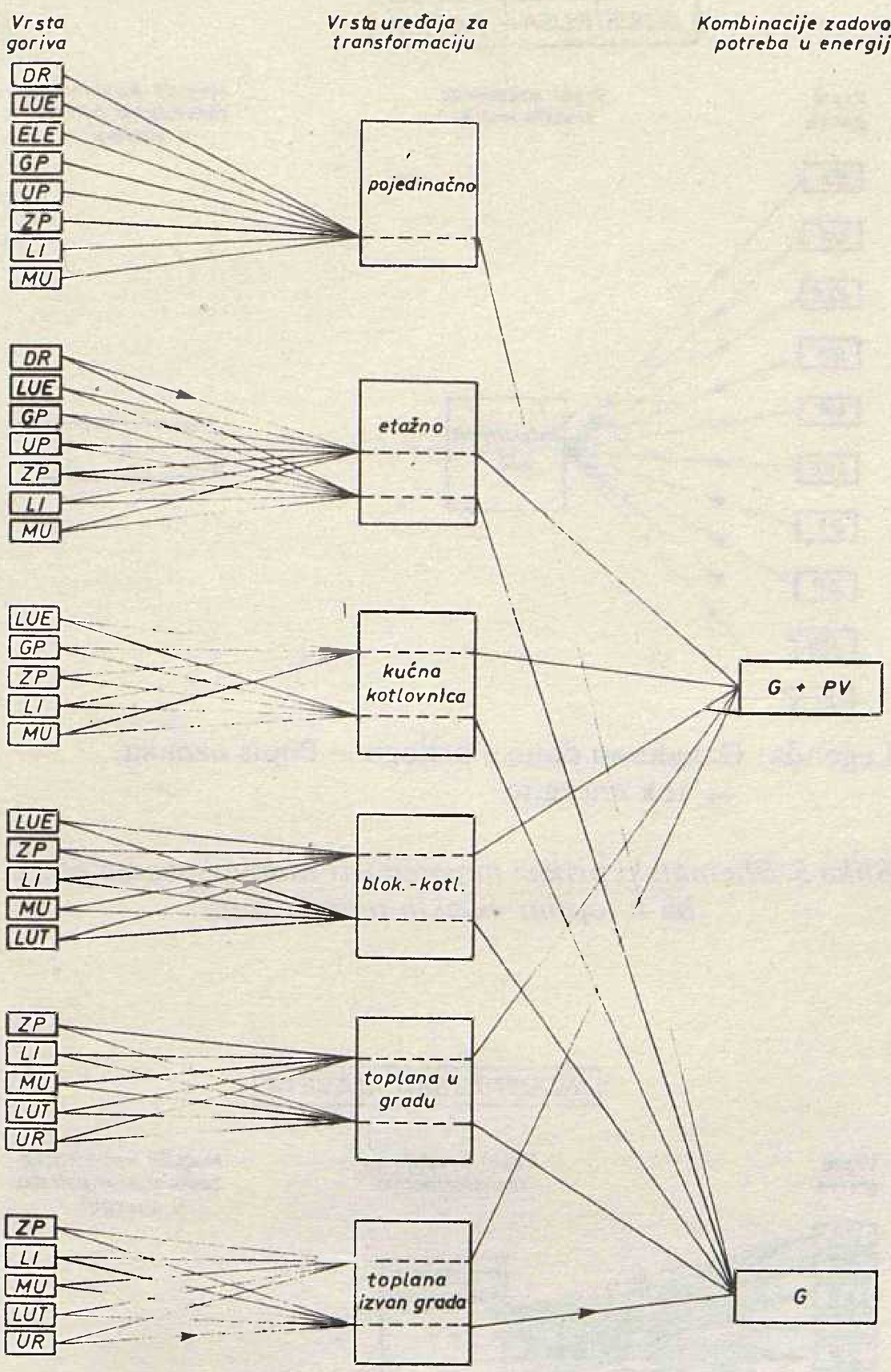
Moguće kombinacije postrojenja za transformaciju za zadovoljenje potreba u građevinskoj kaseti prikazane su shematski na slikama 2, 3. i 4. Jednadžbe zadovoljenja potreba građevinskih kaseta prikazane su u prilogu I, relacijama I – 1.1. do I – 1.4.

3.2. Industrijske kasete

Energetske potrebe korisnika u industriji mogu se svrstati u tri skupine:

— toplina niskih i srednjih temperatura
— toplina visokih temperatura
— nesupstituabilna električna energija.

Toplina niskih i srednjih temperatura osigurava se parom i vrelom vodom, a toplina visokih temperatura izgaranjem goriva u samom industrijskom postrojenju (raznim industrijskim pećima) ili konverzijom električne energije u visokotemperaturnu toplinu. Nesupstituabilnom električnom energijom obuhvaćena je električna energija koju nije razumno ili moguće zamijeniti drugim oblicima energije (električna energija za pretvorbu u mehaničku, kemijsku ili valnu energiju). Pri određivanju potrebne topline niskih i srednjih temperatura, tj. topline u obliku pare i vrele vode, potrebno je razlikovati temperaturu ovog medija. To je nužan preduvjet za mogućnost optimiranja sistema za proizvodnju i prijenos pare i vrele



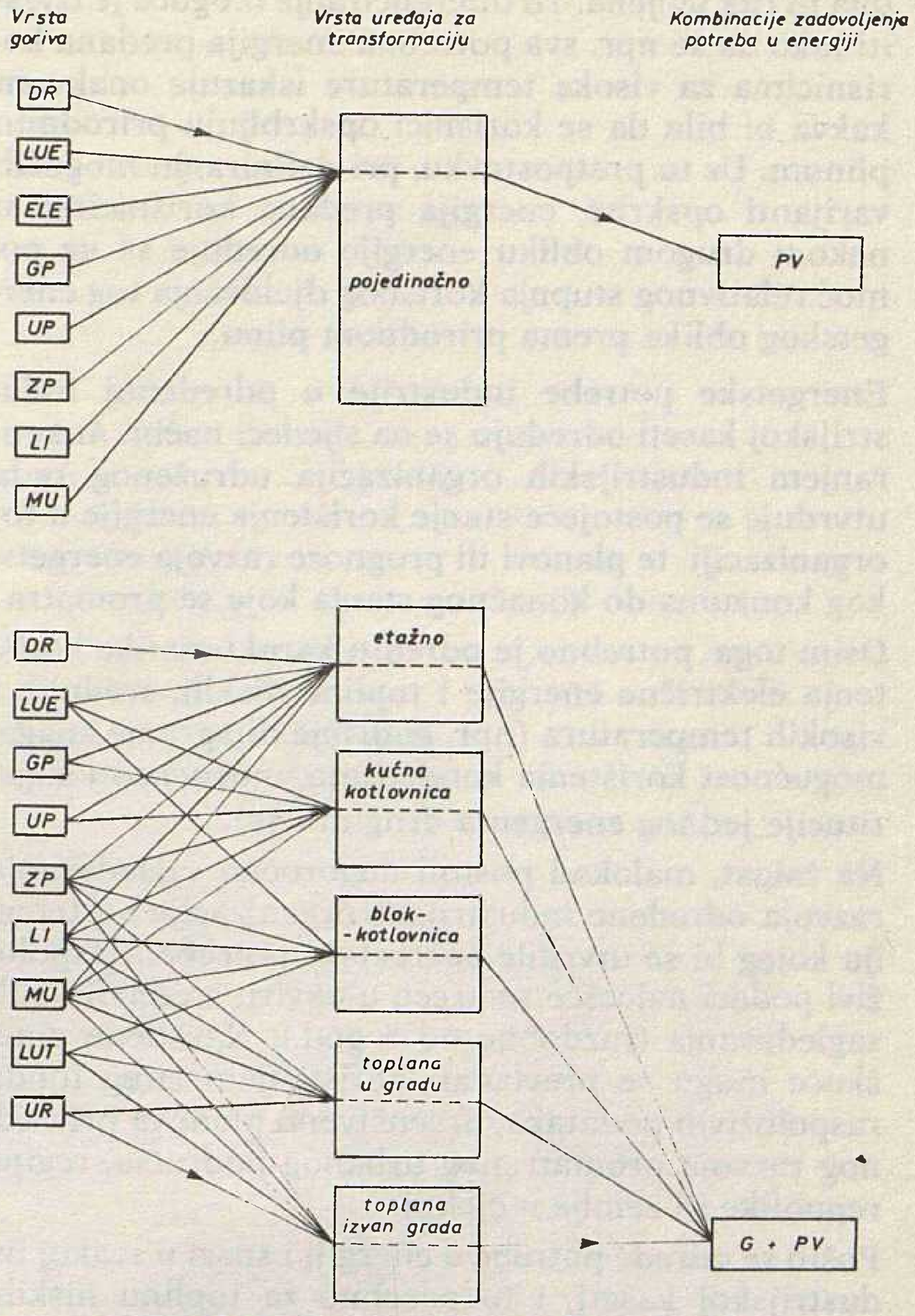
Legenda: Oznake su dane u prilogu — Popis oznaka.
→ tok energije

Slika 2. Shematski prikaz zadovoljavanja potreba u korisnoj energiji za grijanje

vode do samog industrijskog korisnika. Zbog toga je potrebno razlučiti:

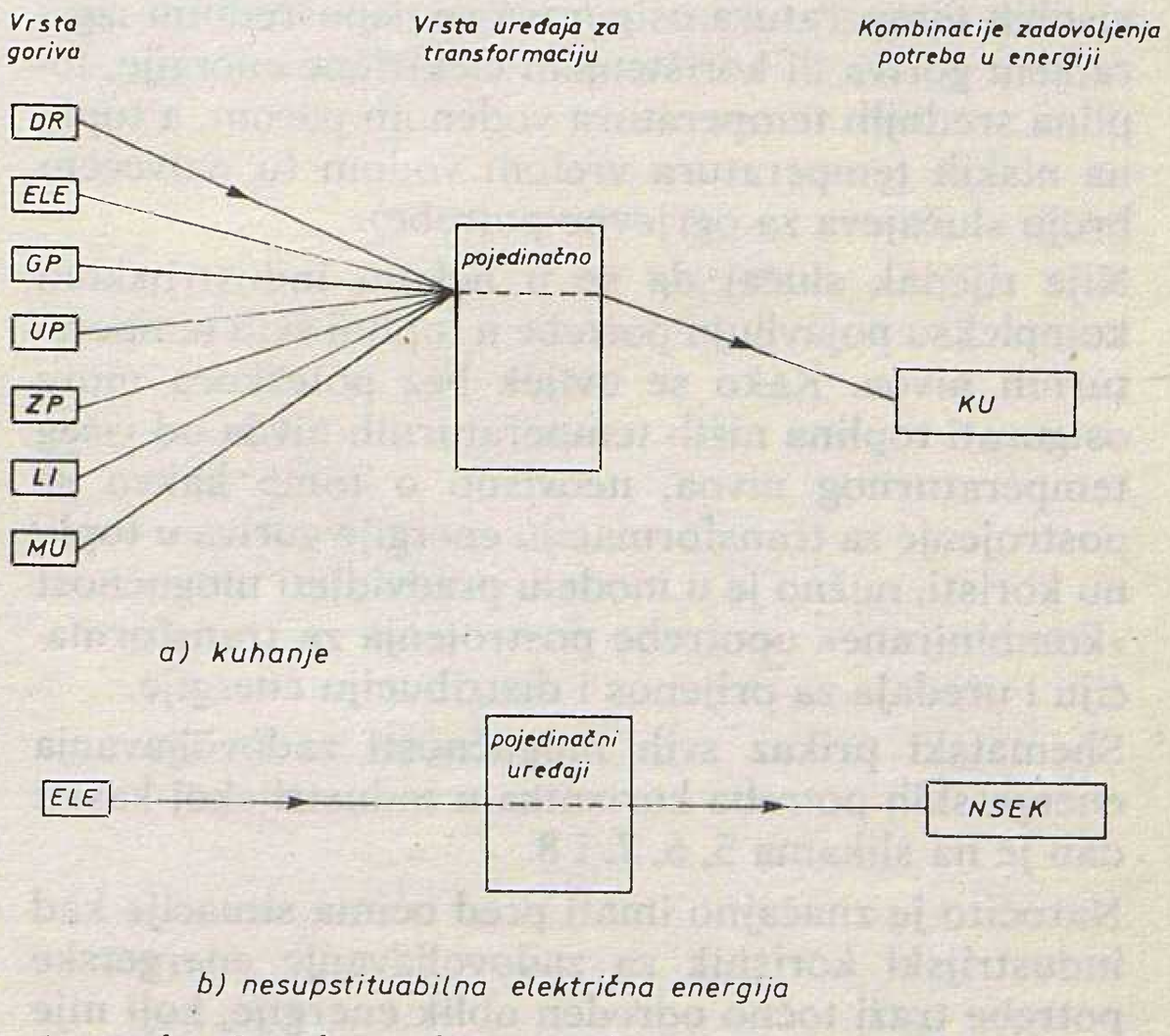
— toplinu niskih temperatura do 400 K (~ 130 °C)
— toplinu srednjih temperatura do 460 K (~ 185 °C)
— toplinu srednjih temperatura preko 460 K (185 °C).

Sve energetske potrebe industrijskih korisnika treba da se definiraju kao energija poredana korisnicima. To je uvjetovano time što najčešće nije moguće jednoznačno definirati stupanj korisnog djelovanja energetskog procesa u svakom industrijskom postrojenju, pa je, za razliku od građevinskih kaseta, nemoguće potrebe u energiji iskazivati kao korisnu energiju. Dok je kod opskrbe parom i vrelom vodom te nesupstituabilnom električnom energijom nepotrebno poznavati stupanj korisnog djelovanja samog energetskog procesa u industrijskom postrojenju (dovoljno je znati kolike su potrebe u pari i vreloj vodi), kod osiguravanja topline visokih temperatura potrebno je energiju predanu korisnicima diferencirati ovisno o energetskom obliku kojim se postiže toplina visoke temperature. Naime, nije svejedno da li se ta energija dovodi u obliku prirodnog plina, loživog



Legenda: Oznake su dane u prilogu — Popis oznaka.
→ tok energije

Slika 3. Shematski prikaz zadovoljavanja potreba u korisnoj energiji za pripremu potrošne tople vode



Legenda: Oznake su dane u prilogu — Popis oznaka.
→ tok energije

Slika 4. Shematski prikaz zadovoljavanja potreba u korisnoj energiji za kuhanje i nesupstituabilnoj električnoj energiji

ulja ili čak ugljena. To diferenciranje moguće je izvršiti tako da se npr. sva potrebna energija predana korisnicima za visoke temperature iskazuje onakvom kakva bi bila da se korisnici opskrbljuju prirodnim plinom. Uz tu pretpostavku, pri definiranju mogućih varijanti opskrbe, energija predana korisnicima u nekom drugom obliku energije određuje se uz pomoć relativnog stupnja korisnog djelovanja tog energetskog oblika prema prirodnom plinu.

Energetske potrebe industrije u određenoj industrijskoj kaseti određuju se na sljedeći način. Anketiranjem industrijskih organizacija udruženog rada utvrđuje se postojeće stanje korištenja energije u toj organizaciji, te planovi ili prognoze razvoja energetskog konzuma do konačnog stanja koje se promatra. Osim toga, potrebno je odrediti karakteristike korištenja električne energije i topline niskih, srednjih i visokih temperatura (npr. godišnje dijagrame snage, mogućnost korištenja kondenzata, mogućnosti supstitucije jednog energenta drugim i sl.).

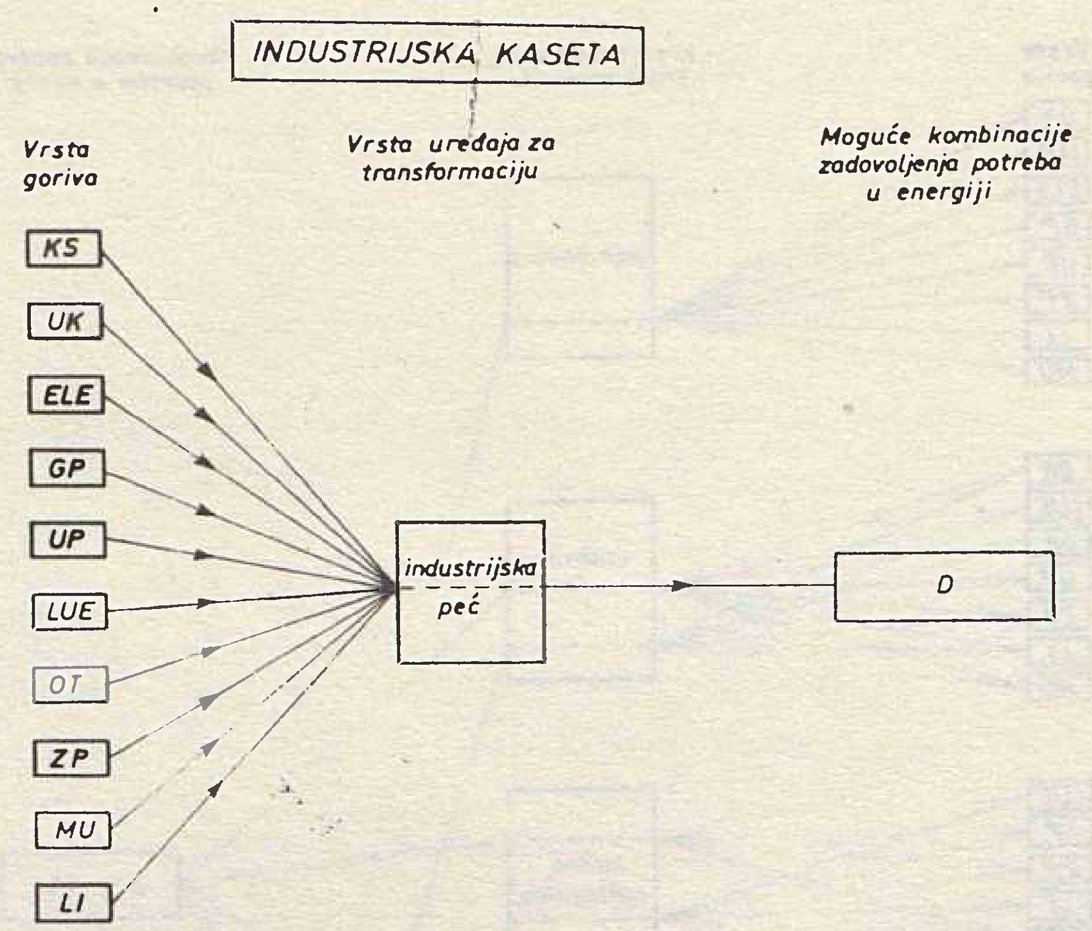
Na žalost, malokad postoji dugoročno sagledavanje razvoja određene industrijske organizacije na temelju kojeg bi se utvrdile energetske potrebe. Raspoloživi podaci najčešće se kreću u okviru srednjoročnih sagledavanja (razdoblje od 5 god.). Navedene poteškoće mogu se prevladati korištenjem šireg fonda raspoloživih podataka, prvenstveno planova privrednog razvoja promatranog urbanog područja, regije, republike ili zemlje u cjelini.

Pošto se odrede potrebe u energiji i snazi u svakoj industrijskoj kaseti, i to posebno za toplinu niskih, srednjih i visokih temperatura te električnu energiju, treba definirati sve mogućnosti za zadovoljavanje promatranih potreba kako sa stajališta tehničkih rješenja, tj. načina energetske opskrbe, tako i sa stajališta oblika energije. Kao što je već rečeno, toplina visokih temperatura osigurava se neposrednim izgaranjem goriva ili korištenjem električne energije, toplina srednjih temperatura vodenom parom, a toplina niskih temperatura vrelom vodom (u najvećem broju slučajeva za ogrjevne potrebe).

Nije rijedak slučaj da se u nekom industrijskom kompleksu pojavljuju potrebe u toplini svih temperaturnih nivoa. Kako se uvijek bez poteškoća može osigurati toplina nižih temperaturnih nivoa od višeg temperaturnog nivoa, neovisno o tome kakvo se postrojenje za transformaciju energije goriva u toplinu koristi, nužno je u modelu predvidjeti mogućnost »kombinirane« upotrebe postrojenja za transformaciju i uređaja za prijenos i distribuciju energije.

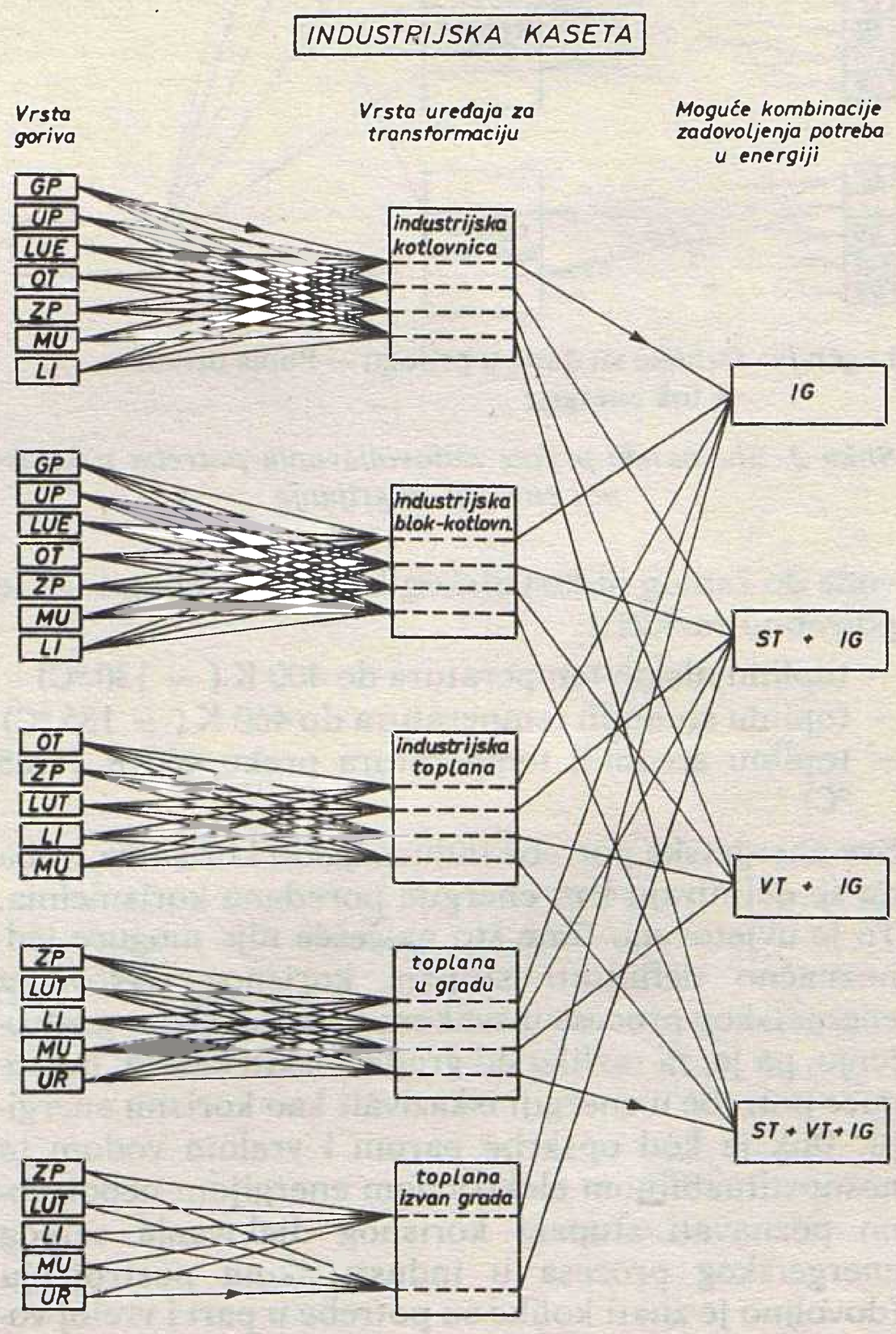
Shematski prikaz svih mogućnosti zadovoljavanja energetskih potreba korisnika u industrijskoj kaseti dan je na slikama 5, 6, 7. i 8.

Naročito je značajno imati pred očima situacije kad industrijski korisnik za zadovoljavanje energetske potrebe traži točno određen oblik energije, koji nije moguće supstituirati drugim oblicima ili ga je moguće supstituirati samo određenim oblicima energije. Tako za pojedine tehnološke peći treba osigurati koks, prirodni ili ukapljeni plin, ili pak električnu energiju.



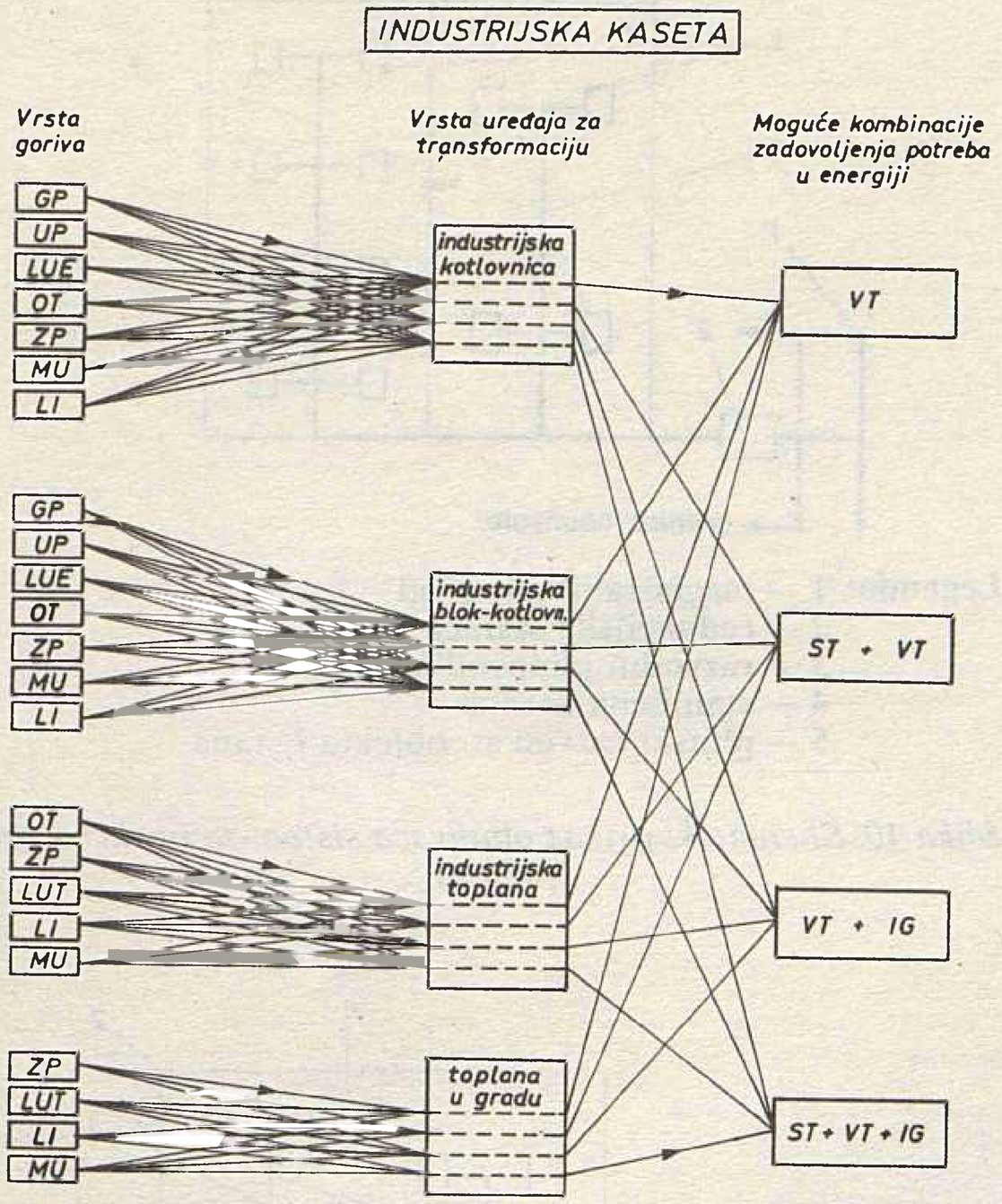
Legenda: Oznake su dane u prilogu — Popis oznaka.
→ tok energije

Slika 5. Shematski prikaz mogućnosti zadovoljavanja potreba u toplini visokih temperatura



Legenda: Oznake su dane u prilogu — Popis oznaka.
→ tok energije

Slika 6. Shematski prikaz zadovoljavanja potreba u pari temperature do 460 K



Legenda: Oznake su dane u prilogu — popis oznaka.
→ tok energije

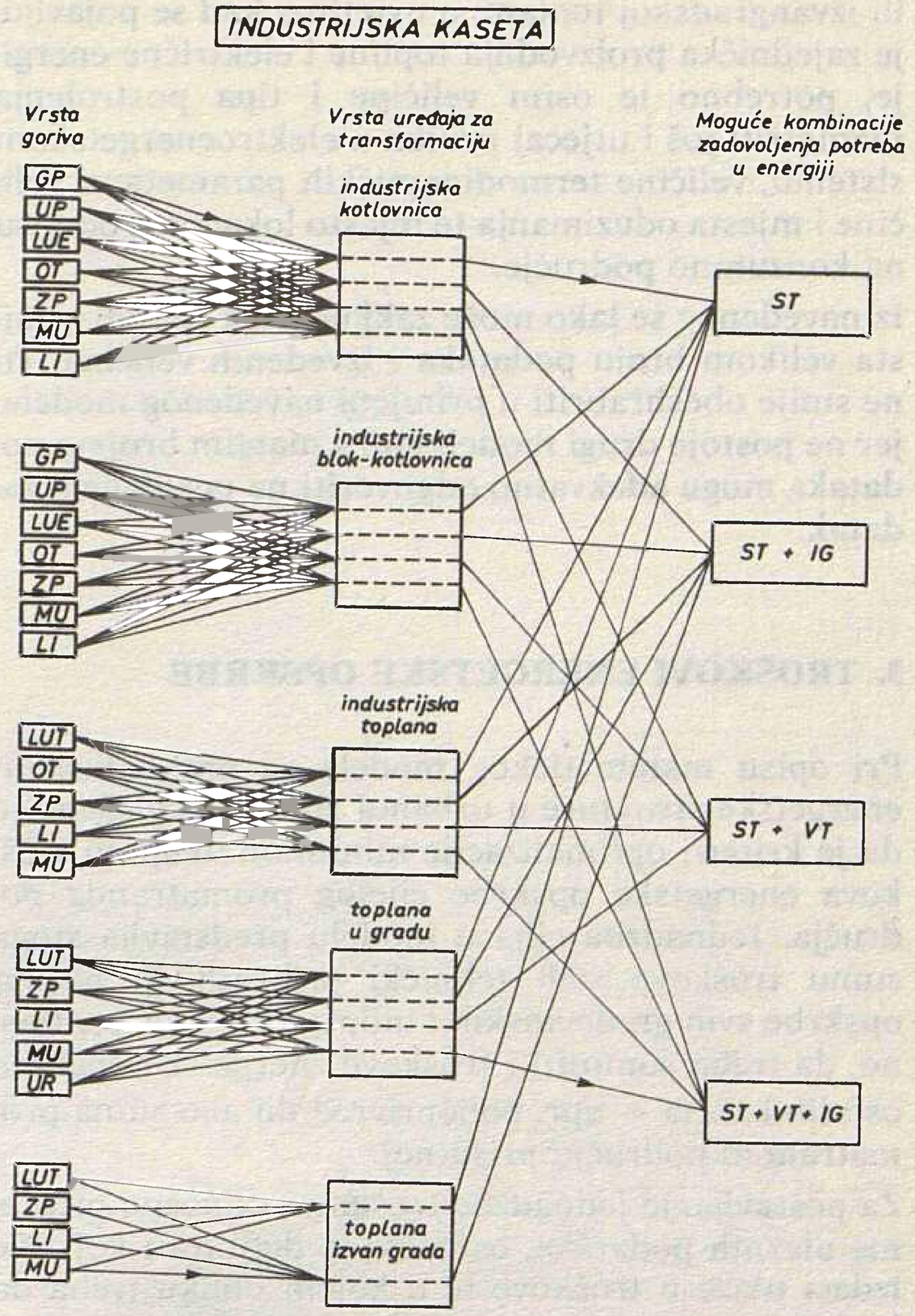
Slika 7. Shematski prikaz zadovoljavanja potreba u pari temperature preko 460 K

U uvjetima kad nema posebnih zahtjeva kao gorivo se javlja ugljen, gradski, prirodni i ukapljeni plin, ekstralako i teško loživo ulje te industrijski gorivi nusprodukti tehnološkog procesa. U slučaju opskrbe industrije iz centraliziranog toplinskog sistema može se za zadovoljavanje ogrjevne topline pojaviti i uran.

3.3. Promet, poljoprivreda, šumarstvo, mobilni strojevi u građevinarstvu te javna rasvjeta

Metodološki pristup određivanja strukture energetskih oblika za zadovoljavanje potreba mobilnih strojeva u prometu, poljoprivredi, šumarstvu i građevinarstvu razlikuje se od onog koji se koristi kod građevinskih i industrijskih kaseta. Naime, struktura oblika energije za navedene namjene definirana je izravno potrebama motora tih mobilnih strojeva. Utvrđivanje razvoja energetskih potreba svodi se stoga na prognozu rasta ukupne snage svake pojedine vrste strojeva.

Osim energije za mobilne strojeve, u poljoprivredi i šumarstvu se mogu javiti i potrebe u ogrjevnoj toplini te električnoj energiji (različite vrste staklenika za uzgoj poljoprivrednih proizvoda ili sadnica u šumarstvu, zagrijavanje vode ribljaka i slično). U ovakvim slučajevima potrebno je formirati kasete koje obuhvaćaju takva područja i definirati sve tehničke mogućnosti energetske opskrbe.



Legenda: Oznake su dane u prilogu — Popis oznaka.
→ tok energije

Slika 8. Shematski prikaz zadovoljavanja potreba u toplini niskih temperatura

Električna energija za javnu rasvjetu određuje se na nivou građevinskih i industrijskih kaseta.

4. POSTROJENJA ZA ENERGETSKE TRANSFORMACIJE

Utvrđivanje optimalne energetske strukture na urbanom području podrazumijeva i utvrđivanje optimalne strukture postrojenja za transformaciju. Da bi se utvrdila optimalna struktura postrojenja za transformaciju, potrebno je za potrebe matematičkog modela odrediti troškove svakog od promatranih postrojenja te pripadajućih sistema za prijenos i distribuciju energije ovisno o veličini i tipu postrojenja, korištenog oblika energije te karakteristikama transformacije. Tako je npr., kod opskrbe stambenih zgrada iz kućnih kotlovnica, ovisno o veličini zgrade, potrebno uzeti u razmatranje veličine kotlovnica od 0,23 MJ/s do 1,16 MJ/s, kod blokovskih kotlovnica ovisno o veličini područja koje se iz nje opskrbljuje od 1,16 MW/s do više od 250 MJ/s. Pri tome tip postrojenja može imati važnu ulogu, pa je ovaj parametar također nužno uključiti.

Kod toplana bilo da je riječ o industrijskoj, gradskoj ili izvangradskoj toplani, u uvjetima kad se pojavljuje zajednička proizvodnja topline i električne energije, potrebno je osim veličine i tipa postrojenja razmotriti još i utjecaj prilika u elektroenergetskom sistemu, veličine termodinamičkih parametara, veličine i mjesta oduzimanja te mjesto lokacije u odnosu na konzumno područje.

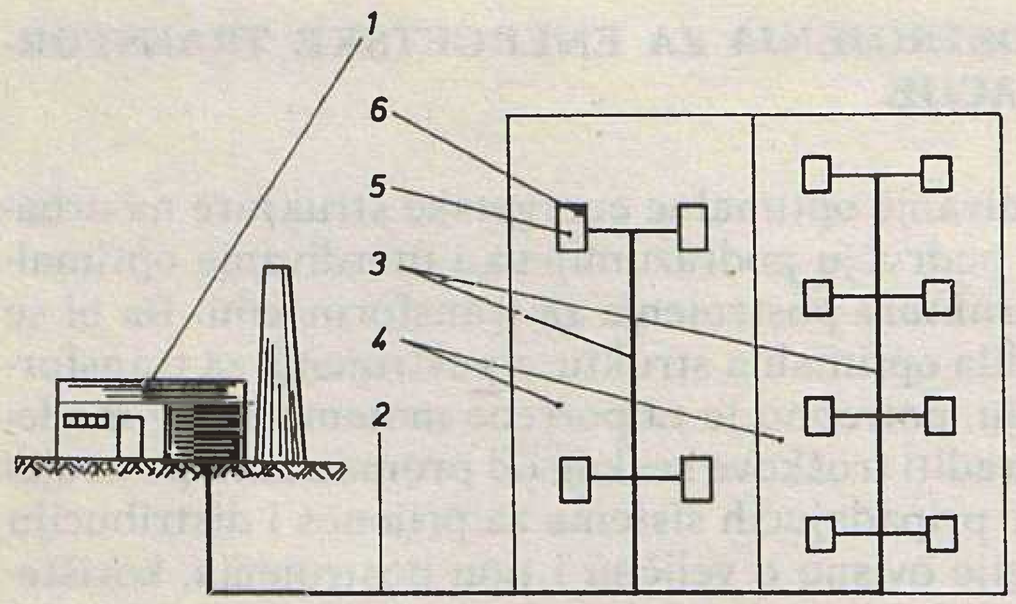
Iz navedenog se lako može zaključiti da se radi o zaista velikom broju podataka i izvedenih veličina. To ne smije obeshrabriti u primjeni navedenog modela, jer ne postoje drugi modeli koji s manjim brojem podataka mogu adekvatno odgovoriti na postavljeni zadatak.

5. TROŠKOVI ENERGETSKE OPSKRBE

Pri opisu matematičkog modela za optimalizaciju energetske strukture u urbanoj sredini naglašeno je da je kriterij optimalizacije minimum ukupnih troškova energetske opskrbe cijelog promatranog područja. Jednadžba cilja u modelu predstavlja stoga sumu troškova svih tehnički prihvatljivih načina opskrbe svih građevinskih i industrijskih kaseta (jasno, da treba sumirati i troškove energetske opskrbe ostalih kaseta — npr. poljoprivrednih ako su na promatranom području prisutne).

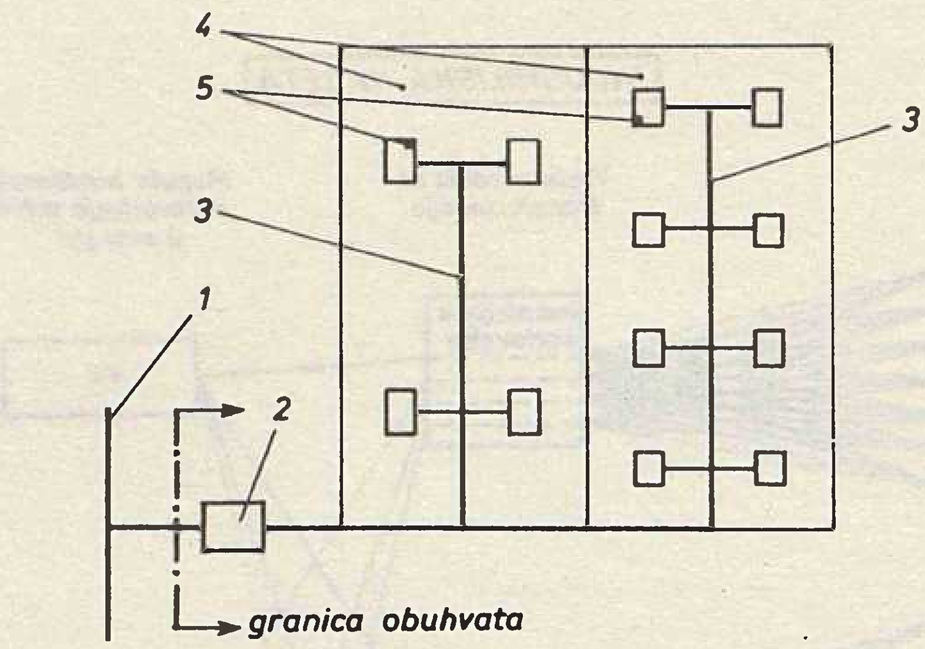
Za postavljanje jednadžbe troškova, odnosno pripreme ulaznih podataka, osnovno je definirati koji sve izdaci ulaze u troškove te u kojem obliku treba da budu iskazani troškovi da bi se mogli uključiti u model.

Da bi se odredilo koje sve izdatke treba uzeti u obzir pri određivanju troškova građevinskih i industrijskih kaseta, potrebno je postaviti takve granice za svaki način opskrbe da su njima obuhvaćeni svi uređaji i postrojenja do uključivo mjesta za predaju energije. Ovo je naročito važno ako se određena kaseta opskrbljuje energijom na način koji uvjetuje prijeno-



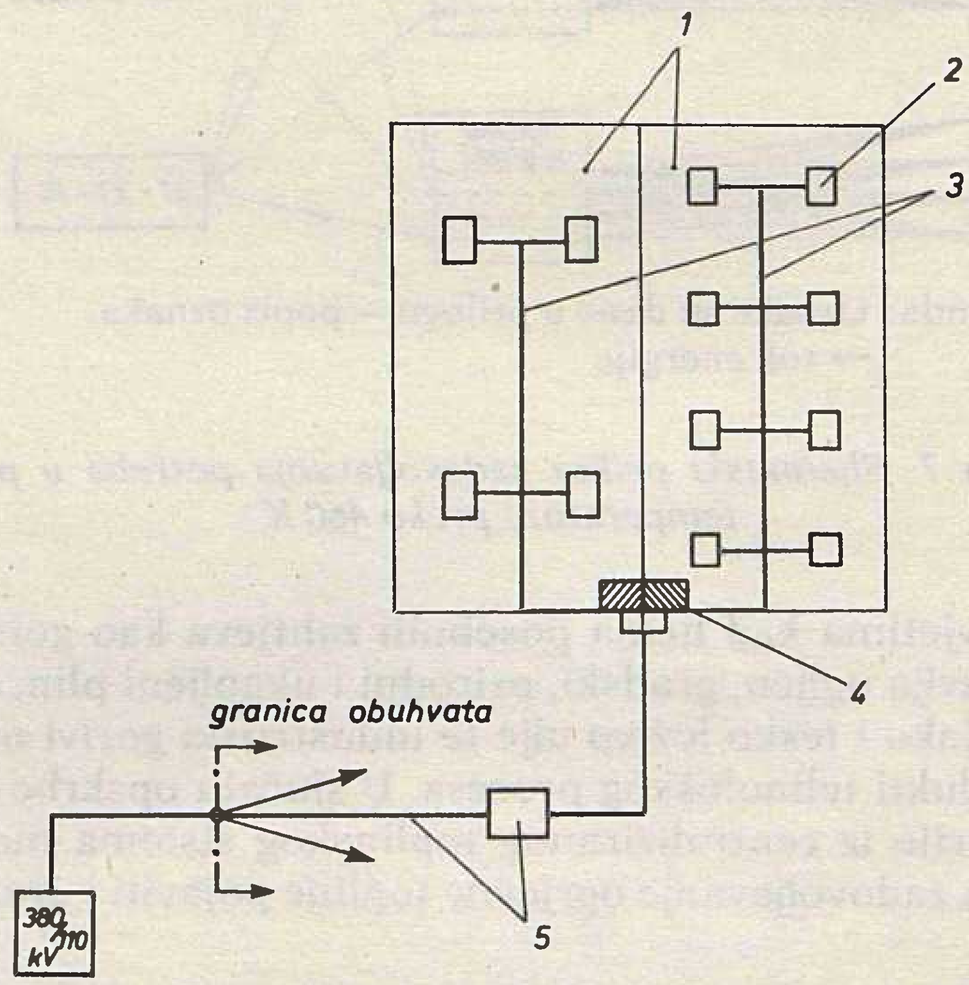
Legenda: 1. izvor (blok-kotlovnica)
2. magistralni vrelovod
3. razvodni vrelovod kazete
4. stambena kazeta
5. stambeni objekat
6. toplinska stanica

Slika 9. Shematski prikaz obuhvaća energetske opskrbe iz centraliziranoga toplinskog sistema



Legenda: 1 — magistralni plinovod
2 — redukcijska stanica
3 — razvodni plinovod kasete
4 — stambena kaseta
5 — plinski razvod st. objekta i stana

Slika 10. Shematski prikaz obuhvaća sistem za opskrbu pr. plinom



Leganda: 1. stambena kazeta
2. stambeni objekt
3. niskonaponska električna mreža kazete
4. transformatorska stanica
5. oprema 110kV

Slika 11. Shematski prikaz obuhvaća sistem za opskrbu el. energijom

sni i/ili distributivni sistem, kao što je slučaj pri opskrbi prirodnim ili gradskim plinom, električnom energijom te pri opskrbi iz centraliziranog (centralizacija na nivou grada ili nekoliko kaseta) vrelovodnog ili parnog sistema (granice sistema za navedene energetske opskrbe prikazane su na slikama 9, 10 i 11). Kod ostalih načina energetske opskrbe ne bi trebalo da bude dvojbe jer troškovi obuhvaćaju sve izdatke na području promatrane kasete.

Unutar tako definiranih granica potrebno je za svaku građevinsku i industrijsku kasetu utvrditi sljedeće karakteristike određenog načina, odnosno sistema, energetske opskrbe:

a) investicijske troškove,
b) cijenu energetskog oblika koji se koristi,
c) stupanj korisnog djelovanja postrojenja za transformaciju,
d) gubitke u distributivnom (u kaseti) i razvodnom (u zgradi) sistemu,
e) godišnje troškove pogonskog osoblja,
f) godišnje troškove održavanja promatranog sistema energetske opskrbe,
g) godišnje troškove električne energije za pogon postrojenja za transformaciju te distribuciju i razvod.

Pri određivanju investicijskih troškova nužno je obuhvatiti sve investicijske izdatke unutar granica sistema. Na primjer promatra li se opskrba građevinskih kaseta energijom za grijanje, potrebno je kod korištenja pojedinačnih peći pored investicija za same peći uključiti investicije za dimnjake, prostor koji zauzimaju peći u stanu, skladišni prostor za gorivo, dodatnu izolaciju između stanova (ako je u objektu više od jednog stana) itd. Kod etažnog grijanja plinom investicijski troškovi uključuju troškove za kotao, vrelovodnu instalaciju s armaturom i ogrjevnim tijelima, plinsku instalaciju unutar stana s mjernim satom, razvodnu plinsku mrežu u zgradi, distributivnu plinsku mrežu unutar kasete s redukcijskom stanicom te dodatnu izolaciju između stanova. Kod grijanja iz centraliziranog vrelovodnog sistema na razini kasete (blokovska kotlovnica) investicijski troškovi uključuju izdatke za postrojenje za transformaciju sa svim potrebnim uređajima (kotao, uređaj za ložење, kemijska priprema vode, cjevovodi, dimnjak itd.), vrelovodnu mrežu unutar stambene kasete s armaturom i revizijskim oknima, toplinsku stanicu u stambenom objektu, vrelovodnu instalaciju u stambenom objektu, vrelovodnu instalaciju u stanu s ogrjevnim tijelima te jedan dimnjak po stanu.

Investicijski troškovi, s obzirom na izdatak koji se daje u trenutku nabave pojedinog sistema, različiti su, ovisno o načinu energetske opskrbe. Da bi se svi sistemi mogli međusobno uspoređivati, nužno je utvrditi jedinstveno vrijeme promatranja. Na taj način investicijski troškovi svih sistema svode se na isti nazivnik. Tako je vijek trajanja pojedinačne peći ložene ugljenom različit od one ložene plinom ili pak u odnosu na kotao u kućnoj ili blokovskoj kotlovnici. Tako se može dogoditi da je kod jednog sistema grijanja početna investicija znatno veća nego kod drugog sistema, ali se kod tog drugog sistema dio ili cjelokupna investicija mora dva ili tri puta obnoviti za vrijeme trajanja prve investicije.

Slično tome, cijena energetskog oblika koji se koristi za transformaciju, stupanj korisnog djelovanja postrojenja za transformaciju, gubici distribucije i razvoda, troškovi pogonskog osoblja, troškovi održavanja te troškovi električne energije za pogon postojenja za transformaciju uvjetuju različite promjenjive troškove.

Promatraju li se investicijski i promjenjivi troškovi zajedno, javljaju se znatne razlike kako u strukturi, tako i u dinamici izdataka između pojedinih sistema energetske opskrbe. Da bi se tako različite sisteme opskrbe (kao što je npr. opskrba ogrjevnom toplinom iz pojedinačne peći ložene ugljenom i opskrba ogrjevnom toplinom iz nuklearne toplane) bilo moguće uspoređivati, pogodno je sve troškove izraziti kao ekvivalentni godišnji trošak. U ekonomskoj literaturi, koja tretira problematiku donošenja investicijskih odluka, predlaže se da se u tu svrhu koristi tzv. metoda anuiteta (L 1). Ekvivalentni godišnji troškovi nekog sistema energetske opskrbe svedeni na sadašnji trenutak mogu se, prema toj metodi, odrediti na osnovi sljedećeg izraza:

$$EGT = \sum_{i=1}^{b} \left\{ I_i \left[\frac{N - c_i n_i}{n_i (1 + r)^{c_i n_i}} + \sum_{j=\phi}^{c_i - 1} \frac{1}{(1 + r)^{j n_i}} \right] \frac{(r + 1)^N \cdot r}{(r + 1)^N - 1} \right\} + GT \qquad (1)$$

(drugi član u uglatoj zagradi treba izjednačiti s nulom za vrijednosti $c_i < 1$)

U gornjem izrazu su:

I_i	/din/	investicijski izdatak za i–tu investiciju
b		— ukupni broj investicijskih izdataka u određenom sistemu energetske opskrbe
N	/god/	— vrijeme promatranja
n_i	/god/	— vijek trajanja i–te investicije
c_i		— broj obnavljanja i–te investicije u toku vremena promatranja (ako se u toku promatranja i–tu investiciju ulaže samo jednom, broj obnavljanja je nula)
r (=k/100)		— kamatna stopa
GT	/din/	— ukupni godišnji promjenjivi troškovi promatranog sistema energetske opskrbe.

U promjenjive godišnje troškove (GT) uključeni su troškovi goriva (GT_G), troškovi održavanja (GT_{OD}), troškovi pogonskog osoblja (GT_O) i troškovi električne energije (GT_E).

Pošto je u gornjim stavcima opisano koji sve izdaci ulaze u troškove, potrebno je odgovoriti na pitanje u kojem obliku treba da budu iskazani troškovi da bi se mogli uključiti u model. Zbog razlike u metodološkom pristupu odgovor na ovo pitanje nije identičan za građevinske i industrijske kasete.

5.1. Iskazivanje troškova građevinske kasete

Područje urbane sredine potrebno je, najčešće, podijeliti na velik broj građevinskih kaseta, homogenih u pogledu energetskih karakteristika. Određivanje troškova svih načina energetske opskrbe posebno za svaku realnu građevinsku kasetu teško da bi imalo smisla. Potrebno je stoga troškove promatrati na tzv. uvjetnoj građevinskoj kaseti i zatim ih preslikavati na realnu građevinsku kasetu. Razumljivo da uv-

jetna građevinska kaseta treba da obuhvati sve moguće varijante opskrbe koje se realno mogu pojaviti u urbanoj sredini te da uvjetna građevinska kaseta, čiji se troškovi preslikavaju na realnu građevinsku kasetu, treba da ima identične energetske karakteristike kao i ta realna građevinska kaseta.

Dok kod pojedinačne energetske opskrbe (npr. grijanje pojedinačnim pećima na kruto gorivo) te centralizirane do razine jednog stambenog objekta (npr. grijanje i priprema potrošne tople vode u kućnoj kotlovnici na loživo ulje) međusobni razmještaj objekata na građevinskoj kaseti, njihova međusobna udaljenost i veličina, odnosno koncentracija na jedinici promatrane površine nemaju utjecaja na troškove energetske opskrbe, kod onih načina energetske opskrbe koji uvjetuju distributivnu mrežu ove karakteristike na troškove znatno utječu.

Da bi se utvrdio utjecaj gustoće energetskog konzuma i strukture objekata (s obzirom na njihovu veličinu i razmještaj u kaseti) na troškove energetske opskrbe, usvojena je uvjetna građevinska kaseta veličine 0,05 km², dimenzija 160 × 315 m. Troškovi za svaki način energetske opskrbe uvjetne građevinske kasete određuju se za slučajeve da su na njoj smještena 4, 8, 16, 32 i 64 objekta, s tim da se za svaki od ovih slučajeva varira veličina objekata, tj. priključna snaga objekata. Budući da je u određenoj stambenoj kaseti odnos između snage potrebne za grijanje, kuhanje, pripremu tople vode i električnu energiju konstantan, moguće je za svaki broj objekata na uvjetnoj kaseti izraziti (u obliku dijagrama ili matrice) specifične ekvivalentne godišnje troškove energetske opskrbe u funkciji gustoće ogrjevnog konzuma te kasete (tj. ukupne snage za grijanje te kasete podijeljene s njenom površinom). Treba pojasniti da se pod specifičnim ekvivalentnim godišnjim troškovima podrazumijevaju ekvivalentni godišnji troškovi svedeni na m² neto grijane površine stana (u svim analizama promatra uvjetna stambena jedinica neto grijane površine od 60 m²). Troškove treba izraziti u ovoj formi jer je matematički model prilagođen tome da se u jednadžbi troškova konstante izražavaju kao specifični ekvivalentni troškovi po m² neto grijane površine.

Specifični ekvivalentni godišnji troškovi uvjetne kasete preslikavaju se na stvarnu građevinsku kasetu na sljedeći način. Za stvarnu građevinsku kasetu potrebno je odrediti gustoću ogrjevnog konzuma te pripadajući broj objekata uvjetne građevinske kasete (određuje se množenjem omjera površina uvjetne i stvarne kasete s brojem objekata u stvarnoj građevinskoj kaseti). Na osnovi gustoće ogrjevnog konzuma stvarne kasete (ova gustoća je jednaka gustoći komforne uvjetne kasete) i broja objekata u uvjetnoj kaseti određuju se, očitanjem iz odgovarajućeg dijagrama (ili matrice), ekvivalentni godišnji troškovi svedeni na m² neto grijane površine. Ako energetske karakteristike realne građevinske kasete nisu potpuno identične s karakteristikama uvjetne kasete, uzimaju se ove razlike u obzir veoma jednostavno, uvođenjem korekcionih koeficijenata.

Nije rijedak slučaj da se pojedini sistemi energetske opskrbe žele uspoređivati na način da se potrebne korisne energije ne izjednače.

Takav pristup očito ne daje pravu sliku o vrijednosti pojedinog sistema, jer je uspoređivanje različitih sistema, ne uzimajući pri tome u obzir jednakost komfora, apsurdno. No sigurno je da neki sistemi energetske opskrbe pružaju veće mogućnosti regulacije privođenja energije. Tako konačni korisnik ovisno o mogućnosti ili, bolje reći, spremnosti izdvajanja iz svog osobnog dohotka može kod sistema plinske opskrbe birati standard grijanja, dok npr. korisnik u sistemu centralizirane opskrbe vrelom vodom to ne može (jer mu je nametnut standard). Takve razlike koje proistječu iz koncepcije sistema mogu se također uključiti u model korištenjem određenih koeficijenata u jednadžbama potreba i jednadžbi troškova.

Za slučaj promatranja kombiniranih sistema (opskrba ogrjevnom toplinom (G) + potrošna topla voda (TV) ili G + TV + kuhanje), koji se u urbanoj sredini najčešće javljaju, potrebno je na opisani način utvrditi za svaku kombinaciju specifične ekvivalentne godišnje troškove. Pri tome je nužno cjelokupno razmatranje provesti također u ovisnosti toplinske gustoće grijanja i broja objekata u kaseti.

5.2. Iskazivanje troškova industrijske kasete

Uniformnost u pogledu korištenja energije u građevinskim kasetama omogućila je uvođenje uvjetne kasete. Na taj se način specifični ekvivalentni godišnji troškovi određenog načina opskrbe svake stvarne kasete mogu očitati iz dijagrama (ili matrice) specifičnih ekvivalentnih godišnjih troškova pridružene uvjetne kasete u funkciji toplinske gustoće. Takav postupak nije moguće koristiti za određivanje troškova energetske opskrbe industrijskih kaseta, jer svaka industrijska kaseta, ovisno o zastupljenosti pojedine industrijske grane u njoj (ili bolje rečeno pojedinog tehnološkog procesa), ima različite energetske karakteristike. Prvenstveno se to odnosi na razlike u odnosu maksimalne snage i godišnje potrebne energije (treba imati pred očima da snaga određuje investicijske troškove, a energija troškove goriva i električne energije za pogon) te na razlike u strukturi potreba između industrijskih kaseta.

Zbog navedenoga troškovi energetske opskrbe industrijskih kaseta zasnivaju se na utvrđivanju troškova pojedinih načina opskrbe posebice za svaku kasetu. No, iako se svi troškovi energetske opskrbe realne kasete ne mogu poistovjetiti s troškovima nekakve uvjetne, homogene kasete, ipak je uvođenjem pojma industrijske uvjetne kasete moguće znatno pojednostavniti račun ekvivalentnih godišnjih troškova. To se prvenstveno odnosi na proračun troškova energetskih mreža, opskrbu vrelom vodom i parom iz blokovskih kotlovnica itd.

Analizom površina i karakteristika (prvenstveno broja objekata) industrijskih kaseta u Zagrebu zaključe-

UDK 621.31 ENJAAC 32 (1–6) 1–540 (1983) YU ISSN 0013–7448

ENERGIJA

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

SADRŽAJ »ENERGIJE U 1983. GODINI

Studije i istraživanja

Baldasari, D.: Planiranje globalnog rasta distributivne električne mreže s obzirom na prognoziranu potrošnju električne energije 449 6

Bilčar, N.: Potrebe, raspoloživi izvori i aktualni problemi opskrbe energijom u Jugoslaviji 417 6

Bobetko, M.: Modeliranje vanjskih mreža »ON-LINE« obrade dispečerskog centra 359 5

Černohous, F: Toplinsko energetski sistem 23 1

Čorak, D.: Opskrba Zagreba ogrjevnom toplinom iz NE Prevlaka 339 5

Čorak, D.: Stanje i perspektive razvoja energetske opskrbe Zagreba 459 6

Ćurković, J.: Radiološki utjecaj na okolinu zbog ispuštanja plinovitih enfluenata u akcidentalnim situacijama NE 89 2

Delbianco, L.: Prelazak razdjelne mreže »Elektroistre« Pula na uzemljenje zvjezdišta preko djelatnog otpora niske vrijednosti 179 3

Delbianco, L.: Uzemljivači TS 10/20/0,4 kV u uvjetima otpornog uzemljenja zvjezdišta 271 4

Delbianco, L.: Metode proračuna uzemljivača razdjelnih mreža 351 5

Dvornik, V.: Izgradnja kabelskih mreža 10 kV u modernim gradskim aglomeracijama srednje Dalmacije 167 3

Filipović, B.– Žutobradić, S.– Kostadinović, D.: Model za analizu dinamičkih karakteristika distantnih releja 11 1

Granić, G.: Potrošnja električne energije u SRH do 1990. godine 55 1

Granić, G.: Potrošnja električne energije u SRH od 1991-2000. godine 103 2

Granić, G. — Zeljko, M.: Karakteristike krivulje trajanja opterećenja u elektroenergetskom sistemu SRH u razdoblju 1975-1981. . . . . 259 4

Granić, G.– Pešut, D.: Metoda predviđanja krivulje trajanja opterećenja 363 5

Hatić, Đ.– Šimundić, N.: Izbor najpovoljnijeg vodoprivrednog rješenja i energetskog iskorištavanja Mure na dionici od Gibine do ušća 459 6

Jakšić, P.: Trogodišnje iskustvo u korištenju računala DPP-11/70 . . . . . 521 6

Kavur, V.– Baranović, N.: Raspodjela zadataka i faze podataka između centralne i periferne stanice u sistemu daljinskog vođenja 107 2

Lakota, J.: Prilog upoznavanju potencijalnih partnera za realizaciju budućih NE (dio III) 3 1

Malbaša, N.: Utjecaj NE na okolinu 479 6

Nevečerel, D.: Proračun kratkog spoja na digitalnom elektroničkom računalu 79 2

Piperski, D.: Automatsko upravljanje elektromotornim pogonima u savremenim termoelektranama 191 3

Potočnik, V.: Gradski otpaci — potencijalno gorivo iz toplane 175 3

Radmilović, B.– Tonković, Z.: Poremećaji u proizvodnji električne energije i problemi prijenosa na zagrebačkom području 19 1

Schenner, R.: Analiza konzuma u distribuciji 445 6

Sekso, A.– Hrs, I.: Prenaponi sklapanja na sjevernoj magistrali mreže 400 kV 511 6

Tonković, Z.: Jedna perspektiva jugoslavenske superponirane mreže 504 6

Tropin, K. A.: Analiza snabdevanja industrijskih preduzeća električnom energijom u posebnim uslovima 291 4

Tropin, K. A.: Električno grejanje suvremenih zgrada 373 5

Udovičić, B.: Mogućnosti i potrebe optimalne izgradnje elektrana u elektroenergetskom sustavu Hrvatske do 2.000. godine 437 6

Pogonska problematika

Begović, K.: Osnovna tehnička koncepcija pumpne hidroelektrane Vinodol 113 2

Bilić, S: Univerzalna rješenja stupova u okviru tipizacije srednjonaponskih stupova 35 1

Herr, S.: Pregrijačka klopka 47 1

Nikolić, Ž.: Vođenje bloka TE Sisak pri proširenju radnog opsega kotla 283 4

Ringwald, Z.: Reduciranje isporuke električne energije elektrolizi aluminija sa stajališta racionalnog korištenja energije 391 5

Vijesti iz elektroprivrede

Božin, I.: 30. godišnjica Instituta za elektroprivredu 415 6

Milanović, Z.: 75 godina rada i razvoja »Elektrane-Toplane« Zagreb 129 2

Radovi Instituta za elektroprivredu u 1982. godini . 299 4

Šimurina, I.: Statistički pregled elektroprivrede SR Hrvatske 221 3

no je da raspon kvocijenta »broj objekata/km² površine usvojene uvjetne građevinske kasete« za red veličine nadmašuje raspon kvocijenata za stvarne industrijske kasete (za uvjetne građevinske kasete taj kvocijent je 40 — 1280, a za industrijske 4 — 64). Nužno je zato odrediti neku veću, takvu industrijsku uvjetnu kasetu da broj objekata po km² površine bude između 4 i 64 (u protivnom, svođenjem stvarne industrijske kasete na uvjetnu dobila bi se uvjetna kaseta s veoma malim brojem objekata, najčešće i manjim od 1, pa bi takav postupak trebalo odbaciti). Usvaja se stoga uvjetna industrijska kaseta pravokutnog oblika, površine 0,5 km², dimenzija 595 × 841 m. Broj objekata na toj uvjetnoj kaseti varira se te se posebno promatra sa 2, 4, 8, 16 i 32 objekta.

Za uvjetnu industrijsku kasetu određuju se ekvivalentni godišnji investicijski troškovi distributivne mreže (plinske, vrelovodne, parne, električne) sa svom opremom te svi ostali ekvivalentni godišnji investicijski troškovi zajednički za sve korisnike u toj kaseti (npr. troškovi za redukcijsku stanicu ili blokovsku kotlovnicu itd.) u funkciji toplinske gustoće tj. MJ s^{-1} po km² površine kasete. Pri tome ekvivalentne godišnje investicijske troškove treba izraziti u dinarima po J s^{-1}.

Za razliku od građevinskih kaseta, gdje se ekvivalentni godišnji godišnji troškovi svode na m² neto grijane površine, kod industrijskih kaseta ekvivalentne godišnje troškove određenog načina energetske opskrbe treba izraziti po jedinici predane energije u toku godine (d/GJ).

Budući da jedni i drugi troškovi ulaze u jednadžbu troškova (funkcija cilja), nužno je da su istih dimenzija, što se postiže korištenjem pretvorbenih koeficijenata (pa su ukupni troškovi energetske opskrbe urbane sredine izraženi u d/god.).

Pri određivanju specifičnih ekvivalentnih godišnjih troškova energetske opskrbe određene realne industrijske kasete treba razlikovati način energetske opskrbe koji uvjetuje postojanje distributivnog sistema u kaseti od onog kada takvog sistema nema. Ako kod određenog načina energetske opskrbe nema distributivne mreže, potrebno je na promatranoj realnoj industrijskoj kaseti utvrditi sve troškove koji se pojavljuju i odrediti ukupne ekvivalentne godišnje troškove po jedinici predane energije. Ako distributivna energetska mreža postoji (npr. opskrba prirodnim plinom ili parom iz blokovske kotlovnice), onda se na osnovi dijagrama (ili matrice) ekvivalentnih godišnjih investicijskih troškova uvjetne industrijske kasete odrede zajednički ekvivalentni investicijski godišnji troškovi za cijelu kasetu (stvarna kaseta preslikava se na uvjetnu na osnovi toplinske gustoće (MJ s^{-} km^{-2}) i kvocijenta broja objekata u kaseti i površine kasete — te dvije značajke treba da budu jednake u obje kasete). Osim toga, potrebno je utvrditi sve ostale izdatke u stvarnoj kaseti, odrediti ekvivalentne godišnje troškove, te ukupne ekvivalentne godišnje troškove kasete izraziti po jedinici predane energije.

Za slučaj promatranja tzv. kombiniranih sistema opskrbe (npr. opskrba prirodnim plinom za toplinu visokih temperatura i za izgaranje u industrijskim kotlovnicama za proizvodnju pare, ili npr. opskrba parom iz blokovske kotlovnice, jedan dio koje se koristi u tehnološkom procesu, a drugi za proizvodnju vrele vode upotrebom izmjenjivača topline kod industrijskog korisnika), potrebno je posebno za svaku kombinaciju opskrbe odrediti ekvivalentne godišnje troškove svedene na jedinicu energije predane korisniku u toku godine (troškovi se utvrđuju već opisanim postupkom).

6. OGRANIČENJA

Optimalizacija energetske strukture se u uvjetima kad nema ograničenja praktički može utvrditi korištenjem ekvivalentnih godišnjih troškova, i bez korištenja matematičkog modela. Međutim, teško bi bilo naći takvu situaciju kod koje se neće pojaviti jedan od sljedećih oblika ograničenja:

— donja granica korištenja pojedinog oblika energije
— gornja granica korištenja pojedinog oblika energije
— ograničenje onečišćenja okoliša.

6.1. Donja granica korištenja pojedinog oblika energije

Ovaj oblik ograničenja javlja se zbog postojećeg stanja izgrađenosti energetske infrastrukture. Tako se npr. u područjima grada gdje postoji izgrađena plinska i vrelovodna mreža treba zadržati ista opskrba i u budućnosti. Slična je situacija i u industriji kad je za odvijanje tehnološkog postupka potrebno osigurati upravo određenu vrstu goriva ili pak ako se raspolaže gorivim industrijskim nusproizvodima koji se ne koriste u tehnologiji pa treba da se iskoriste u energetske svrhe.

6.2. Gornja granica korištenja pojedinog oblika energije

Ovaj oblik ograničenja uvijek je »vjerni pratilac« optimalizacije energetske strukture u urbanim sredinama. Prisutan je zbog nemogućnosti osiguranja potrebnih količina pojedinog oblika energije za opskrbu promatrane urbane sredine. Ograničenje se može odnositi kako na energiju koju je moguće osigurati u toku godine, tako i na snagu (npr. ograničenje snage u mreži plinskog sistema).

6.3. Ograničenje onečišćenja zraka

Teškoće koje se javljaju zbog sve većeg onečišćenja okoliša poprimaju opće društveni karakter, naročito u industrijsko-urbanim područjima, pa je nedopusti-

vo zaobići barem minimalne (ili tolerantne) zahtjeve za očuvanje čistoće atmosfere.

Za definirane fizičke karakteristike izvora onečišćenja zraka, uz pripadne klimatske i geografske uvjete, veza između energetske strukture na području urbane sredine i onečišćenja zraka je jednoznačna, tj. svakoj energetskoj strukturi odgovara određeno onečišćenje zraka.

Zagađenje (imisija) je u linearnoj ovisnosti od emisije štetnih tvari u atmosferu (Gauss-ov izraz »dimne perjanice«), a ukupna prizemna koncentracija izračunava se superponiranjem doprinosa pojedinih izvora onečišćenja zraka. Dakle, moguće je za svaki izvor, bilo površinski, bilo točkasti, utvrditi koeficijent imisije:

$$K_i = \frac{\chi_{i,R}}{E_i} K_e \quad \text{god.} \cdot m^{-3} \qquad (2)$$

$\chi_{i,R}$/mg · m^{-3}/ — doprinos i–tog izvora srednjoj koncentraciji štetnih tvari na mjestu opažanja R

E_i /mg · god^{-1}/ — emisija i–tog izvora

K_e /mg · kg^{-1}/ — koeficijent emisije

Vrijednost $\chi_{i,R}$ izračunava se modelom CDMQ /L 2/ za proizvoljan broj izvora i receptorskih mjesta. Koeficijent emisije (koeficijent emisije ložišta) jest funkcija vrste goriva, vrste i veličine uređaja za energetsku transformaciju, djelovanja prečistača itd.

Ograničenje onečišćenja zraka moguće je u modelu za optimalizaciju energetske strukture uvesti za svaku kasetu posebno (nejednadžbom ograničenja). Drugim riječima, moguće je kontrolirati onečišćenje zraka u bilo kojoj točki unutar definiranog gradskog područja, istovremeno za više štetnih tvari. Poznato je, međutim, da su varijacije srednjih koncentracija relativno male promjenom položaja receptora, tako da diskretne vrijednosti koncentracija štetnih tvari u nekoliko desetaka točaka unutar grada dovoljno dobro reprezentiraju stanje onečišćenja čitavog urbanog područja. Štoviše, naročitu pažnju treba posvetiti kritičnim točkama (najugroženijim dijelovima grada) te dijelovima grada s posebnim zahtjevima kao što su bolnice, rekreacione zone itd. Postavi li se ograničenje onečišćenja zraka u tim točkama, razumljivo je da će i u ostalim, manje ugroženim gradskim područjima doći do smanjenja imisije štetnih tvari.

PRILOG: MATEMATIČKI MODEL ZA OPTIMALIZACIJU ENERGETSKE OPSKRBE URBANIH SREDINA

POPIS OZNAKA

BK — blok kotlovnica
D — toplina visokih temperatura
DKS — donje ograničenje količine koksa, kg/god.
DLI — donje ograničenje količine lignita, kg/god.
DLUE — donje ograničenje količine ekstra lakog lož ulja, kg/god.
DLUT — donje ograničenje količine teškog lož ulja, kg/god.
DMU — donje ograničenje količine mrkog ugljena, kg/god.
DNGO — donje ograničenje snage gradskog plina, MW
DNST — toplinska snaga cjevovoda kojim se opskrbljuju korisnici u ogrjevnoj toplini i tehnološkoj pari srednje temp., MW
DNUP — donje ograničenje snage ukapljenog plina, MW
DNVT — toplinska snaga cjevovoda kojim se opskrbljuju korisnici u ogrjevnoj toplini, tehnološkoj pari visoke i srednje temp., MW
DNZP — donje ograničenje snage prirodnog plina, MW
DOT — donje ograničenje količine gorivog industrijskog otpada, kg/god.
DR — drvo, pm/god
DUK — donje ograničenje količine kamenog ugljena, kg/god.
DUP — donje ograničenje količine ukapljenog plina, kg/god.
E — etažno
EGT — ekvivalentni godišnji troškovi
EL — stvarna potrebna električna energija, MJ/god.
ELE — električna energija, MJ/god.
EM — emisija štetnih tvari iz ložišta, mg/god.
G — grijanje
GP — gradski plin, Nm^3/god.
HU — donja ogrjevna vrijednost goriva, MJ/god, MJ/Nm^3, MJ/pm
I — industrija
IBK — industrijska blok kotlovnica
IG — vrela voda za grijanje u industriji
IK — industrijska kotlovnica
IN — broj industrijskih kaseta
IPE — industrijska peć
IV — broj varijabli za jednu industrijsku kasetu
J — indeks industrijskog postrojenja unutar industrijske kasete
K — kaseta
KK — kućna kotlovnica
KOMB — indeks moguće kombinacije zadovoljenja potreba u energiji
KS — koks, kg/kog.
KU — kameni ugljen, kg/god.
LI — lignit, kg/god.
LUE — ekstralako loživo ulje, kg/god.
LUT — teško loživo ulje, kg/god.
MU — mrki ugljen, kg/god.
N — broj kaseta opće potrošnje (građevinskih)
NGP — gornje ograničenje snage gradskog plina, MW
NSEK — nesupstituirana električna energija, MJ/god.
NUP — gornje ograničenje snage ukapljenog plina, MW
NZP — gornje ograničenje snage prirodnog plina, MW
OP — opća potrošnja
OT — industrijski gorivi otpad, kg/god.
P — pojedinačno

PV — potrošna topla voda
QD — potrebna toplina visokih temperatura, MJ/god.
QEL — potrebna električna energija, MJ/god.
QG — potrebna korisna energija za grijanje, MJ/god.
QIG — potrebna energija u vreloj vodi za industriju, MJ/god.
QKU — potrebna korisna energija za kuhanje, MJ/god.
QPS — potrebna energija pare srednje temperature na pragu nuklearne toplane, MJ/god.
QPV — potrebna energija pare i vrele vode na pragu nuklearne toplane, MJ/god.
QVV — potrebna energija vrele vode na pragu nuklearne toplane, MJ/god.
QST — potrebna energija tehnološke pare srednje temperature, MJ/god.
QVT — potrebna energija tehnološke pare visoke temperature, MJ/god.
R — indeks broja kaseta koje obuhvaća postrojenje
ST — tehnološka para srednje temperature
T — toplinska snaga na pragu postrojenja, MW
TG — toplinska gustoća, MW/km²
TOG — toplana u gradu
TOI — industrijska toplana
TOIG — toplana izvan grada
$\overline{TT}$ — vrijeme trajanja maksimalnog opterećenja, sek
TTR — indeks tipa uređaja (postrojenja) za transformaciju
TU — ukupni trošak, dinara/god.
UK — kameni ugljen, kg/god.
UP — ukapljeni plin, kg/god.
UR — uran, kg/god.
V — broj varijabli kod jedne kasete opće potrošnje
VITO — veličina i tip objekta
VRG — indeks vrste goriva za industriju
VRGI — indeks vrste goriva za opću potrošnju
VT — tehnološka para visoke temperature
VTR — indeks veličine uređaja (postrojenja) za transformaciju energije
VUT — indeks vrste uređaja za transformaciju energije u općoj potrošnji
VUTI — indeks vrste uređaja za transformaciju energije u industriji
ZP — prirodni plin, m³/god.
α — udio spojnog procesa
δ — faktor istodobnosti
ζ — stupanj djelovanja distribucije
η — stupanj djelovanja energetske transformacije (u industriji, kod pridobivanja visokotemperaturne topline, označava relativni stupanj djelovanja)

Opća potrošnja

TIP	ENERGETSKI OBLIK (VRG)	SIMBOL
1	Drvo	DR
2	Ekstralako loživo ulje	LUE
3	El. energija	ELE
4	Gradski plin	GP
5	Ukapljeni plin	UP
6	Prirodni plin	ZP
7	Lignit	LI
8	Mrki ugljen	MU
9	Teško loživo ulje	LUT
10	Uran	UR

TIP	VRSTA UREĐAJA ZA TRANSFORMACIJU (VUT)	SIMBOL
1	Pojedinačno	P
2	Etažno	G
3	Kućna kotlovnica	KK
4	Blok-kotlovnica	BK
5	Toplana u gradu	TOG
6	Toplana izvan grada	TOIG

TIP	MOGUĆE KOMBINACIJE ZADOVOLJENJA ENERGETSKIH POTREBA	SIMBOL
1	Grijanje	G
2	Grijanje + potr. topla voda	G + PV
3	Grijanje + potr. topla voda + kuhanje	G + PV + KU
4	Potr. topla voda + kuhanje	PV + KU
5	Potr. topla voda	PV
6	Kuhanje	KU
7	Nesupstituabilna el. energija	NSEK

ZADOVOLJENJE POTREBA U ENERGIJI ZA GRIJANJE U KASETI K

$$QG(K) = \sum_{VUT=1}^{3} \sum_{VRG=1}^{8} [\ \eta(G,VRG,VUT)\ HU(VRG)$$
$$VRG(G,VUT,K) + \eta(G,VRG,VUT) \cdot \eta(PV,VRG,VUT)$$
$$QG(K)\ HU(VRG)\ VRG(G + PV,VUT,K) /$$
$$/ (\eta(G,VRG,VUT) \cdot QPV(K) +$$
$$+ \eta(PV,VRG,VUT)\ QG(K))\ ] +$$
$$+ \sum_{VUT=4}^{6} \sum_{VRG=6}^{9} \sum_{TTR} \sum_{VTR}$$
$$[\ \eta(G,VRG,VUT,TTR,VTR)\ \zeta(G,VUT,K)\ HU(VRG) \cdot$$
$$\cdot VRG(G,VUT,TTR,VTR,K) + \eta(G,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta(G,VUT,K) \cdot \eta(PV,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta(PV,VUT,K)\ QG(K)\ HU(VRG) \cdot$$
$$\cdot VRG(G + PV,VUT,TTR,VTR,K) /$$
$$/ (\eta(G,VRG,VUT,TTR,VTR)\ \zeta(G,VUT,K) \cdot QPV(K) +$$
$$+ \eta(PV,VRG,VUT,TTR,VTR)\ \zeta(PV,VUT,K)\ QG(K))\ ] +$$
$$+ \sum_{VUT=5}^{6} \sum_{VTR}^{1} [\ \zeta(G,VUT,K)\ QVV(G,UR,VUT,VTR,K) +$$
$$+ \zeta(G,VUT,K)\ \zeta(G,VUT,K)\ \zeta(PV,VUT,K) \cdot QG(K)$$
$$QVV(G + PV,VUT,VTR,K) / (\zeta(G,VUT,K)\ QPV(K) +$$
$$+ \zeta(PV,VUT,K)\ QG(K)\ ] +$$
$$+ \sum_{VUT=1}^{2} \sum_{VRG=4}^{6} [\ \zeta(G,VRG,VUT)\ \eta(PV,VRG,VUT)$$
$$\eta(KU,VRG,VUT)\ QG(K)\ HU(VRG) \cdot$$
$$\cdot VRG(G + PV + KU,VUT,K) / (\eta(G,VRG,VUT)$$
$$\eta(PV,VRG,VUT)\ QK(K) + \eta(G,VRG,VUT)$$
$$\eta(KU,VRG,VUT)\ QPV(K) + \eta(PV,VRG,VUT)$$
$$\eta(KV,VRG,VUT)\ QG(K)\ ]$$

(I – 1)

Ako varijable koje proizlaze kao kombinacije napisanih sumâ ne egzistiraju u realnim uvjetima, odabire se $\eta = 0$.

ZADOVOLJENJE POTREBA U ENERGIJI ZA POTROŠNU TOPLU VODU U KASETI K

$$QPV(K) = \sum_{VUT=1}^{3} \sum_{VRG=1}^{8} [\ \eta\ (G,VRG,VUT)\ \eta\ (PV,VRG,VUT)$$

$$QPV(K)\ HU(VRG)\cdot VRG(G+PV,VUT,K)\ /$$
$$/\ (\eta(G,VRG,VUT)\ QPV(K)+\eta(PV,VRG,VUT)\ QG(K))\ ]+$$
$$+\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{VRG=6}^{9}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\eta(G,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta(G,VUT,K)\cdot\eta(PV,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta(PV,VUT,K)\ QPV(K)\ HU(VRG)\cdot$$
$$\cdot VRG(G+PV,VUT,TTR,VTR,K)\ /\ (\eta\ G,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta(G,VUT,K)\cdot$$
$$\cdot QPV(K)+\eta(PV,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta(PV,VUT,K)\ QG(K))+$$
$$+\sum_{VUT=5}^{6}\sum_{VTR}\zeta(G,VUT,K)\ \zeta(PV,VUT,K)\ QPV(K)$$
$$QVV(G+PV,VUT,VTR,K)\ /\ (\eta(G,VUT,K)$$
$$QPV(K)+\zeta(PV,VUT,K)\ QG(K))$$
$$+\sum_{VUT=1}^{2}\sum_{VRG=4}^{6}\eta(G,VRG,VUT)\ \eta(PV,VRG,VUT)$$
$$\eta(KU,VRG,VUT)\ QPV(K)\cdot HU(VRG)\ VRG(G+$$
$$+PV+KU,VUT,K)\ /\ (\eta(G,VRG,VUT)\ \eta(PV,VRG,VUT)\cdot$$
$$\cdot QKU(K)+\eta(G,VRG,VUT)\ \eta(KU,VRG,VUT)\ QPV(K)+$$
$$+\eta(PV,VRG,LUT)\cdot\eta(KU,VRG,VUT)\ QG(K))+$$
$$+\sum_{VRG=4}^{6}\eta(PV,VRG,P)\ \eta(KU,VRG,P)\ QPV(K)\ HU(VRG)$$
$$VRG(PV+KU,P,K)\ /\ (\eta(PV,VRG,P)\ QKU(K)+$$
$$+\eta(KU,VRG,P)\ QPV(K))+$$
$$+\sum_{VRG=1}^{8}\eta(PV,VRG,P)\ HU(VRG)\ VRG(PV,P,K)+ \qquad (I-2)$$

ZADOVOLJENJE POTREBA U ENERGIJI ZA KUHANJE U KASETI K

$$QKU(K)=\sum_{VUT=1}^{2}\sum_{VRG=3}^{6}\eta(G,VRG,VUT)\ \eta(PV,VRG,VUT)$$
$$\eta(KU,VRG,VUT)\ QK(K)\cdot HU(VRG)\ VRG(G+PV+$$
$$+KU,VUT,K)\ /\ (\eta(G,VRG,VUT)\ \eta(PV,VRG,VUT)\cdot$$
$$\cdot QKU(KU)+\eta(G,VRG,VUT)\ \eta(KU,VRG,VUT)$$
$$QPV(K)+\eta(PV,VRG,VUT)\cdot\eta(KU,VRG,VUT)\ QG(K))$$
$$+\sum_{VRG=4}^{6}\eta(PV,VRG,P)\ \eta(KU,VRG,P)\ QKU(K)\ HU(VRG)$$
$$VRG(PV+KU,P,K)\ /\ (\eta(PV,VRG,P)\ QKU(K)+$$
$$\eta(KU,VRG,P)\ QPV(K))+$$
$$+\sum_{VRG=1}^{8}\eta(KU,VGR,P)\ HU(VRG)\ VRG(KU,P,K) \qquad (I-3)$$

ZADOVOLJENJE POTREBA U NESUPSTITUABILNOJ ELEKTRIČNOJ ENERGIJI

$$QEL(K)=(ELE)\ \zeta(ELE,K)\{ELE(NSEK,K)+$$
$$+\eta(KU,ELE,P)\ QEL(K)\ ELE(KU,P,K)\ /\ (QKU(K)+$$
$$+\eta(KU,ELE,P)\ QEL(K))+\eta(PV,ELE,P)\ QEL(K)$$
$$ELE(PV,P,K)\ /\ (QPV(K)+\eta(PV,ELE,P)$$
$$QEL(K)+\eta(KU,ELE,P)\ \eta(PV,ELE,P)\ QEL(K)$$
$$ELE(PV+KU,P,K)\ /\ (\eta(KU,ELE,P)\cdot\eta(PV,ELE,P)$$
$$QEL(K)+$$
$$+\eta(KU,ELE,P)\ QPV(K)+\eta(PV,ELE,P)\ QKU(K))+$$
$$+\eta(G,ELE,P)\ \eta(KU,ELE,P)\ \eta(PV,ELE,P)\ QEL(K)$$
$$ELE(G+PV+KU,P,K)\ /\ (\eta(G,ELE,P)\ \eta(KU,ELE,P)$$
$$\eta(PV,ELE,P)\ QEL(K)+\eta(KU,ELE,P)\cdot\eta(PV,ELE,P)$$
$$QG(K)+\eta(G,ELE,P)\ \eta(PV,ELE,P)\ QKU(K)+$$
$$+\eta(G,ELE,P)\cdot\eta(KU,ELE,P)\ QPV(K))\} \qquad (I-4)$$

U varijablama centraliziranog načina opskrbe toplinom uvode se dodatni indeksi tipa uređaja za transformaciju (TTR) i veličine uređaja za transformaciju (VTR) pošto bi bila pregruba aproksimacija računati sa srednjim karakteristikama.

DONJA OGRANIČENJA GORIVA U KASETI K

Lignit

$$\sum_{VUT=1}^{3}[LI(G,VUT,K)+LI(G+PV,VUT,K)]+$$
$$+LI(PV,P,K)+$$
$$+\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{TTR}\sum_{VTR}[LI(G,VUT,TTR,VTR,K)+$$
$$+LI(G+PV,VUT,TTR,VTR,K)]\geq DLI(OP,K) \qquad (I-5)$$

Mrki ugljen

$$\sum_{VUT=1}^{3}[MU(G,VUT,K)+MU(G+PV,VUT,K)]+$$
$$+MU(PV,P,K)+$$
$$+\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{TTR}\sum_{VTR}[MU(G,VUT,TTR,VTR,K)+$$
$$+MU(G+PV,VUT,TTR,VTR,K)]\geq DMU(OP,K) \qquad (I-6)$$

Loživo ulje

$$\sum_{VUT=1}^{3}[LUE(G,VUT,K)+LUE(G+PV,VUT,K)\ ]+$$
$$+LUE(PV,VUT,K)+$$
$$+\sum_{TTR}\sum_{VTR}VRT[LUE(G,VK,K)+LUE(G+$$
$$+PV,BK,K)\ ]\geq DLUE(OP,K) \qquad (I-7)$$

Teško loživo ulje

$$\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{TTR}\sum_{VTR}[LUT(G,VUT,TTR,VTR,K)+$$
$$+LUT(G+PV,VUT,TTR,VRT,K)]\geq DLUT(OP,K) \qquad (I-8)$$

Prirodni plin (ograničenje snage)

$$HU(ZP)\sum_{VUT=1}^{3}[ZP\ G,VUT,K)\ /\ \overline{TT}(ZP,G,\overline{TG},\overline{VITO},$$
$$VUT,K)+ZP(G+PV,VUT,K)\ /\ \overline{TT}(ZP,G+$$
$$+PV,\overline{TG},VITO,VUT,K)\ ]+$$
$$+\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{TTR}\sum_{VTR}[\ ZP(G,VUT,TTR,VTR,K)\ /$$
$$/\ TT(ZP,G,VUT,K)+ZP(G+PV,VUT,K)\ /$$
$$/\ \overline{TT}(ZP,G+PV,VUT,K)\ ]+$$
$$+\sum_{VUT=1}^{2}[\ ZP(G+PV+KU,VUT,K)\ /\ \overline{TT}$$
$$(ZP,G+PV+KU,\overline{TG},VITO,VUT,K)\ ]+ZP(PV+KU,P,K)\ /$$
$$TT(ZP,PV+KU,\overline{TG},\overline{VITO},$$
$$VUT)+ZP(KU,P,K)\ /\ TT(ZP,KU,\overline{TG},\overline{VITO},P)+$$
$$+ZP(PV,P,K)\ /\ TT(ZP,PV,\overline{TG},\overline{VITO},P)\ \geq\ DNZP(OP,K) \qquad (I-9)$$

DNZP (OP,K) — donja granica upotrebe ZP u kaseti. Za svaku kasetu K u kojoj postoji potrošnja plina treba biti zadana.

$\overline{TT}$ ($\overline{TG,VITO}$) — vrijeme trajanja za zadano stanje toplinske gustoće, veličine i tipa objekta (TG,VITO) koje se želi osigurati. Ovaj $\overline{TT}$ može se razlikovati za kasetu konačnog stanja u okviru kojeg su korisnici novoizgrađeni ili u promatranom trenutku neizgrađeni

Gradski plin (ograničenje snage)

$$HU(GP)\left\{\sum_{VUT=1}^{3} GP(G,VUT,K) / \overline{TT}(GP,G,\overline{TG},\overline{VITO},VUT,K) + GP(G+PV,VUT,K) / \overline{TT}(GP,G+PV,\overline{TG},\overline{VITO},VUT,K) + \sum_{VUT=1}^{2} GP(G+PV+KU,VUT,K) / \overline{TT}(GP,G+PV+KU,\overline{TG},\overline{VITO},VUT) + GP(PV+KU,P,K) / \overline{TT}(GP,PV+KU,\overline{TG},\overline{VITO},P) + GP(KU,P,K) / \overline{TT}(GP,KU,\overline{TG},\overline{VITO},P) + GP(PV,P,K) / \overline{TT}(GP,PV,\overline{TG},\overline{VITO},P)\right\} \geq DNGP(OP,K) \qquad (I-10)$$

Ukapljeni plin (ograničenje snage)

$$HU(UP)\left\{\sum_{VUT=1}^{3} UP(G,VUT,K) / / (G,VUT,K) / TT(UP,G,\overline{TG},\overline{VITO},VUT,K) + UP(G+PV,VUT,K) / / TT(UP,G+PV,TG,VITO,VUT,K) + \sum_{VUT=1}^{2} UP(G+PV+KU,VUT,K) / \overline{TT}(GP,G+PV+KU,\overline{TG},\overline{VITO},VUT) + UP(PV+KU,P,K) / / TT(GP,PV+KU,\overline{TG},\overline{VITO},P) + UP(KU,P,K) / / \overline{TT}(UP,KU,\overline{TG},\overline{VITO},P) + UP(PV,P,K) / / \overline{TT}(UP,PV,\overline{TG},\overline{VITO},P)\right\} \geq DNUP(OP,K) \qquad (I-11)$$

Ograničenje količine za ukapljeni plin

$$HU(UP)\left\{\sum_{VUT=1}^{3} UP(G,VUT,K) + UP(G+PV,VUT,K) + \sum_{VUT=1}^{3} UP(G+PV+KU,VUT,K) + UP(PV,P,K) + UP(KU,P,K) + UP(KU+PV,P,K)\right\} \geq DUPK(OP,K) \qquad (1-12)$$

Ograničenje količine se treba postaviti u slučajevima kad postoje dovoljni kapaciteti spremnika da prime sezonske oscilacije u potrošnji, a ograničenje učina postrojenja ili cjevovoda za distribuciju se ne javljaju.

DONJA GRANICA IZ CENTRALIZIRANOG SISTEMA

Samo za grijanje

$$\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{VRG=6}^{10}\sum_{TTR}\sum_{VTR} \eta(G,VRG,VUT)\,\zeta(G,VUT,K)\,HU(VRG)\,VRG(G,VUT,TTR,VRT,K) \geq DQG(OP,K) \qquad (1-13)$$

Za grijanje i potrošnu vodu

$$\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{VRG=6}^{10}\sum_{TTR}\sum_{VTR} \eta(G,VRG,VUT,TTR,VRT)\,\zeta(G,VUT,K)\,\eta(PV,VRG,VUT,TTR,VRT)\cdot\zeta(PV,VUT,K)\,(QG(K)+QPV(K))\,HU(VRG)\,VRG(G+PV,VUT,TTR,VTR,K) / (\eta(G,VRG,VUT,TTR,VTR)\,\zeta(G,VUT,K)\,QPV(K) + \eta(PV,VRG,VUT,TTR,VTR)\cdot\zeta(PV,VUT,K)\,QG(K)) \geq DQGPV(OP,K) \qquad (I-14)$$

OSIGURANJE KORIŠTENJA IZGRAĐENIH POSTROJENJA

Blok-kotlovnica, samo grijanje

$$\sum_{k=m}^{k=n} \eta(G,VRG,BK,TTR,VTR)\,HU(VRG)\,VRG(G,BK,TTR,VTR,K) / TT(G,BK) \geq T(G,VRG,BK,TTR,VTR,R) \qquad (I-15)$$

T (G,VRG,BK,TTR,VTR,R) — korisna raspoloživa snaga postrojenja

Ako se želi osigurati iskorištenje postojećih postrojenja, tada je potrebno za kasete koje se opskrbljuju iz tog postrojenja postaviti jednadžbe gornjega tipa.

Postrojenja za kombinirano pridobivanje topline i električne energije u 1. koraku ulaze samo ona koja su izgrađena, za koja se poznaje EGT, pa je za ova postrojenja nužno postaviti ograničenja korištenja postojećih postrojenja. Ovo ograničenje treba postaviti u obliku **jednakosti**, pa se ne treba u 1. koraku predvidjeti veća mogućnost izgradnje postrojenja za zajedničko pridobivanje topline i električne energije.

U prvom koraku treba obuhvatiti izgrađena postrojenja toplanâ, ali nova postrojenja TOG ne treba predvidjeti jer se ne raspolaže sa EGT, pa se nove potrebe treba da zadovolje novim BK. To ne vrijedi za TOG i TOIG sa UR jer je riječ o uključivanju vrste goriva, pa tu treba pretpostaviti EGT. Nakon 1. koraka je opskrbljeno iz postojećih TOG, BK i novih BK, posebnom analizom utvrđuje se TTOG, VTOG te opravdanost spojnog procesa, čime se dobivaju EGT za svako rješenje, što mogućava provedbu 2. koraka.

Shodno gornjem može se postaviti jednadžba tipa:

Toplana u gradu

$$\sum_{k=m}^{k=n} \eta(G,VGOR,TOG,TTR,VTR)\,HU(VRG)\,VRG(G,TO,TTR,VTR,K) / TT(G,TOG,K) \leq T(G,VRG,TOG,TTR,VTR,R) \qquad (I-16)$$

T (G,VRG,TOG,R) — raspoloživa snaga postrojenja u toplani (spojni proces + izravni proces)

Nejednadžbom se dopušta korištenje TOG samo do izgrađenog kapaciteta. Ovakav tip jednadžbi ne osigurava matematički sigurno iskorištenje kapaciteta. Međutim, za proračune u 1. koraku ovakav tip jednadžbi je nužan jer se u 1. koraku ne promatraju nova postrojenja TOG.

U stvarnim uvjetima normalno je očekivati da su EGT za TOG niži od EGT (BK), pa će osiguranje kapaciteta biti osigurano.

U 2. koraku se nejednadžba mora promijeniti od ≤ u ≥.

Jednadžba za uran kao gorivo:

$$\sum_{k=m}^{k=n} QVV(G,TOG,UR,K) / TT\,G,TOG,UR) \geq T(VV,UR,TOG,R) / \alpha(TOG,UR) \qquad (I-17)$$

T (VV, UR, TOG, . . . R) — raspoloživa snaga na pragu postrojenja

α — udio spojnog procesa

Ako se želi ograničiti iskorištenje postrojenja u definiranom području tada se Σ proteže na sve kasete u kojima se predviđa mogućnost opskrbe iz promatrane transformacije.

Toplana izvan grada

$$\sum_{k=m}^{k=n} \eta(G,VGOR,TOIG,TTR,VTR)\,HU(VRG)\,VRG(G,TOIG,TTR,VTR,K) / TT(G,TOIG,K) \leq T(G,VRG,TOG,TTR,VRT,R) \qquad (I-18)$$

$$\sum_{k=m}^{k=n} QVV(G,TOIG,UR,K) / TT(G,TOIG,UR) \geq T(VV,UR,TOIG) / \alpha(TOIG,UR) \qquad (I-19)$$

ISKORIŠTENJE POSTOJEĆIH POSTROJENJA

GRIJANJE + POTROŠNA TOPLA VODA

Blok-kotlovnica

$$\sum_{k=m}^{k=n} \eta\,(G,VRG,BK,TTR,VTR)\;\eta\;(PV,VRG,BK,TTR,VTR)$$
$$\zeta\,(G,BK,K)\;\zeta\,(PV,BK,K)\;HU\,(VRG)\;\cdot$$
$$[QG\,(K)\;/\;\zeta\,(G,BK,K)\;TT\,(G,BK)\;+\;QPV\,(K)\;/$$
$$/\;\zeta\,(PV,BK,K)\;TT\,(PV,BK)\,]\;VRG\,(G+PV,BK,K)\;/$$
$$/\,[\,\eta\,(PV,VRG,BK,TTR,VTR)\;\zeta\,(PV,BK,K)\;QG\,(K)\;+$$
$$+\;\eta\,(G,VRG,BK,TTR,VTR)\;\zeta\,(G,BK,K)\;\cdot$$
$$\cdot\;QPV\,(K)\,]\;\geq\;T\,(G+PV,VRG,BK,TTR,VTR,K) \qquad (I-20)$$

Toplana u gradu

$$\sum_{k=m}^{k=n} \eta\,(G,VGOR,TOG,TTR,VTR)\;\eta\,(PV,VRG,TOG,TTR,VTR)$$
$$\eta(G,TOG,K)\;\zeta(PV,TOG,K)\;\cdot\;HU\,(VRG)\,[\;QG\,(K)\;/$$
$$/\;(G,TOG,K)\;TT\,(G,TOG)\;+\;QPV\,(K)\;/\;(PV,TOG,K)\;TT$$
$$(PV,TOG)\,]\;\cdot\;VRG\,G+PV,TOG,TTR,VTR,K)\;/$$
$$/\;(\eta\,(PV,VRG,TOG,TTR,VTR)\;\zeta\,(PV,TOG,K)\;QG\,(K)\;+$$
$$+\;\eta\,(G,VRG,TOG,TTR,VTR)\;\zeta\,(PV,TOG,K)\;QPV\,(K))\;\geq$$
$$T\,(G+PV,VRG,TOG,TTR,VRT,K) \qquad (I-21)$$

Uran kao gorivo

$$\sum_{k=m}^{k=n} \zeta\,(G,TOG,K)\;\zeta\,(PV,TOG,K)\,[\;QG\,(K)\;/\;\zeta\,(G,TOG,K)$$
$$TT\,(G,TOG)\;+\;QPV\,(K)\;/\;\zeta\,(PV,TOG,K)\;TT(PV,TOG)\,]$$
$$QVV\,(G+PV,TOG,UR,K)\;/\,[\;(PV,TOG,K)\;QG\,(K)\;+$$
$$+\;\;(G,TOG,\;)\;QPV\,(K)\,]\;\;\geq\;T\,(G+PV,UR,TOG)\;/$$
$$/\;\alpha\,(TOG,UR) \qquad (I-22)$$

Toplana izvan grada

Jednadžbe iste kao i za toplanu u gradu osim indeksa TOIG.

OGRANIČENJA ZA ČITAVO PODRUČJE

GORNJA OGRANIČENJA GORIVA

Lignit

$$\sum_{K=1}^{N} [\;\text{lijeva strana jednadžbe}\;(1-5)\;] \leq LI\,(OP) \qquad (I-23)$$

N — ukupan broj kaseta

Mrki ugljen

$$\sum_{K=1}^{N} [\;\text{lijeva strana jednadžbe}\;(I-6)\;] \leq MU\,(OP) \qquad (I-24)$$

Ekstralako loživo ulje

$$\sum_{K=1}^{N} [\;\text{lijeva strana jednadžbe}\;(I-7)\;] \leq LUE\,(OP) \qquad (1-25)$$

Teško loživo ulje

$$\sum_{K=1}^{N} [\;\text{lijeva strana jednadžbe}\;(I-8)\;] \leq LUT\,(OP) \qquad (I-26)$$

Prirodni plin (ograničenje snage)

$$\sum_{K=1}^{N} [\;\text{lijeva strana jednadžbe}\;(I-9)\;] \leq NZP\,(OP) \qquad (I-27)$$

Gradski plin (ograničenje snage)

$$\sum_{K=1}^{N} [\;\text{lijeva strana jednadžbe}\;(I-10)\;] \leq NGP\,(OP) \qquad (I-28)$$

Ukapljeni plin (ograničenje snage)

$$\sum_{K=1}^{N} [\;\text{lijeva strana jednadžbe}\;(I-11)\;] \leq NUP\,(OP) \qquad (I-29)$$

$$\sum_{K=1}^{N} [\;\text{lijeva strana jednadžbe}\;(I-12)\;] \leq UP\,(OP) \qquad (I-30)$$

Ograničenje učina za toplu vodu iz nuklearne toplane

$$\sum_{K=1}^{N} [\;QVV\,(G,UR,TOG,K)\;/\;TT\,(G,UR,TOG)\;+$$
$$+\;QVV\,(G+PV,UR,TOG,K)\;/\;TT\,(G,PV,TOG)\;+$$
$$+\;QVV\,(G,UR,TOIG)\;/\;TT\,(G,UR,TOIG)\;+$$
$$+\;QVV\,(G+PV,UR,TOIG,K)\;/\;TT\,(G+PV,UR,TOIG)\,]$$
$$\leq\;\frac{1}{\alpha}\;N\;V\;V\,(OP,UR) \qquad (I-31)$$

UKUPNI EKVIVALENTNI GODIŠNJI TROŠKOVI

$$TU\,(OP)=\sum_{K=1}^{N}\Big\{\sum_{VUT=1}^{3}\sum_{VRG=1}^{8}[\;EGT\,(G,VRG,TG,VITO,$$
$$VUT,K)\;HU\,(VRG)\;VRG\,(G,VUT,K)\;\cdot\;\eta\,(G,VRG,VUT)\;/$$
$$/\;(TT\,(G,VUT)\;SP\,(G,VITO,VUT))\;+\;EGT\,(G+$$
$$+PV,VRG,TG,VITO,VUT,K)\;\cdot\;HU\,(VRG)$$
$$VRG\,(G,VUT,K)\;\eta\,(G,VRG,VUT)\;\eta\,(PV,VRG,VUT)$$
$$[\;QG\,(K)\;+\;QPV\,(K)]\;/\;[[\eta\,(PV,VRG,VUT)\;QG\,(K)\;+$$
$$+\eta\,(G,VRG,VUT)\;QPV\,(K)]\,[TT\,(G,VUT)\;SP\,(G,$$
$$VITO,VUT)+$$
$$+\;TT\,(PV,VUT)\;SP\,(PV,VUT)]]\;+$$
$$+\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{VRG=6}^{10}\sum_{TTR}\sum_{VTR}[\;EGT\,(G,VRG,\overline{TG},VITO,$$
$$VUT,TTR,VRT,K)\;HU\,(VRG)\;\cdot$$
$$\cdot\;VRG\,(G,VUT,TTR,VTR,K)\;\eta\,(G,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta\,(G,VUT,K)\;/\,[\;TT\,(G,VUT)\;\cdot$$
$$\cdot\;SP\,(G,VITO,VUT)\,]\;+$$
$$+\;EGT(G+PV,VRG,TG,VITO,VUT,TTR,VTR)\;HU\,(VRG)$$
$$VRG\,(G,VUT,TTR,VTR)\;\cdot\;\eta\,(G,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\eta\,(PV,VRG,VUT,TTR,VTR)\;\zeta\,(G,VUT,K)\;\zeta\,(PV,VUT,K)\;\cdot$$
$$\cdot\,[\;QG\,(K)\;+\;QPV\,(K)\;]\;/\;[[\eta\,(PV,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta\,(PV,VUT,K)\;QG\,(K)\;+\;\eta\,(G,VRG,VUT,TTR,VTR)$$
$$\zeta\,(G,VUT,K)\;QPV\,(K)]\;[TT\,(G,VUT)\;SP\,(G,VITO,K)\;+$$
$$+\;TT\,(PV,VUT)\;SP\,(PV,VUT)]]\;+$$
$$+\sum_{VUT=5}^{6}\sum_{VTR}\zeta\,(G,VUT,K)\;QVV\,(G,UR,VUT,VTR,K)\;+$$
$$+\;\zeta\,(G,VUT,K)\;\zeta\,(PV,VUT,K)\;\cdot\;QG\,(K)\;+\;QPV\,(K))$$
$$QVV\,(G+PV,UR,VUT,VTR,K)\;/\;(\;(G,VUT,K)\;QPV\,(k)\;+$$
$$+\;(PV,VUT,K)\;QG(K))\;+$$
$$+\sum_{VUT=1}^{2}\sum_{VRG=4}^{6}[\;EGT\,(G+PV+KU,VRG,TG,VITO,VUT,K)$$
$$HU\,(VRG)\;VRG\,(G+PV+KU,VRG,K)\;\cdot\;\eta\,(G,VRG,VUT)$$
$$\eta\,(PV,VRG,VUT)\;\eta\,(PV,VRG,VUT)\;\eta\,(KU,VRG,VUT)$$
$$[QG\,(K)\;+\;QPV\,(K)\;+\;QKU\,(K)]\;/\;[[\;\eta\,(G,VRG,VUT)$$
$$\eta\,(PV,VRG,VUT)\;QKU\,(K)\;+\eta\,(PV,VRG,VUT)$$
$$\eta\,(KU,VRG,VUT)\;\cdot\;QG\,(K)\;+$$
$$+\;\eta\,(G,VRG,VUT)\;\eta\,(KU,VRG,VUT)\;QPV\,(K)]$$
$$[\;TT\,(G,VUT)\;SP\,(G,VITO,VUT)\;+\;TT\,(PV,VUT)$$

$$SP(PV,VUT) + TT(KU,VUT)\,SP(KU,VUT)].$$

$$+\sum_{VRG=4}^{6} EGT(PV+KU,VRG,TG,VITO,P,K)$$

$$HU(VRG)\,VRG(PV+KU,VRG,K)\,\eta(PV,VRG,P)$$

$$\eta(KU,VRG,P)\,[\,QKU(K) + QPV(K)]\,/$$

$$/\,\eta\,[\,(PV,VRG,)\,QKU(K) + (KU,VRG,P)\,QPV(K)\,]$$

$$[\,TT(PV,P) + SP(KU,P)\,TT(KU,P)\,]$$

$$+\sum_{VRG=1}^{8} EGT(PV,VRG,TG,VITO,P,K)\,HU(VRG)$$

$$VRG(PV,VRG,K)\,\eta(PV,VRG,P)\,/\,TT(PV,P)\,SP(PV,P)) +$$

$$+\sum_{VRG=1}^{8} EGT(KU,VRG,TG,VITO,P,K)\,HU(VRG)$$

$$VRG(KU,VRG,K)\,\eta(KU,VRG,P)\,/\,TT(KU,P)\,SP(KU,P)) +$$

$$+\,EGT(NSEK,ELE,TG,VITO,P,K)\,HU(ELE)$$

$$ELE(NSEK,K)\,\zeta(ELE,K)\,/\,TT(NSEK,P)\cdot$$

$$\cdot\,SP(NSEK,P))\,\}\qquad(I-32)$$

STVARNE POTREBE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA OPĆU POTROŠNJU U KASETI K

Stvarna potrebna električna energija za komunalno izračunava se pošto je odabrana optimalna struktura (rješen sistem jednadžbi), pa je zbog toga EL (OP,K) zadan kao nepoznanica. Funkcija troškova uključuje ove troškove jer su oni u funkciji cilja izraženi kao umnožak ekvivalentnih godina troškova i bazne varijable.

$$\{\,ELE(NSEK,K) + ELE(KU,P,K) + ELE(PV,P,K) +$$

$$+\,ELE(PV+KU,P,K) + ELE(G+PV+KU,P,K) +$$

$$+\sum_{VUT=4}^{6}\sum_{VRG=6}^{9}\sum_{TRR}\sum_{VTR}[\,P(ELE,G,VRG,VUT,TTR,VTR,K)$$

$$\eta(G,VRG,VUT,TTR,VTR)\cdot\zeta(G,VUT,K)\,HU(VRG)$$

$$VRG(G,VUT,TTR,VTR,K) +$$

$$+\,(P(ELE,G,VRG,VUT,TTR,VTR,K)\cdot$$

$$\cdot\,QG(K) + P(ELE,PV,VRG,VUT,TTR,VTR,K)\,QPV(K))$$

$$\eta(PV,VRG,VUT,TTR,VTR,K)\cdot$$

$$\cdot\,\zeta(PV,VUT,K)\,\eta(G,VRG,VUT,TTR,VTR,K)\,\zeta(G,VUT,K)$$

$$HU(VRG\cdot VRG(G+PV,VUT,TTR,VTR,K)\,/$$

$$/\,(\eta(PV,VRG,VUT,TTR,VTR,K)\,\zeta(PV,VUT,K)\cdot$$

$$\cdot\,QG(K) + \eta(G,VRG,VUT,TTR,VTR,K)\,\zeta(G,VUT,K)$$

$$QPV(K))\,] +$$

$$+\sum_{VUT=5}^{6}\sum_{VTR}[\,P(ELE,G,UR,VUT,VTR,K)$$

$$\zeta(G,VUT,K)\qquad QVV(G,UR,VUT,VTR,K)\qquad +$$

$$(P(ELE,G,UR,VUT,VTR,K) +$$

$$+\,P(ELE,PV,UR,VUT,VTR,K))\,\zeta(G,VUT,K)\cdot$$

$$\cdot\,\zeta(PV,VUT,K)\,QVV(G+PV,UR,VUT,VTR,K)\,/$$

$$/\,\zeta(PV,VUT,K)\,QG(K) + \zeta(G,VUT,K)\,QPV(K))]\}$$

$$-\,EL(OP,K) = 0$$

Industrija

TIP ENERGETSKI OBLIK (VRG)	SIMBOL
1 Koks	KS
2 Kameni ugljen	UK
3 El. energija	ELE
4 Gradski plin	GP
5 Ukapljeni plin	UP
6 Ekstralako loživo ulje	LUE
7 Gorivi industrijski otpad	OT
8 Prirodni plin	ZP
9 Mrki ugljen	MU
10 Lignit	LI
11 Teško loživo ulje	LUT
12 Uran	UR

TIP VRSTA UREĐAJA ZA TRANSFORMACIJU (VUTI)	SIMBOL
1 Industrijske peći	IPE
2 Industrijska kotlovnica	IK
3 Industrijska toplana	TOI
4 Industrijska blok-kotlovnica	IBK
5 Toplana u gradu	TOG
6 Toplana izvan grada	TOIG

TIP MOGUĆE KOMBINACIJE ZADOVOLJENJA ENERGETSKIH POTREBA (KOMB)	SIMBOL
1 Toplina visokih temperatura	D
2 Topl. pare srednje temp. + topl. pare visoke temp. + + toplina u vreloj vodi	ST+VT+IG
3 Topl. pare srednje temp. + topl. pare visoke temp.	ST+VT
4 Toplina pare visoke temperature	VT
5 Topl. pare visoke temp. + toplina u vreloj vodi	VT+IG
6 Toplina pare srednje temperature	ST
7 Toplina pare srednje temp. + topl. u vreloj vodi	ST+IG
8 Toplina u vreloj vodi	IG

TTR — tip postrojenja za transformaciju
VRT — veličina postrojenja za transformaciju

TOPLINA VISOKIH TEMPERATURA U INDUSTRIJSKOJ KASETI K

Unutar kasete K mogu se pojaviti industrijska postrojenja koja se međusobno bitno razlikuju po iskorištenju goriva te mogućnosti upotrebe pojedine vrste goriva. Tako treba razlikovati postrojenja unutar kasete K koje mogu toplinu QD zadovoljiti samo plinom i LUT ili samo koksom. Ovo se može postići uvođenjem dvodimenzionalnog indeksa.

QD (J,K) — J — indeks postrojenja i-tog tehnološkog procesa u kaseti K

$$QD(J,K) = \sum_{VRGI=1}^{10} \eta(D,VRGI,IPE,J,K)\,HU(VRGI)$$

$$VRGI(D,J,K)\qquad(I-33)$$

Postavlja se onoliko jednadžbi koliko ima različitih postrojenja unutar kasete K

$$QD(K) = \sum_{J} QD(J,K)$$

za pojedino postrojenje J u kaseti K $\eta(D,-,J,k)$ može poprimiti vrijednost 0 ako se takva vrsta goriva ne može upotrijebiti za pridobivanje topline D u postrojenju J.

POTREBNA TOPLINA PARE SREDNJE TEMPERATURE

$$QST(J,K) = \sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{VRGI=4}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} [\eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(ST,VUTI,K)\cdot HU(VRGI)\,VRGI(ST,VUTI,TTR,VRT,J,K) +$$
$$+ \eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\cdot \zeta(ST,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QST(J,K)\,VRGI(ST+IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) /$$
$$/ (QIG(J,K) + QST(J,K)7 + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta\,VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\cdot$$
$$\cdot QST(J,K)\,VRGI(ST+VT,VUTI,TTR,VTR,J,K) /$$
$$/ (QVT(J,K) + QST(J,K) + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QST(J,K)\cdot$$
$$\cdot VRGI(ST+VT+IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) / / (QST(J,K) + QST(J,K) + QIG(J,K)] +$$

$$+ \sum_{VUTI=4}^{6} \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} [\eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(ST,VUTI,K)\,HU(VRGI)\cdot VRGI(ST,VUTI,TTR,VTR,K)\,QST(J,K)/QST(K) +$$
$$+ \eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\cdot \zeta(ST,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QST(J,K)\,VRGI(ST+IG,VUTI,TTR,VTR,K)/QST(K) + QIG(\zeta)) +$$
$$+ \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QST(J,K)\cdot$$
$$\cdot VRGI(ST+UT,VUTI,TTR,VTR,K) / / (QST(K)) + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\cdot$$
$$\cdot\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QST(J,K)\,VRGI(ST+VT+IG,VUTI,TTR,VTR,K)/(QST(K) +$$
$$+ QVT(K) + QIG(k))] +$$

$$+ \sum_{VTR} \zeta(ST,VTR,K)\,QST(J,K)\,QPS(ST,UR,TOG,K) / / QST(K) +$$
$$\sum_{VTR} Z(ST,VTR,K)\,QPS(ST+IG,UR,TOG,VTR,K)\,QST(J,K) / (QIG(K) + QST(K)) \qquad (I\text{-}34)$$

Postavlja se onoliko jednadžbi ovakovog tipa koliko ima različitih postrojenja J. Za neke varijable koje proizlaze kao kombinacija napisanih suma pretpostavlja se $\eta = 0$ ukoliko one realnim uvjetima ne egzistiraju, npr. $\eta(ST,UP,TOG,TTR,VTR) = 0$

$$\sum_{J} QST(J,K) = QST(K)$$

POTREBNA TOPLINA PARE VISOKE TEMPERATURE

$$QVT(J,K) = \sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{VRGI=4}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} [\eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\cdot HU(VRGI)\,VRGI(VT,VUTI,TTR,VTR,J,K) +$$
$$+ \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QVT(J,K)\cdot VRGI(ST+IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) /$$
$$/ (QIG(J,K) + QVT(J,K)) + \eta(VR,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QVT(J,K)\cdot$$
$$\cdot VRGI(ST+UT,VUTI,TTR,VTR,J,K) / (QIG(J,K) + QVT(J,K)) + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)$$
$$\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QVT(J,K)\cdot VRGI(ST+UT+IG,VUTI,TTRVTR,J,K) /$$
$$/ (QST(J,K) + QVT(J,K) + QIG\,J,K)]$$

$$+ \sum_{VUTI=4}^{5} \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} [\eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\cdot VRGI(VT,VUTI,TTR,VTR,K)\,QST(J,K)/QST(K) +$$
$$+ \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QVT(J,K)\cdot VRGI(VT+IG,VUTI,TTR,VTR,K)/(QK(K) +$$
$$+ QVT(K)) + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QVT(J,K)\cdot$$
$$\cdot VRGI(ST+UT,VUTI,TTR,VTR,K) / (QVT(K)) + + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)$$
$$HU(VRGI)\,QVT(J,K)\cdot VRGI(ST+VT+IG,VUTI,TTR,VTR,K) /$$
$$(QST(K) + QVT(JK) + QIG(K))]$$

$$\sum_{J} QVT(J,K) = QVT(K) \qquad (I-35)$$

Potrebno je toliko jednadžbi koliko je J-tih postrojenja.

POTREBNA TOPLINA U VRELOJ VODI

$$QIG(J,K) = \sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{VRGI=4}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} [\eta(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(IG,VUTI;K)\cdot HU(VRGI)\,QIG(J,K)\,VRGI(IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) +$$
$$+ \eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(ST,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QIG(J,K)\cdot VRGI(ST+IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) /$$
$$/ (QIG(J,K) + QST(J,K)) + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QIG(J,K)\cdot$$
$$\cdot VRGI(IG+VT,VUTI,TTR,VTR,J,K) / QIG(J,K) + + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)$$
$$HU(VRGI)\,QIG(J,K)\cdot \cdot VRGI(ST+VT+IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) / / (QST(J,K) + QVG(J,K)]+$$

$$+ \sum_{VUTI=4}^{6} \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} [\eta(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(IG,VUTI,K)\cdot HU((VRGI)\,VRGI(IG,VUTI,TTR,VTR,K)\,QIG(J,K)/QIG(K) + \eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)$$
$$\zeta(ST,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QIG(J,K)\cdot \cdot VRGI(ST+IG,VUTI,TTR,VTR,K) / (QIG(K) + QST(K)) +$$
$$+ \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QIG(J,K)\cdot VRGI(IG+VT,VUTI,TTR,VTR,K) /$$
$$/ (QIG(K)) + \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,QIG(J,K)\cdot$$
$$\cdot VRGI\,ST+VT+IG,VUTI,TTR,VTR,K) / / (QIG(K) + QVT(K))] +$$

$$+ \sum_{VTR} \zeta(ST,TOG,VTR,K)\,QPS(ST+IG,UR,TOG,VTR,K)\,QIG(J,K) / (QIG(K) + QST(K)) +$$
$$+ \sum_{VUTI=5}^{6} \sum_{VTR} \zeta(IG,VUTI,VTR,K)\,QVV(IG,UR,VUTI,VTR,K)\,(QIG(J,K)/QIG(K) \qquad (I-36)$$

Postavlja se onoliko jednadžbi koliko ima J-tih postrojenja

$$\sum_{J} QIG(J,K) = QIG(K)$$

DONJA OGRANIČENJA GORIVA U INDUSTRIJSKOJ KASETI K

Koks

$$\sum_{J} KS(D,J,K) \geq DKS(K) \qquad (I-37)$$

Kameni ugljen

$$\sum_{J} UK(D,J,K) \geq DUK(K) \qquad (I-38)$$

Lignit

$$\sum_{J} LI(D,IPE,J,K) + \sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \sum_{J} \sum_{KOMB=2}^{8} LI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,J,K) +$$

$$+\sum_{VUTI=4}^{5}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=2}^{8} LI\,(KOMB,\ VUTI,TTR,VTR,K) + \sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=6}^{8} LI\,(KOMB,TOIG,TTR,VTR,K) \geq DLI\,(J,K) \qquad (I-39)$$

Mrki ugljen

$$\sum_{J} MU\,(D,IPE,J,K) + \sum_{VUTI=2}^{3}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{J}\sum_{KOMB=2}^{8} MU\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,J,K) + \sum_{VUTI=4}^{5}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=2}^{8} MU\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K) + \sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=6}^{8} MU\,(KOMB,TOIG,TTR,VTR,K) \geq DMU\,(J,K) \qquad (I-40)$$

Ekstralako loživo ulje

$$\sum_{J} LUE\,(D,J,K) + \sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=2}^{8}\sum_{J} LUE\,(KOMB,IK,TTR,VTR,J,K) + LUE\,(KOMB,IBK,TTR,VTR,K) \geq DLUE\,(J,K) \qquad (I-41)$$

Gorivi industrijski otpad

$$\sum_{J} OT\,(D,J,K) + \sum_{VUTI=2}^{3}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{J}\sum_{KOMB=2}^{8} OT\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,J,K) + \sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=2}^{8} OT\,(KOMB,IBK,TTR,VTR,K) \geq DOT\,(J,K) \qquad (I-42)$$

Teško loživo ulje

$$\sum_{J} LUT\,(D,J,K) + \sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{JKOMB=2}^{8} LUT\,(KOMB,TOI,TTR,VTR,J,K) + \sum_{VUTI=5}^{6}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=2}^{8} LUT\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K) + \sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=6}^{8} LUT\,(KOMB,TOIG,TTR,VTR,K) \geq DLUT\,(J,K) \qquad (I-43)$$

Prirodni plin (ograničenje snage)

$$HU\,ZP)\ \delta\,(K)\left[\sum_{J} ZP\,(D,J,K) / \overline{TT}\,(D,J,K) + \sum_{VUTI=2}^{3}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=2}^{8}\sum_{J} ZP\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,J,K) / \overline{TT}\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,J,K) + \sum_{VUTI=4}^{5}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=2}^{8} ZP\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K) / \overline{TT}\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K) + \sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=6}^{8} ZP\,(KOMB,TOIG,TTR,VTR,K) / \overline{TT}\,(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K)\right] \geq DNZP\,(J,K) \qquad (I-44)$$

δ(K) — faktor istovremenosti u kaseti K δ (k) < 1

Ukapljeni plin

Kod ukapljenog plina mogu postojati dva ograničenja:

a) ograničenje kapaciteta (učina),
b) ograničenje količine.

ad a) Ograničenje učina javlja se u prvom redu kod korištenja UP u rasplinjačkim stanicama kad se plin distribuira do krajnjeg korisnika u rasplinjenom stanju. Tada je učin rasplinjačke stanice, odnosno razvodne mreže ograničavajući faktor.

ad b) Ograničenje količine javlja se u onim slučajevima kad se UP sprema u spremnike koji su dimenzionirani da mogu primiti razliku u sezonskim oscilacijama potrošnje, pri čemu je postrojenje za proizvodnju UP iskorišteno optimalno.

Kod industrije postavlja se drugi tip ograničenja:

$$HU\,(UP)\left[\sum_{J} UP\,(D,J,K) + \sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{KOMB=2}^{8}\sum_{J}\left[UP\,(KOMB,IK,TTR,VTR,J,K) + UP\,(KOMB,IBK,TTR,VTR,K)\right] \geq DUP\,(J,K) \qquad (I-45)\right.$$

UP u energetskim transformacijama koristi se najviše do blokovske kotlovnice, u industrijskim toplanama, gradskim toplanama i izvangradskim toplanama ne predviđa se mogućnost korištenja UP. Ovo nije posljedica nekog tehničkog ograničenja, već ekonomskoga.

Gradski plin

$$HU\,(GP)\sum_{J} GP\,(D,J,K) \geq DGP\,(J,K) \qquad (I-46)$$

DONJA GRANICA UPOTREBE TOPLINSKE SNAGE U KASETI K

Ovakav tip ograničenja dolazi zbog uvjeta iskorištenja postojećih instalacija za prijenos i distribuciju. Na primjer, ako je izgrađen cjevovod za prijenos topline parom srednje temperature i želi se njegov kapacitet iskoristiti, tada se postavlja ograničenje sljedećeg tipa:

Para srednje temperature u kaseti K

$$\sum_{VUTI=2}^{3}\sum_{VRGI=4}^{11}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{J}\left[\eta\,(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta\,(ST,VUTI,K)\cdot HU\,(VRGI)\,QST\,(J,K)\,VRGI\,(ST,VUTI,TTR,VTR,J,K) + \eta\,(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\cdot\zeta\,(ST,VUTI,K)\,HU\,(VRGI)\,QST\,(J,K)\,VRGI\,(ST+IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) / (QIG\,(J,K)+QST\,(J,K))\right] / TT\,(ST,K) +$$

$$+\sum_{VUTI=2}^{3}\sum_{VRGI=4}^{11}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\left[\eta\,(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta\,(ST,VUTI,K)\cdot HU\,(VRGI)\,VRGI\,(ST,VUTI,TTR,VTR,K) + \eta\,(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\cdot\zeta\,(ST,VUTI,K)\,HU\,(VRGI)\,VRGI\,(ST+IG,VUTI,TTR,VTR,K)\,QST\,(K) / QIG\,(K+QST\,(K))\right] / TT\,(ST,K) +$$

$$+\sum_{VUTI=2}^{3}\sum_{VRGI=4}^{11}\sum_{TTR}\sum_{VTR}\sum_{J}\left[\eta\,(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta\,(ST,VUTI,K)\cdot HU\,(VRGI)\,QIG\,(J,K)\,VRGI\,(ST+IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) / (QIG\,(K)+QST\,(K))\right] / TT\,(ST,K) \geq DNST\,(K) \qquad (I-47)$$

DNST (K) / MJ/h/ — toplinska snaga cjevovoda kroz koji se opskrbljuju korisnici u ogrjevnoj toplini i tehnološkoj pari srednje temperature.

Para visoke temperature u kaseti K

$$\sum_J \text{izraz (I-35)} / TT(VT,K) + \Big[\sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{VRGI=4}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \sum_{J} \cdot \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\, \zeta(VT,VUTI,K)$$

$$HU(VRGI)\, QST(J,K) \cdot VRGI(ST+VT+IG,VUTI,TTR,$$

$$VTR,J,K) / (QVT(J,K) + QIG(J,K) + QST(J,K) +$$

$$+ \sum_{VUTI=4}^{6} \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)$$

$$\zeta(VT,VUT,K) \cdot$$

$$\cdot HU(VRGI)\, QST(K)\, VRGI(ST+VT+$$

$$+ IG,VUTI,TTR,VTR,K) / (QIG(K) +$$

$$+ QST(K) + QVT(K) \Big] / TT(ST,K) +$$

$$+ \Big[\sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{VRGI=4}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \sum_{J} \eta(VT,VRGI,$$

$$VUTI,TTR,VTR)\, \zeta(VT,VUTI,K) \cdot$$

$$\cdot HU(VRGI)\, QIG(J,K)\, VRGI(ST+VT+$$

$$IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) / (QVT(J,K) +$$

$$+ QIG(J,K) + QST(J,K)) +$$

$$+ \sum_{VUTI=4}^{6} \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)$$

$$\zeta(VT,VUTI,K) \cdot$$

$$\cdot HU(VRGI)\, QIG(K)\, VRGI(ST+VT+$$

$$+ IG,VUTI,TTR,VTR,K) / QST(K) + QVT(K) +$$

$$+ QIG(K)) \Big] / TT(IG,K) \geq DNVT(K) \qquad (I-48)$$

Vrela voda

$$\Big[\sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{VRGI=4}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \sum_{J} \eta(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR)$$

$$\zeta(IG,VUTI,K) \cdot HU(VRGI)\, VRGI(IG,VUTI,TTR,VTR,J,K) +$$

$$+ \sum_{VUTI=4}^{6} \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \eta(IG,VRGI,VUTI,VTR)$$

$$\cdot \zeta(IG,VUTI,K)\, HU(VRGI) \cdot$$

$$\cdot VRGI(IG,VUTI,TTR,VTR,K) +$$

$$+ \sum_{VTR} \eta(IG,VUTI,VTR,K)\, QVV(IG,UR,VUTI,VTR,K) \Big] /$$

$$+ TT(IG,K) \geq DNVV(K) \qquad (I-49)$$

OSIGURANJE KORIŠTENJA IZGRAĐENIH POSTROJENJA

TOPLINA VISOKIH TEMPERATURA

$$\eta(D,VRGI,IPE,J,K)\, HU(VRGI)\, VRGI(D,J,K) / TT(D,J,K) \geq T(G,VRGI,IPE,J,K) \qquad (I-50)$$

TOPLINA PARE SREDNJIH TEMPERATURA

Industrijske kotlovnice

$$\eta(ST,VRGI,TTR,VTR)\, HU(VRGI)$$

$$VRGI(ST,TTR,VTR,J,K) / / TT(ST,J,K) \geq T(ST,VRGI,VK,J,K) \qquad (I-51)$$

$$\sum_J \sum_{TTR} \sum_{VTR} \eta(VT,VRGI,IK,TTR,VTR)\, HU(VRGI)$$

$$VRGI(ST+ + VT,IK,TTR,VTR,J,K) / TT(ST,VT,J,K) \geq \geq T(ST+VT,VRGI,IK,TTR,VTR,J,K) \qquad (I-52)$$

$$\sum_J \sum_{TTR} \sum_{VTR} \eta(ST,VRGI,IK,TTR,VTR)\, HU(VRGI)\, VRGI$$

$$(ST+IG,IK,TTR,VTR,J,K) / TT(IG,ST,J,K) \geq \geq T(IG+ST,VRGI,IK,TTR,VTR,J,K) \qquad (I-53)$$

$$\sum \sum \sum \eta(VT,VRGI,IK,TTR,VTR)\, HU(VRGI)\, VRGI$$

$$(ST+VT+IG,IK,TTR,VTR,J,K) / (TT(IG+VT+ST,J,K) \geq \geq T(ST+VT+IG,VRGI,IK,TTR,VTR,J,K) \qquad (I-54)$$

Industrijske kotlovnice opskrbljuju jednog korisnika (J-tog) u kaseti K.

Blokovske kotlovnice

$$\sum_{k=m}^{k=n} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \eta(KOMB,VRGI,IB,TTR,VTR)\, HU(VRGI)$$

$$VRGI(KOMB,IBK,TTR,VTR,K) / TT(KOMB,IBK,K) \geq T(KOMB,VRGI,IB,TTR,VTR,R) \qquad (I-55)$$

Blokovska kotlovnica može opskrbljivati korisnike unutar više kaseta.

Industrijska toplana

$$\sum \sum \sum \eta(KOMB,VRGI,TOI,TTR,VTR)\, HU(VRGI)$$

$$VRGI(KOMB,TOI,TTR,VTR,J,K) /$$

$$/ TT(KOMB,TOI,TTR,VTR,J,K) \geq$$

$$T(KOMB,VRGI,TOI,TTR,VTR,J,K) \qquad (I-56)$$

Za industrijsku toplanu se pretpostavlja da može opskrbljivati samo jednog korisnika. Akc pak opskrbljuje više korisnika, tada treba smatrati da se nalaze u granicama takvoga jedinog korisnika.

Toplana u gradu

$$\sum_{k=m}^{k=n} \sum_{TTR} \sum_{VTR} (KOMB,VRGI,TOG,TTR,VTR)$$

$$HU(VRGI\ (KOMB,TOG,TTR,VTR,K) /$$

$$/ (KOMB,K) \leq T(KOMB,VRGI,TOG,TTR,VTR,R) \qquad (I-57)$$

u drugom koraku $\geq$.

OGRANIČENJE ZA ČITAVO PODRUČJE (INDUSTRIJA)

Kameni ugljen

$$\sum_{K=1}^{IN} \sum_{J} UK(D,J,K) \leq UK(I) \qquad (I-58)$$

Koks

$$\sum_{K=1}^{IN} \sum_{J} KS(D,J,K) \leq KS(I) \qquad (I-59)$$

Lignit

$$\sum_{K=1}^{IN} [\text{ svi članovi za donje ograničenje u K }] \leq LI(I) \qquad (I-60)$$

Mrki ugljen

$$\sum_{K=1}^{IN} [\text{ svi članovi za donje ograničenje u K }] \leq MU(I) \qquad (I-61)$$

Ekstralako loživo ulje

$$\sum_{K=1}^{IN} [\text{ svi članovi za donje ograničenje u K }] \leq LUE(I) \qquad (I-62)$$

Teško loživo ulje

$$\sum_{K=1}^{IN} [\text{ svi članovi za donje ograničenje u K }] \leq LUT(I) \qquad (I-63)$$

Ukapljeni plin

$$\sum_{K=1}^{IN} HU(UP) [\text{ svi članovi za donje ograničenje }] \leq UP(I) \qquad (I-64)$$

Gradski plin

$$HU(GP) \sum_{K} GP(D,J,K) \leq GP(I) \qquad (I-65)$$

Prirodni plin

$$\sum_{K=1}^{IN} HU(ZP)\,\delta(K) [\text{ svi članovi za donje ograničenje za ZP }] \leq NZP\,I \qquad (I-66)$$

UKUPNI TROŠKOVI (INDUSTRIJA)

$$TU(I) = \sum_{K=1}^{IN} \Big\{ \sum_{J} \sum_{VRGI=1}^{11} EGT(D,VRGI,IPE,J,K)$$
$$\eta(D,VRGI,IPE,J,K) \cdot HU(VRGI)(D,J,K) +$$
$$+ \sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{VRGI=4}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \sum_{J} [\eta(VT,VRGI,VUTI,$$
$$TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K) \cdot HU(VRGI) [\sum_{KOMB=2}^{5} EGT$$
$$(KOMB,VRGI,VUTI,TTR,VTR,J,K) \cdot$$
$$\cdot VRGI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,J,K)] +$$
$$+ \eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(ST,VUTI,K) \cdot$$
$$\cdot HU(VRGI) [\sum_{KOMB=6}^{7} EGT(KOMB,VRGI,VU-$$
$$TI,TTR,VTR,J,K) \cdot$$
$$\cdot VRGI(KOMB,VRGI,VUTI,TTR,VTR,J,K)] +$$
$$+ EGT(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR,J,K)$$
$$\eta(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(IG,VUTI,K) \cdot$$
$$\cdot HU(VRGI)\,VRGI(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR,J,K)] +$$
$$+ \sum_{VUTI=4}^{5} \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \sum_{J} [\eta(VT,VRGI,$$
$$VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(VT,VUTI,K)\,HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot [\sum_{KOMB=2}^{5} EGT(KOMB,VRGI,$$
$$VUTI,TTR,VTR,K)\,VRGI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K)] +$$
$$+ \eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\,\zeta(ST,VUTI,K)\,HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot [\sum_{KOMB=6}^{7} EGT(KOMB,VRGI,VUTI,TTR,VTR,K)$$
$$VRGI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K)] +$$
$$+ EGT(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR,K)\,\eta(IG,VRGI,VUTI,$$
$$TTR,VTR)\,\zeta(IG,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,VRGI(IG,VRGI,VUTI$$
$$TTR,VTR,K) + \eta(IG,VRGI,VUTI,$$
$$TTR,VTR) \cdot \zeta(IG,VUTI,K)\,HU(VRGI)\,VRGI(IG,VRGI,VU-$$
$$TI,TTR,VTR,K)] +$$
$$+ \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} [\eta(ST,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K)$$
$$\zeta(ST,TOIG,K)\,HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot [\sum_{KOMB=6}^{7} EGT(KOMB,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K)$$
$$VRGI(KOMB,TOIG,TTR,VTR,K)] +$$
$$+ EGT(IG,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K)\,\eta(IG,VRGI,TOIG,TTR,$$
$$VTR,K)\,\zeta(IG,TOIG,K) \cdot$$
$$\cdot VRGI(IG,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K)] +$$
$$+ \sum_{VTR} [\sum_{KOMB=6}^{7} EGT(KOMB,UR,TOG,VTR,K)$$
$$\zeta(ST,TOG,K)\,QPS(KOMB,UR,TOG,VTR,K) +$$
$$+ EGT(IG,UR,TOG,VTR,K)\,\zeta(IG,TOG,K)$$
$$QVV(IG,UR,TOG,VTR,K)]\} \qquad (I-67)$$

Opća potrošnja i industrija

OGRANIČENJA GORIVA

Lignit

$$\left[\begin{array}{l}\text{Članovi iz jedn. gor-}\\ \text{njeg ograničenja za}\\ \text{opću potrošnju}\end{array}\right] + \left[\begin{array}{l}\text{Članovi iz jedn. gor-}\\ \text{njeg ograničenja za}\\ \text{industriju}\end{array}\right] \leq$$
$$\leq LI(OP) + LI(I) \qquad (I-68)$$

Analogno za ostala goriva

OGRANIČENJE ZBOG ONEČIŠĆENJA ZRAKA

$$\chi_R \geq \sum_{K=1}^{N} [\sum_{VUT} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \frac{\chi(VUT,TTR,VTR,R,K)}{EM(VUT,TTR,VTR,K)} \sum_{VRG}$$
$$ke(VRG,VUT,TTR,VTR)[VRG(G,VUT,TTR,VTR,K) +$$
$$+ VRG(G+PV,VUT,TTR,VTR,K)] +$$
$$+ \frac{\chi(P,R,K)}{EM(PV,P,K)} [VRG(PV,P,K) + VRG(K,P,K)]] +$$
$$\sum_{K=1}^{IN} [\sum_{VUTI} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \frac{\chi(VUTI,TTR,VTR,R,K)}{EM(VUTI,TTR,VTR,K)}$$
$$ke(VRGI,VUTI,TTR,VTR)$$
$$\cdot VRGI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K)] \qquad (I-69)$$

Nejednadžbe ovog tipa postavljaju se za »kritične točke« detektirane CDMQ programom te za područja s posebnim zahtjevima u pogledu čistoće zraka (bolnice, rekreacione zone itd.).

Prethodno je potrebno odrediti udio imisija od neenergetskih procesa i izvora koji nisu uključeni u model optimiranja, a smanjuju kapacitet te prijem imisije štetnih tvari iz energetskih procesa, tako da je:

$$\tilde{\chi}_R = \chi_{VI_R} - \chi_{bgR} \;/\; mg/m^3 \;/ \qquad (I-70)$$

gdje je:

χ_{IV_R} — granična vrijednost imisije (SG VI ili GVI), na mjestu opažanja R /mg/m³/

χ_{bgR} — pozadinska (temeljna) koncentracija na mjestu opažanja R koja potječe od neenergetskih izvora zagađenja.

FUNKCIJA CILJA

$$TU = TU(OP) + TU(I) = \left[\begin{array}{l}\text{Članovi iz jedn.}\\ \text{troškova za op-}\\ \text{ću potrošnju}\end{array}\right] + \left[\begin{array}{l}\text{Članovi iz jedn.}\\ \text{troškova za in-}\\ \text{dustriju}\end{array}\right] \qquad (1-71)$$

POTREBE ELEKTRIČNE ENERGIJE U INDUSTRIJI U KASETI K

$$\Big\{ ELE(NSEK,K) + \sum_{J} ELE(D,J,K) +$$
$$+ \sum_{VRG=1}^{10} \sum_{J} P(ELE,D,VRGI,PE,J,K) \cdot$$
$$\cdot \eta(D,VRGI,IPE,J,K)\, HU(VRGI)\, VRGI(D,J,K) +$$
$$+ \sum_{VUTI=2}^{3} \sum_{VRGI=4}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \sum_{J} \Big[P(ELE,VT,VRGI,$$
$$VUTI,TTR,VTR,J,K) \cdot$$
$$\cdot \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\, \zeta(VT,VUTI,K)\, HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot \sum_{KOMB=2}^{5} VRGI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,J,K) +$$
$$+ P(ELE,ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR) \cdot$$
$$\cdot HU(VRGI)\, \eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR) \cdot (ST,VUTI,K) \cdot$$
$$\cdot \sum_{KOMB=6}^{7} VRGI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,J,K) +$$
$$+ P(ELE,IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR,J,K) \cdot$$
$$\cdot \eta(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\, \zeta(IG,VUTI,K)\, HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot VRGI(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR,J,K) \Big] +$$
$$\sum_{VUTI=4}^{5} \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \Big[P(ELE,VT,$$
$$VRGI,VUTI,TTR,VTR,J,K) \cdot$$
$$\cdot \eta(VT,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\, \zeta(VT,VUTI,K)\, HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot \sum_{KOMB=2}^{5} VRGI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K) +$$
$$+ P(ELE,ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR,K) \cdot$$
$$\cdot \eta(ST,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\, \zeta(ST,VUTI,K)\, HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot \sum_{KOMB=6}^{7} VRGI(KOMB,VUTI,TTR,VTR,K) +$$
$$+ P(ELE,IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR,K) \cdot$$
$$\cdot \eta(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR)\, \zeta(IG,VUTI,K)\, HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot VRGI(IG,VRGI,VUTI,TTR,VTR,K) \Big] +$$
$$+ \sum_{VRGI=5}^{11} \sum_{TTR} \sum_{VTR} \Big[P(ELE,ST,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K)$$
$$\eta(ST,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K) \cdot \zeta(ST,TOIG,K)\, HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot \sum_{KOMB=6}^{7} VRGI(KOMB,TOIG,TTR,VTR,K) +$$
$$+ P(ELE,IG,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K) \cdot$$
$$\cdot \eta(IG,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K)\, \zeta(IG,TOIG,K)\, HU(VRGI) \cdot$$
$$\cdot VRGI(IG,VRGI,TOIG,TTR,VTR,K) \Big] +$$
$$+ \sum_{VTR} \sum_{KOMB=6}^{7} \Big[P(ELE,ST,UR,TOG,VTR,K)$$
$$\zeta(ST,TOG,K)\, QPS(KOMB,TOG,VRT,K) +$$
$$+ P(ELE,IG,UR,TOG,VTR,K)\, \zeta(IG,TOG,K)$$
$$QVV(IG,UR,TOG,VRT,K) \Big] \Big\} - EL(I,K) = 0 \qquad (I-72)$$

Potrebna električna energija u industrijskoj kaseti određuje se pošto je izračunata optimalna struktura. Zbog toga je u jednadžbi uvrštavamo kao nepoznanicu. Ove potrebe uključene su u funkciji cilja, preko ekvivalentnih godišnjih troškova koje množimo s baznim varijablama industrijske kasete K.

LITERATURA

(1) R. Tepšić: *Financijska efikasnost investicijskih mogućnosti,* Financije udruženog rada, br. 33 i 34, informator, travanj — svibanj, 1982.

(2) D. O. Martin, A. Tikvard: *A Climatological Model for multiple Source Urban Air Polution,* 1973.

KEY WORDS: POWER SUPPLY, OPTIMIZATION, MATHEMATICAL MODEL

MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZATION OF POWER SUPPLY IN URBAN AREAS

In the article is described an original mathematical model for optimization of power supply in urban areas, that is based on method of linear programing. Non linear relations due to taking in account restrictions in air pollution, are solved by interactiv use of optimization model and model for air pollution, and non linear relations due to considering central heat supply, are solved by iterative way.

MATHEMATISCHES MODELL FÜR DIE BESTMÖGLICHE ENERGIEVERSORGUNG DER BESIEDELTEN GEBIETE

In der Abhandlung wurde ein originelles mathematisches Modell für die bestmögliche Energieversorgung der besiedelten Gebiete geschildert und zwar nach der Methode des linearen Programmierens.
Nichtlineare Verhältnisse die hervortreten wenn man die Begrenzung der Umweltverschmutzung in Betracht nimmt, werden durch das interaktive Benutzen des Modells für die bestmögliche Energieversorgung der besiedelten Gebiete und der Modelle die die Luftverschmutzung feststellen können, überwunden.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Описана оригинальная математическая модель оптимизации энергоснабжения пределеов городской застройки, осмованная на методе линеарного прогнозирования. Нелинеарные соотношения, возникающие при включении в обсуждение ограничений загрязнения воздуха смягчаются интерактивным использованием модели оптимизации энергоснабжения пределов городской застройки и модели определения загрязнения воздуха, а нелинеарность в связи с включение в рассмотрение централизованного теплоснабжения решается итеративным путем.

Naslov pisaca:

dr Duško Čorak, dipl. inž.
Vladimir Jelavić, dipl. inž.
Zdravko Mužek, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu, 41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 09 – 02

O ASINHRONOM UKLAPANJU GENERATORA KOD BRZOG AUTOMATSKOG PONOVNOG UKLAPANJA

mr Božidar Filipović, Zagreb

UDK 621.313.1

PREGLEDNI RAD

U članku je prikazana pojednostavljena metoda proračuna elektromagnetskih momenata i analiziran primjer kvara u mreži, prilikom kojeg je došlo do oštećenja generatora.

Ključne riječi: asinhroni uklop, generator, automatsko ponovno uklapanje.

1. UVOD

U elektroenergetskom sistemu (EES) pojavljuje se često slučaj da pojedina postrojenja rade paralelno sa EES samo preko jednog DV-a. Takvi slučajevi mogući su i u postrojenjima s više vodova (npr. 2) kada su neki od vodova isključeni zbog kvara ili remonta.

VN vodovi u našem EES štićeni su distantnom zaštitom i opremljeni uređajima za brzi automatski ponovni uklop (APU). Uređaji za APU programirani su tako da omogućuju izbor ovih varijanti rada:

- APU je blokirano, tj. svi kvarovi i prolazni i trajni isklapaju se definitivno. Ovakav režim rada se izbjegava jer je najveći broj kvarova, oko 80 %, prolaznog karaktera koji se mogu eliminirati s tehnikom brzog APU. Blokada APU dovodi dakle do nepotrebnih ispada u EES.
- Tropolno APU, kod kojega se svi kvarovi isklapaju tropolno. Nakon beznaponske pauze koja za tropolni APU iznosi otprilike 0,3 s uređaj uklapa DV. Ako je kvar elimininiran, DV ostaje u pogonu; u protivnom DV se isklapa definitivno.
- Jednopolno APU, kod kojega se ponovni uklop izvršava samo kod jednopolnih kvarova, a tropolni kvarovi se isklapaju definitivno bez pokušaja APU. Beznaponska pauza kod jednopolnog APU u mrežama 110 kV obično iznosi 0,7 s.
- Jednopolno + tropolno APU, kod kojega se jednopolni kvarovi isklapaju (i ponovno uklapaju) jednopolno a tropolni kvarovi tropolno. Beznaponske pauze su 0,3 s i 0,7 s, a obavlja se samo jedan pokušaj APU.

APU se, dakako, izvršava obostrano i istovremeno na oba kraja DV-a što kod prolaznih kvarova omogućuje gašenje luka i uspostavljanje izolacione čvrstoće. APU se izvodi bez provjere sinhronizma.

Poznato je da prekid veze između dijelova EES dovodi do asinhronog rada pojedinih dijelova i da se u ovisnosti o veličini debalansa aktivne snage mijenja frekvencija i napon, odnosno fazni pomak među naponima. Kod ponovnog uklapanja pojavljuju se zbog faznih pomaka prijelazne pojave praćene velikim strujama izjednačenja i velikim elektromagnetskim momentima koji mogu ugroziti generatore u EES. Proračuni i ispitivanja pokazali su da je u slučaju većih dužina, odnosno reaktancija vodova koji povezuju dijelove EES, asinhrono uklapanje dozvoljeno i ne predstavlja opasnost za pojedine elemente EES.

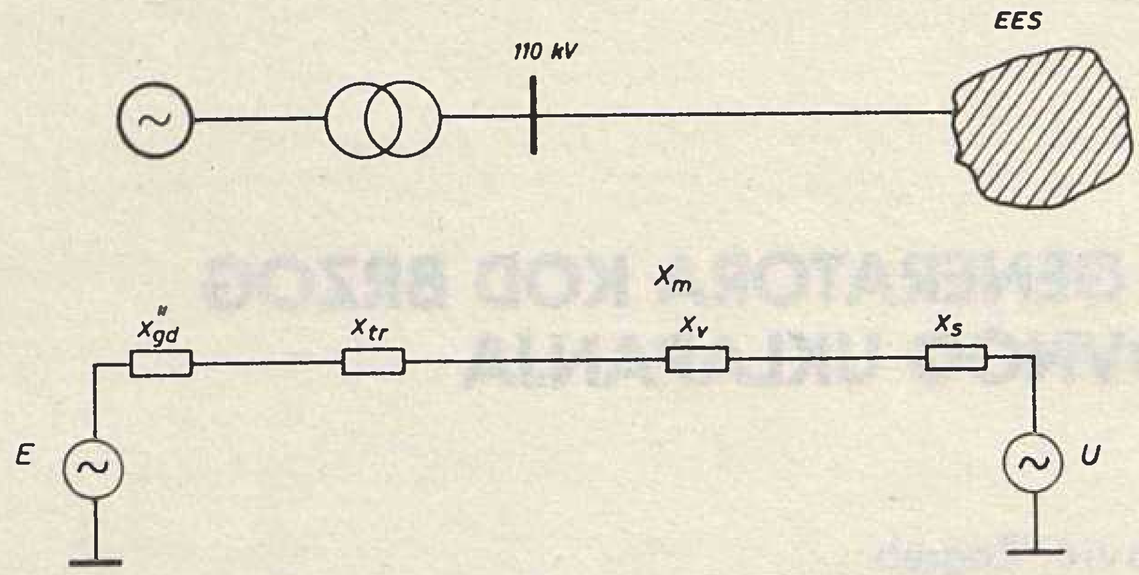
Uvažavajući koristi od APU, bilo bi, dakako, neopravdano odustati od njegove primjene ili ga u svim slučajevima uvjetovati ugradnjom složenih uređaja za kontrolu sinhronizma, ali, s druge strane, ne smiju se potcijeniti opasnosti asinhronog uklapanja.

U skladu s time možemo izvesti sljedeći zaključak: automatsko ponovno uklapanje bez kontrole sinhronizma dozvoljeno je u svim slučajevima ako struje i elektromagnetski momenti koji se u tim slučajevima pojavljuju nisu veći od struja i momenata koji se pojavljuju kod tropolnog kratkog spoja na stezaljkama generatora prema kojima su generatori dimenzionirani.

Problem električnih i mehaničkih naprezanja generatora kod poremećaja u EES (kratkih spojeva, pogrešne sinhronizacije, isklapanja ks) obrađeni su u stručnoj literaturi. Ovdje je opisana jednostavna metoda za brzu provjeru mogućnosti asinhronog uklopa kod brzog APU.

2. VELIČINA UDARNIH STRUJA KOD KRATKOG SPOJA I ASINHRONOG UKLJUČIVANJA HIDROGENERATORA

Na sl. 1 prikazana je hidroelektrana vezana na EES samo jednim DV-om 110 kV i nadomjesna shema te



Slika 1. Priključak hidroelektrane na EES s jednim vodom i nadomjesna shema

mreže. Razmatranja će se zbog jednostavnosti provesti samo za hidrogeneratore s prigušnim namotom. Asinhrono uključivanje turbogeneratora i hidrogeneratora bez prigušnih namotaja provodi se na sličan način i ovdje se ne razmatra.

Maksimalna veličina udarne struje kratkog spoja, zanemarujući istosmjernu komponentu, kod kratkog spoja na stezaljkama generatora jest

$$I_k = \frac{2\,E''_d}{X''_{dg}} \qquad (1)$$

a kod asinhronog uklopa

$$I_{ns} = \frac{2\,(U+E)}{X''_d} \qquad (2)$$

gdje su

E'' — inducirana ems

X''_{dg} — suptranzijentna uzdužna reaktancija generatora;

X'' — suptranzijentna reaktancija generatora i vanjske mreže $X''_d = X''_{dg} + X''_m$ (transformator + mreža)

U — napon mreže.

Obično se kratki spoj računa uz $E'' = 1{,}05$. Za hidrogeneratore se kod rasterećenja, zbog povećanja broja okretaja, računa s ems $E = 1{,}5$. Iz (1) i (2) dobivamo:

$$\frac{I_{ns}}{I_k} = f\left(\frac{X_m}{X''_{dg}}\right) = \frac{2{,}38}{1 + \dfrac{X_m}{X''_{dg}}} \qquad (3)$$

Iz uvjeta jednakosti struje kod kratkog spoja i asinhronog uklapanja iz (3) dobivamo:

$$\frac{X_m}{X''_{dg}} \geq 1{,}38 \qquad (4)$$

Izrazi (3) odnosno (4) definiraju uvjete kod kojih je asinhrono uklapanje moguće s obzirom na dozvoljene veličine struje. Struja asinhronog uklapanja izražena je pomoću struje tropolnog kratkog spoja na stezaljkama generatora.

3. VELIČINE MOMENATA KOD KRATKOG SPOJA I ASINHRONOG UKLAPANJA HIDROGENERATORA

Za hidrogeneratore s prigušnim namotom moment kod kratkog spoja na stezaljkama generatora, zanemarujući istosmjernu komponentu, definiran je izrazom

$$m_k = E''^2_d \left(\frac{1}{X''_{dg}} \sin t - \frac{1}{2}\,\frac{X''_{qg} - X''_{dg}}{X'_{qg} \cdot X'_{dg}} \right) \qquad (5)$$

gdje su X''_{qg}, X''_{dg}, X'_{qg} i X'_{dg} uzdužne i poprečne suptranzijentne i tranzijentne reaktancije. Kod asinhronog uklapanja hidrogeneratora s prigušenim namotom jednadžba momenta, uz zanemarenje aperiodske komponente struje i kod klizanja $s = o$, glasi:

$$\begin{aligned} m_{ns} = U^2 \frac{X''_{qg} - X''_d}{X''_{qg} \cdot X''_d} \Big/ & \sin(2\delta_{12} + t) - \frac{1}{2}\sin 2\,(\delta_{12} + t) - \frac{1}{2}\sin 2\,\delta_{12} \Big/ + \\ & + E^2 \Big/ \frac{1}{X''_d} \sin t - \frac{1}{2}\,\frac{X''_{qg} - X''_d}{X''_{qg} \cdot X''_d} \sin 2t \Big/ + UE \Big\{ \frac{1}{X''_d} \Big/ \sin\delta_{12} \\ & - \sin(\delta_{12} + t) \Big/ - \frac{X''_{qg} - X''_d}{X''_{qg} \cdot X''_d} \Big/ \\ & \sin(\delta_{12} t) - \sin(\delta_{12} + 2t) \Big/ \Big\} \end{aligned} \qquad (6)$$

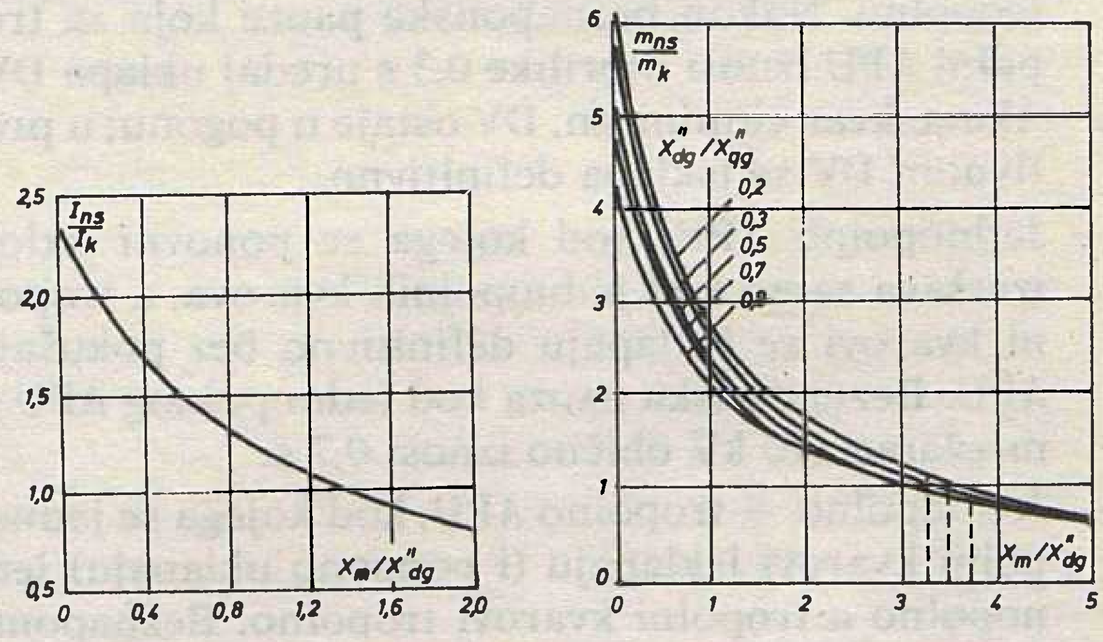
gdje je δ_{12} kut uklapanja (između U i E). Ostale veličine imaju isto značenje kao u prethodnim izrazima.

Slično kao za struje možemo za momente definirati uvjete kada je asinhrono APU dozvoljeno. Omjer momenata kod asinhronog uklopa i kratkog spoja dan je kao funkcija odnosa vanjske reaktancije (mreže) i suptranzijentne uzdužne reaktancije generatora, dakle

$$\frac{m_{ns}}{m_k} = f\left(\frac{X_m}{X''_{dg}}\right) \qquad (7)$$

Na sl. 2. prikazani su dijagrami dobiveni iz (3) i (7), iz kojih se vidi kada je asinhrono uklapanje dozvoljeno. Iz slike se vidi da je asinhrono uklapanje dozvoljeno ako je

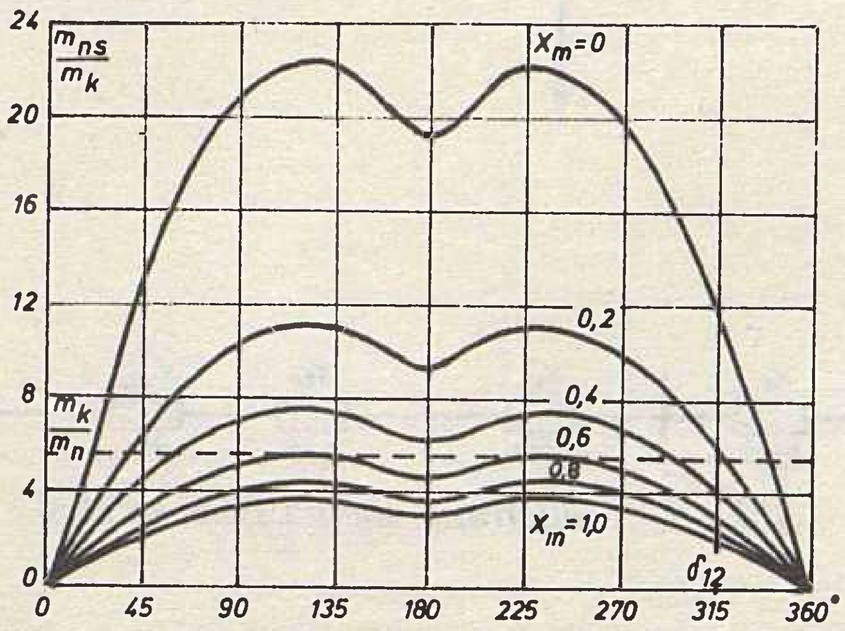
$$X_m \geq (3{,}25 - 3{,}8)\, X''_{dg} \qquad (8)$$



Slika 2. Maksimalne veličine struje i momenata kod nesinhronog uklopa (U= 1,0; E= 1,5; E''= 1,05)

Usporedbom slike 2.a i 2.b proistječe da je ograničavajući faktor asinhronog uklopa veličina momenta. Ako je dakle, asinhrono APU dozvoljeno s obzirom na veličinu momenta, onda je dozvoljeno i s obzirom na veličinu struje.

Iz jednadžbe (6) vidi se da je asinhroni moment ovisan o kutu δ_{12} između napona mreže i ems generatora, tj. o dužini beznaponske pauze APU odnosno trenutku uklapanja. Na sl. 3. dane su veličine relativnih momenata kao funkcija kúta uklapanja δ_{12} za različite vrijednosti X_m kao parametar. Maksimalni momenti dobivaju se za $\delta_{12} \approx 135°$.



Slika 3. Momenti kod asinhronog uključivanja generatora u ovisnosti o kutu uklapanja δ_{12} za različite veličine vanjske impedancije mreže X_m
($X_d = 0,718$; $X'_{dg} = 0,2$; $X''_{qg} = 0,21$; $U = 1,0$; $E = 1,5$; $E''_d = 1,05$

U praktičnim proračunima, naročito kada se želi brzo provjeriti da li je asinhrono APU dozvoljeno, prikladnije je računati s maksimalnim simetričnim strujama statora kod asinhronog uklopa nego s momentima. Iz jednadžbi (3) i (7):

$$\frac{I_{ns}}{I_k} = f\left(\frac{X_m}{X''_{dg}}\right); \quad \frac{m_{ns}}{m_k} = f\left(\frac{X_m}{X''_{dg}}\right)$$

moguće je dobiti ovisnost

$$\frac{m_{ns}}{m_k} = f\left(\frac{I_{ns}}{I_k}\right) \tag{9}$$

U dosadašnjim razmatranjima zanemarena je aperiodska komponenta struje statora. Proračuni pokazuju da ona snižava veličinu elektromagnetskog momenta, pa je na bazi tih proračuna, umjesto (8), definiran sljedeći uvjet:

$$X_m \geq (2,4 - 2,8)X''_{dg} \tag{10}$$

gdje se manja vrijednost odnosi na generatore s prigušnim namotima.

Iz uvjeta (10) uz neznatna zaokruživanja dobivamo pojednostavljeni kriterij za asinhrono uklapanje izražen pomoću nominalne struje generatora:

$$\frac{I_{ns}}{I_n} \leq \frac{0,625}{X''_{dg}} \tag{11}$$

Taj kriterij se koristio u sovjetskoj praksi. Da se podsjetimo: izraz (11) dobiven je uz pretpostavku da ems generatora može, za vrijeme dok je generator odvojen od EES, značajno porasti (na 1,5). U praksi se pokazalo da u mnogim slučajevima ne dolazi do tolikog povećanja napona, pa je usvojeno da se računa s porastom napona od 5 %. Zbog toga (11) prelazi u

$$\frac{I_{ns}}{I_n} \leq \frac{0,84}{X''_{dg}} \tag{12}$$

što je znatno blaži uvjet.

Struja asinhronog uklapanja određuje se iz izraza:

$$I_{ns} = \frac{E+U}{X_{rez}} \tag{13}$$

gdje su

U_l — napon sistema (1,05);
E — ems generatora (1,05);
X_{rez} — rezultanta reaktancije ekvivalentne sheme.

Ukupna struja asinhronog uklapanja dijeli se na elemente sistema. Dio koji prolazi kroz generator uspoređuje se s dozvoljenim strujama definiranim izrazima (11) odnosno (12) i na osnovi toga određuje da li je asinhrono uklapanje odnosno tropolno APU na tom vodu dozvoljeno.

Kod proračuna se mora uzeti u obzir da isklapanje pojedinih generatora, transformatora i sl. povećava struje asinhronog uklapanja na preostalim generatorima u postrojenju.

Provjera da li je asinhrono APU dozvoljeno vrši se bez utjecaja tereta priključenog u tom čvoru. Ako je struja asinhronog uklopa veća od dozvoljene, treba provesti dodatni proračun, uzimajući u obzir opterećenje čvora koje smanjuje struju kroz generator jer se ukupna struja dijeli na generator i teret.

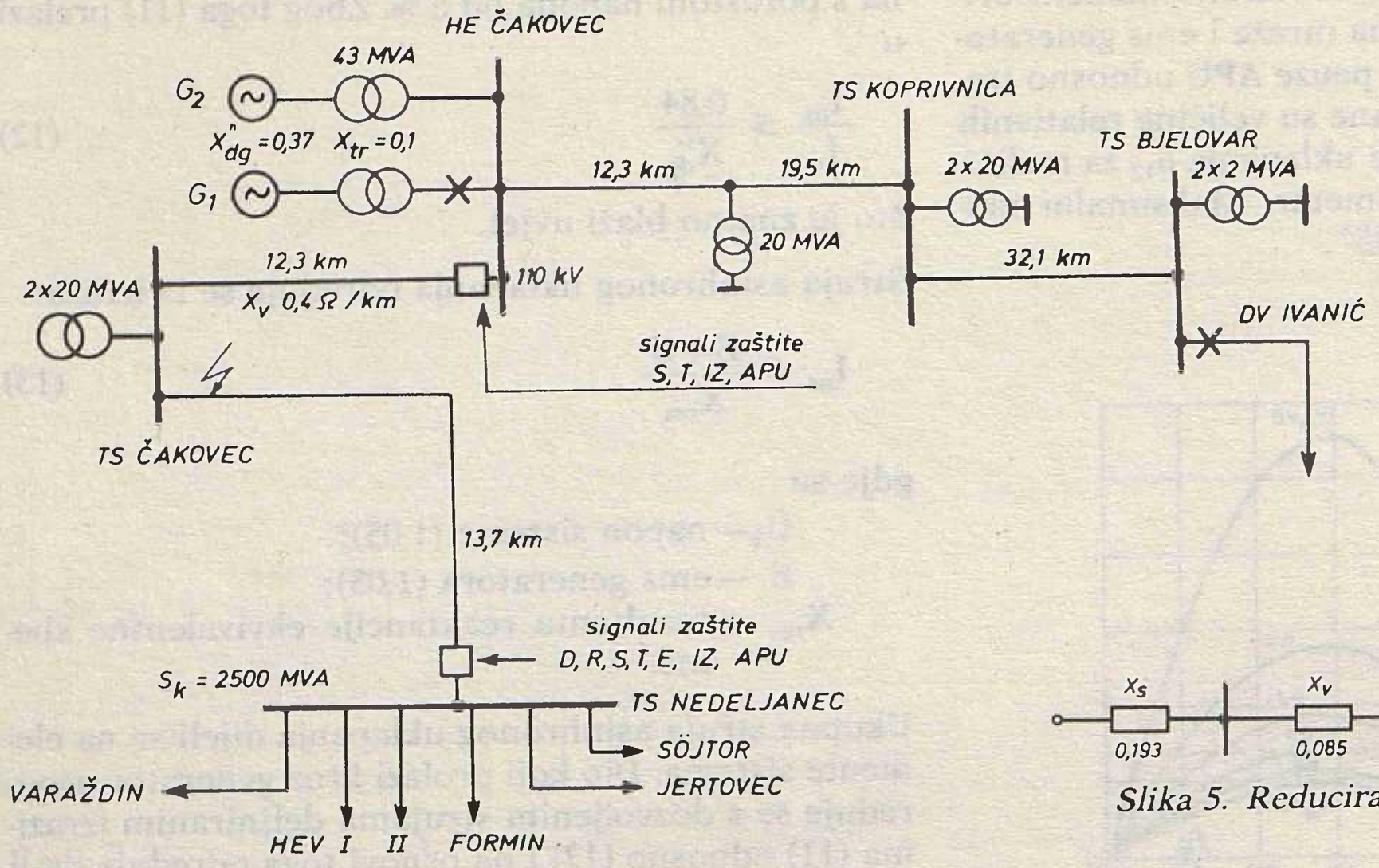
Na kraju treba spomenuti da nakon asinhronog APU u pravilu dolazi do ponovne (pogrešne) prorade zaštite, zbog struja izjednačenja, i definitivnog isklapanja DV-a. U tom slučaju, prema (L. 3), pojavljuju se visoki dodatni elektromagnetski i mehanički momenti.

4. PRIMJER PRORAČUNA

Na sl. 4. prikazan je dio EES za koji ćemo izvršiti provjeru da li je brzo tropolno APU dozvoljeno. Taj dio mreže izabran je zbog toga što je nakon kvara u mreži te prorade zaštite i tropolnog APU došlo do oštećenja u HE Čakovec.

Na slici je naznačeno uklopno stanje, osnovni parametri mreže, mjesto kvara, prorada distantne zaštite i rad APU. Budući da je u TS Bjelovar DV Ivanić bio iskopčan, HE Čakovec je ostala vezana na EES samo s jednim vodom u TS Nedeljanec (preko TS Čakovec). Druga bitna konstatacija je, ne upuštajući se u detaljniju analizu rada zaštite, da je na vodu došlo do tropolnog APU. Prema tome, ostvarene su obje pretpostavke koje su diskutirane u točki 1.

Proračun ćemo provesti prvo uz zanemarenje opterećenja u TS Čakovec i HE Čakovec, a nakon toga uzet će se u obzir opterećenje u HE Čakovec (opterećenje TS Koprivnica i TS Bjelovar).



Slika 4. Parametri EES, uklopno stanje i signali zaštite

Reducirana shema EES prikazana je na sl. 5. Veličine su preračunate na baznu snagu 100 MVA.

Struja asinhronog uklapanja je

$$I_{ns} = \frac{U+E}{X_{rez}} = \frac{1}{1,27} = 1,653 \qquad (14)$$

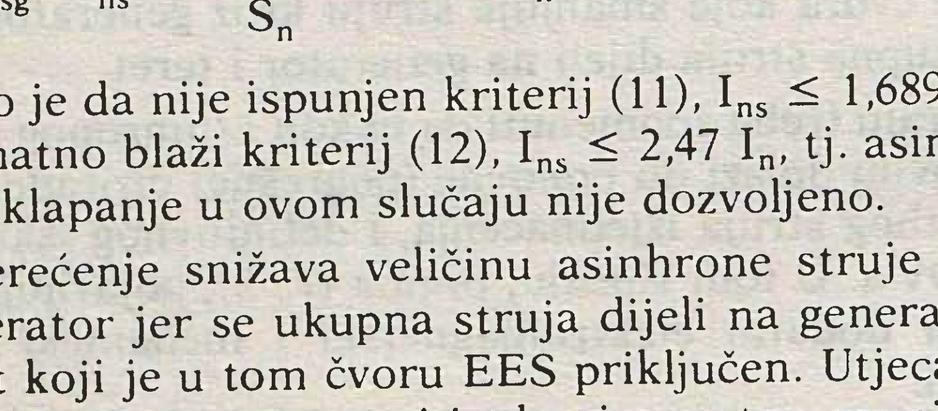
a struja asinhronog uklapanja generatora

$$I_{nsg} = I_{ns} \cdot \frac{S_b \cdot \cos\varphi}{S_n} = 3,46\, I_n \qquad (15)$$

Očito je da nije ispunjen kriterij (11), $I_{ns} \leq 1,689\, I_n$ a ni znatno blaži kriterij (12), $I_{ns} \leq 2,47\, I_n$, tj. asinhrono uklapanje u ovom slučaju nije dozvoljeno.

Opterećenje snižava veličinu asinhrone struje kroz generator jer se ukupna struja dijeli na generator i teret koji je u tom čvoru EES priključen. Utjecaj tereta može se zanemariti ako je znatno manji od ukupne snage koja se generira u čvoru. Obično se opterećenje uzima u proračun s naponom $E = 0,9 - 1$ i relativnom reaktancijom $X_t = 0,35$ u odnosu na nominalnu snagu.

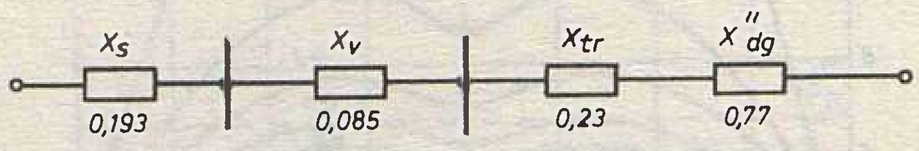
Pretpostavimo da je ukupno opterećenje TS Koprivnica i TS Bjelovar u HE Čakovec 60 MVA. Nadomjesna shema za taj slučaj dana je na sl. 6.



Slika 6. Utjecaj tereta u HE Čakovec

Reaktancija tereta preračunata na baznu snagu jest

$$X_t = 0,35 \frac{S_b \cos\varphi}{P_t} = 0,525 \qquad (16)$$



Slika 5. Reducirana shema EES sa sl. 4

Ukupna reaktancija za ovaj slučaj je $X_{rez} = 0,622$. Ekvivalentna ems generatora E i tereta E_t računa se iz izraza

$$E_e = \frac{E\,X_t + E_t(X''_{dg} + X_{tr})}{X_t + X''_{dg} + X_{tr}} = 1,01 \qquad (17)$$

Struja asinhronog uklopa je

$$I_{ns} = \frac{E_e + U}{X_{rez}} = 3,31 \qquad (18)$$

Struja asinhronog uklopa generatora je

$$I_{nsg} = \frac{X_t}{X''_{dg} + X_{tr} + X_t} \cdot I_{ns} \cdot \frac{S_b \cos\varphi}{S_n} = 2,52\, I_n \qquad (19)$$

Ako se, dakle, uzme u obzir opterećenje, struja asinhronog uklopa generatora znatno je manja, ali i u ovom slučaju prelazi dozvoljene vrijednosti po oba kriterija.

Proračuni pokazuju da se kod asinhronog uklapanja pojavljuju elektromagnetski momenti znatno veći od momenata kod tropolnog kratkog spoja posebno u slučaju kada nema opterećenja što je pogonski realna situacija (isklopljen DV Koprivnica u HE).

Iako generator ima maksimalni moment $M_{max} = 5,28\, M_n$, a moment kod tropolnog kratkog spoja je $M_{k3} = 3,2\, M_n$, ovakva naprezanja sigurno nisu ugodna za generator a ni za ostalu opremu.

5. ZAKLJUČCI

Iako su ova razmatranja provedena uz izvjesna pojednostavljenja očito je ovo:

— Tropolno APU ne može se bez daljnjega primijeniti na svim DV-ima u EES zbog asinhronog uklapanja koja mogu ugroziti generatore i ostalu opremu.

— Ograničenje je uvjetovano veličinom momenata kojima su izloženi generatori kod asinhronog uklopa. Posebno su ugroženi aktivni dijelovi statora i temelji generatora.
— Dozvoljena struja asinhronog uklopa manja je od struje tropolnog kratkog spoja kod kratkog spoja na stezaljkama generatora.
— S obzirom na to trebalo bi uvijek izvršiti, makar približne, proračune da li je tropolno APU dozvoljeno. Posebno su kritični slučajevi kada su DV-i kratki, rasklopne snage EES velike a postrojenja takva da kod manevara ili remonta na DV-u ostaju vezana na EES samo s jednim DV-om.
— Kod asinhronog APU obično dolazi do pogrešne prorade zaštite nakon APU i definitivnog isklapanja voda. Pri tome se, prema (L. 3), pojavljuju posebno značajni elektromagnetski i mehanički momenti.
— U članku je prikazana jednostvna metoda za brzu provjeru da li je APU dozvoljeno. Ona sadrži određena pojednostavljenja i mogući su, dakako, točniji proračuni odnosno ispitivanja na modelima na kojima se mogu modelirati karakteristike tubine generatora, tereta i simulirati različite vrste kvarova.
— Na primjeru konkretne mreže i kvara koji se dogodio, iako pri tome nije hitnije oštećen sam generator, pokazano je da je opasnost od primjene tropolnog APU realna. Ne ulazeći u probleme dimenzioniranja generatora i ostale opreme te kvalitete izvedenih radova, za što autor nije ni kvalificiran, nema sumnje da se oštećenja koja su nastala mogu objasniti asinhronim uklopom generatora nakon tropolnog APU.

LITERATURA

(1) Gizila E. P.: *Rasčet ustroistv automatiki energosistem*, Kiev, 1974.

(2) Bölderl P. i dr.: *Die Torsionmomente in Turbinen und Generatorwellen bei Kurzschlüssen, Fehlsynchronisierung und Kurzschlussabschaltung*, ETZ-a (1975) H. 4.

(3) Abolins A. i dr.: *Effect of clearing short circuits and automatic reclosing on torsional stress and life expenditure of turbine-generator shafts*, IEEE PAS no. 1. 1976.

(4) Hačaturov A.: *Udarnjie toki i momenti pri nesinhronom vključenii generatorov*, Električestvo br. 2. 1955.

KEY WORDS: ASYNCHRONOUS SWITCHING, GENERATOR AUTOMATIC SWITCHING

ABOUT ASYNCHRONOUS SWITCHING OF GENERATORS BY QUICK AUTOMATIC REPEAT SWITCHING

In the article is presented a simplified method for calculation of electro magnetic moments and analysis of net fault that caused damage on generator.

ÜBER DAS ASYNCHRONE EINSCHALTEN DER GENERATOREN BEIM SCHNELLEN AUTOMATISCHEN WIEDEREINSCHALTEN

Im Artikel wurde die vereinfachte Methode der Berechnungen der elektromagnetischen Momente geschildert. Analysiert wurde ein Beispiel eines Netzausfalles wobei es zur Beschädigung der Generatoren kam.

ОБ АСИНХРОННОМ ВКЛЮЧЕНИИ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ПОВТОРНОМ ВКЛЮЧЕНИИ

В статье изложен упрощенный метод расчета электромагнитных моментов и проанализирован пример повреждение в сети, при котором произошло повреждение генератора.

Naslov pisca:

mr Božidar Filipović, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu,
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 04 – 29

PROJEKT

INA-PROJEKT, Radna organizacija za istraživanje, inženjering i izgradnju postrojenja i objekata sa n. sol. o. OOUR-a u sastavu SOUR-a INA-Industrija nafte, Zagreb,

Proleterskih brigada 78. Telefon 533-444 Telex 22228

INA-PROJEKT je nastao 1983. god. integracijom dviju poznatih radnih organizacija inženjerske djelatnosti, tj. INA-INŽENJERING-a, Zagreb, Proleterskih brigada 78, osnovanog 1967. godine i INDUSTROPROJEKT-a, Zagreb, Savska cesta 88a, osnovanog 1951. godine, te je tako postao jedna od najvećih inženjering organizacija u SFRJ. Kolektiv INA-PROJEKT-a obuhvaća preko 1400 iskusnih radnika raznih specijalnosti od kojih je preko 40% sa visokom stručnom spremom, dok je i većina ostalih sa višom ili srednjom stručnom spremom.

Organizaciono INA-PROJEKT se sastoji od tri OOUR-a i jedne Radne zajednice:

OOUR — Inženjering (oko 1050 uposlenih)
OOUR — Proizvodnja i razvoj specijalne opreme (oko 100 uposlenih)
OOUR — Kompleksna geološka istraživanja (oko 100 uposlenih)
RZ — Radna zajednica (oko 200 uposlenih) obavlja zajedničke poslove za sve OOUR-e kao što su financijski, planski, pravni, kadrovski i drugi opći poslovi.

OOUR — INŽENJERING, Proleterskih brigada 78, Zagreb

Izrađuje i nudi za naftnu, petrokemijsku i kemijsku industriju, za industriju obojenih metala, za energetske objekte:

— Predinvesticijsku dokumentaciju, kao što su studije procesa, tržišta, lokacije itd., te kompletne investicijske programe.
— Projektnu i izvedbenu dokumentaciju
— Nabavku opreme i materijala.
— Organizaciju, planiranje i nadzor pri izgradnji.
— Specijalne usluge pri izgradnji.
— Obuku kadrova, puštanje u pogon, predaja postrojenja.
— Izgradnju objekata »pod ključ«.

OOUR — PROIZVODNJA I RAZVOJ SPECIJALNE OPREME, Savska cesta 88a, Zagreb

Proizvodi i nudi:

— Razne vrste ventila, redukcione i mjerne plinske stanice.
— Pumpne stanice, vakum pumpe.
— Instalacije za loženje u manjim industrijama, zgradama i slično.

OOUR — KOMPLEKSNA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA, Savska cesta 88a, Zagreb

Obavlja:

— Opće geološke istrage
— Istraživanja na mineralne sirovine
— Istraživanja energetskih izvora
— Hidrogeološka istraživanja
— Inženjersko-geološka i geotehnička istraživanja

VELIČINA GRADSKOG PODRUČJA KOJEG NAPAJAJU TS-VN/SN U ZAVISNOSTI OD PRIMENJENOG TIPA SN MREŽE

Branislav Nikolić, Kraljevo

UDK 621.316.1

PREGLEDNI RAD

Veličina gradskog područja koje napajaju TS-VN/SN u velikoj meri zavisi od primenjenog tipa SN mreže, jer u zavisnosti od tipa SN mreže zavisi veličina snage u rezervi. Ovo naročito dolazi do izražaja kod malog broja transformatorskih jedinica po jednoj TS-VN/SN.

Ključne riječi: gradsko područje, SN mreža.

1. UVOD

Teritorija svake elektrodistribucije sastoji se od:

— vangradskog područja i
— gradskog područja,

pri čemu pod gradskim područjem treba podrazumevati uže gradsko područje i šire, tj. prigradsko područje.

TS–VN/SN locirane na periferiji grada napajaju sva ova tri područja, dok TS–VN/SN locirane unutar grada napajaju samo gradsko područje. Ovo se mora imati na umu pri izračunvanju veličine gradskog područja koje mogu da napajaju TS–VN/SN, jer sva instalisana snaga transformatora u perifernoj TS–VN/SN ne stoji na raspolaganju za napajanje gradskog područja jer se baš iz njih napaja i vangradsko područje, budući da svi vazdušni vodovi za vangradsko područje polaze iz perifernih TS–VN/SN.

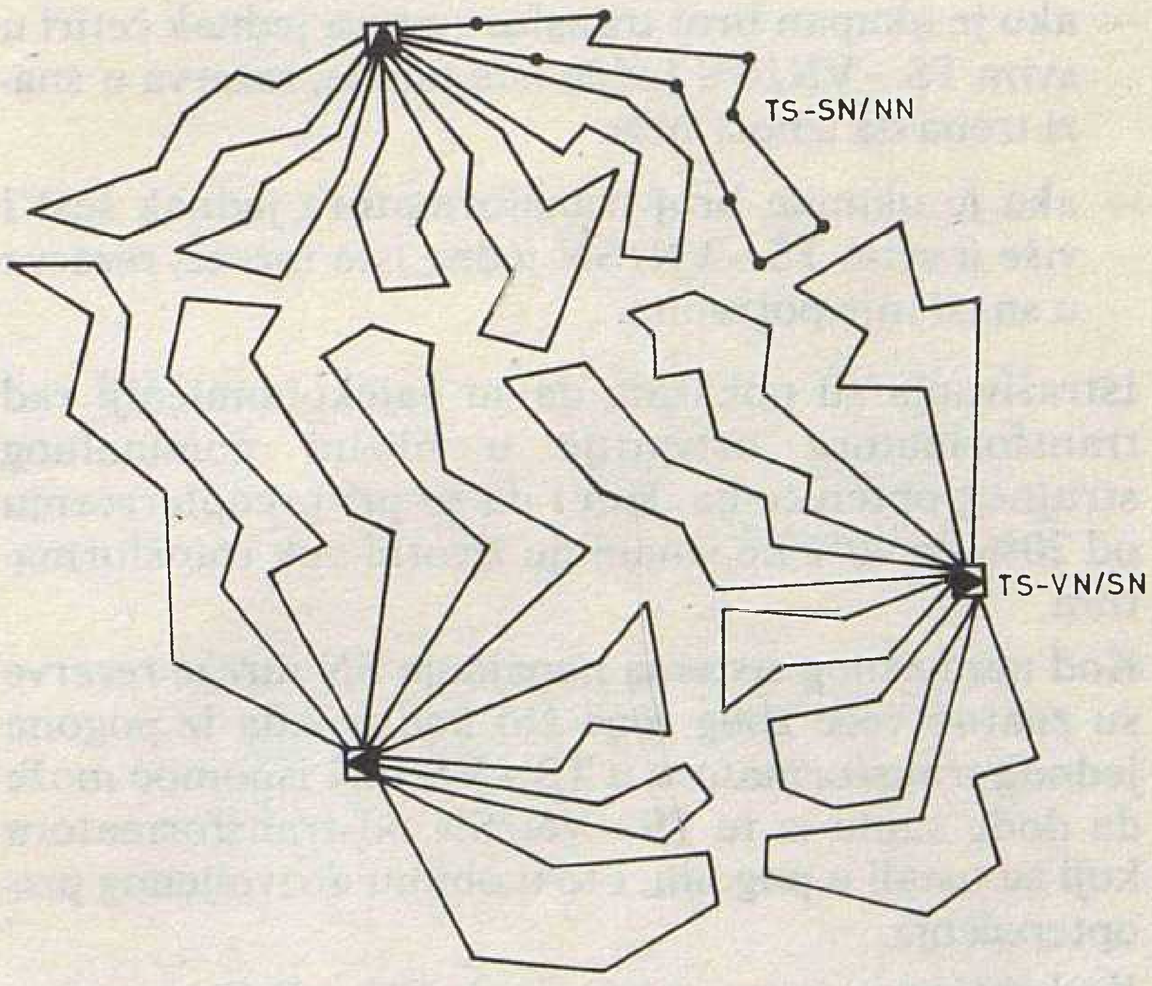
Na veličinu gradskog područja koje mogu da napajaju TS–VN/SN svakako utiče i tip SN mreže, jer u zavisnosti od tipa SN mreže zavisi i snaga u rezervi, pa i zbog toga sva instalisana snaga u TS–VN/SN ne stoji na raspolaganju za gradsko područje.

Razlikuju se dva osnovna sistema napajanja SN mreža:

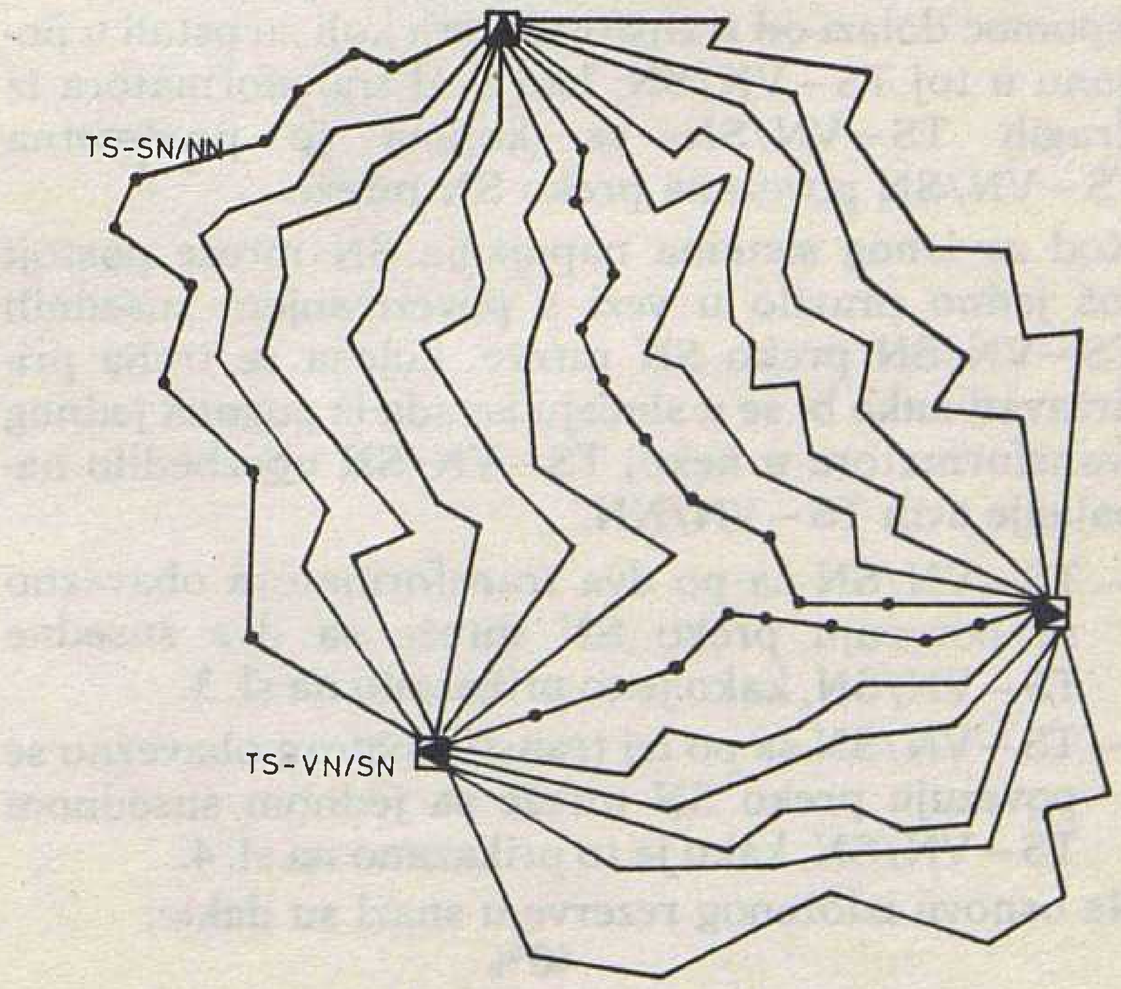
— nezavisan sistem i
— zavisan sistem.

Nezavisan sistem napajanja postoji kod tipa SN mreže »obruč« koji je prikazan na sl. 1.

Zavisan sistem napajanja postoji kod tipa SN mreže »vreteno«, tj. »poluvreteno«, koji je prikazan na sl. 2.



Slika 1. Nezavisan sistem napajanja tip SN mreže »obruč«



Slika 2. Zavisan sistem napajanja tip SN mreže »vreteno«

2. REZERVE U SNAZI

Rezervama u snazi obezbeđujemo se od jednostrukog kvara, tj. od ispada iz pogona jednog transfor-

matora, čime se održava pouzdanost sistema na određenom nivou. U svetu se sve više pouzdanost proračunava, tj. vrednuje se izgubljena energija. Kod nas, na žalost, vrednovanje izgubljene energije kao faktora za ocjenu kvaliteta tehničkog rješenja ne nalazi širu primenu. Prihvatajući bar zasad rešavanje pitanja pouzdanosti rezervama u kapacitetima, može se o rezervama reći sledeće:

Kod zavisnog sistema napajanja SN mreže rezerve u kapacitetima se određuju na sledeći način:

— u TS – VN/SN s jednim transformatorom rezerva u snazi treba da iznosi 100%
— u TS – VN/SN sa dva transformatora rezerva u snazi treba da iznosi 40%
— u TS – VN/SN sa tri transformatora rezerva u snazi treba da iznosi 20%.

Kod zavisnog sistema napajanja SN mreže rezerve u kapacitetima se određuju na sledeći način:

— ako je ukupan broj transformatora jednak četiri u svim TS – VN/SN jedne iste mreže, rezerva u snazi treba da iznosi 10%
— ako je ukupan broj transformatora jednak šest i više u svim TS – VN/SN jedne iste mreže, rezerva u snazi nije potrebna.

Istraživanja su pokazala da se najekonomičniji rad transformatora ostvaruje u blizini nominalnog strujnog opterećenja, kao i da se pri preopterećenju od 20% do 30% ne smanjuje životni vek transformatora.

Kod nezavisnog sistema napajanja SN mreže rezerve su znatno veće zbog toga što kod ispada iz pogona jednog transformatora u TS – VN/SN ispomoć može da dođe samo iz te TS – VN/SN od transformatora koji su ostali u pogonu, i to u obimu dozvoljenog preopterećenja.

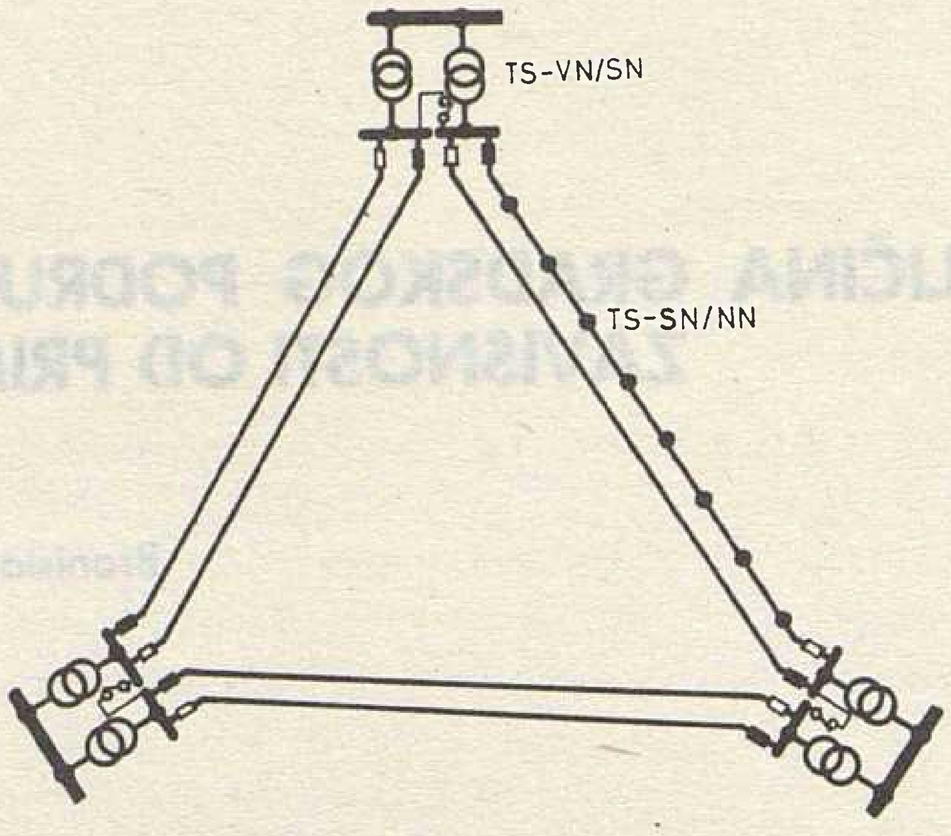
Kod zavisnog sistema napajanja SN mreže rezerve u snazi su manje zbog toga što u slučaju ispada iz pogona jednog transformatora u nekoj TS – VN/SN ispomoć dolazi od transformatora koji su ostali u pogonu u toj TS – VN/SN, kao i od transformatora iz drugih TS – VN/SN sa kojima je predmetna TS – VN/SN povezana preko SN mreže.

Kod zavisnog sistema napajanja SN mreže postoji još jedno pravilo u vezi s povezivanjem susednih TS – VN/SN preko SN mreže, kojega se treba pridržavati kako bi se u slučaju ispada iz pogona jednog transformatora u nekoj TS – VN/SN obezbedilo napajanje svih TS – VN/NN.

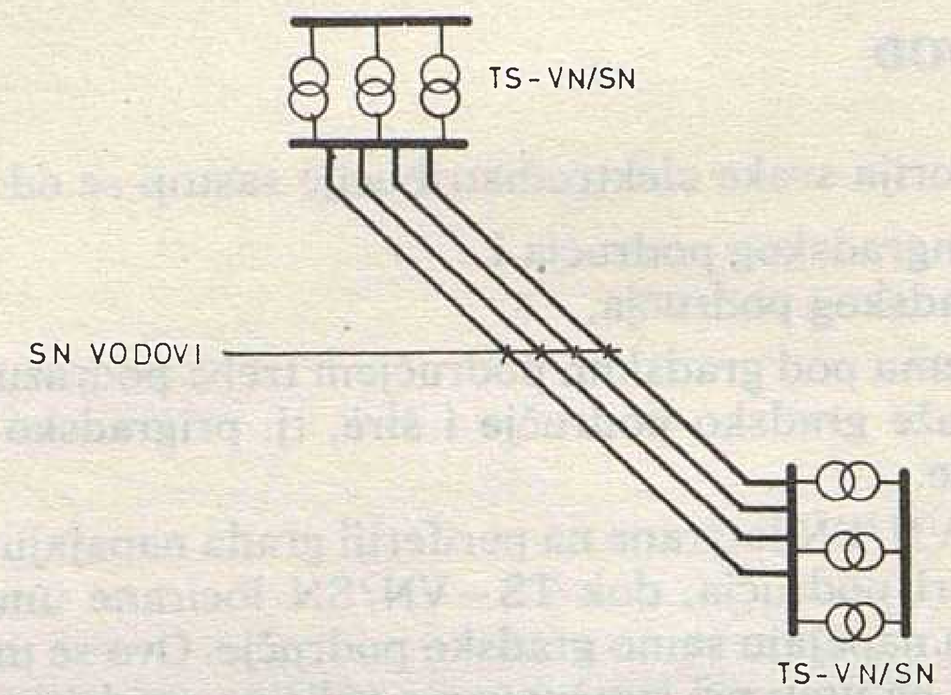
— TS – VN/SN sa po dva transformatora obavezno se povezuju preko SN mreže sa dve susedne TS – VN/SN, kako je to prikazano na sl. 3.
— TS – VN/SN sa po tri transformatora obavezno se povezuju preko SN mreže sa jednom susednom TS – VN/SN, kako je to prikazano na sl. 4.

Na osnovu izloženog rezerve u snazi su dakle:

40%
20% i
10%



Slika 3. Veza SN mreže za slučaj TS – VN/SN sa dva transformatora



Slika 4. Veza dve susedne TS – VN/SN sa po tri transformatora preko SN vodova

U proračunima se ta rezerva uzima u obzir preko faktora koji iznosi:

$$kr = \begin{matrix} 0{,}6 \\ 0{,}8 \\ 0{,}9 \end{matrix} \qquad (2.1)$$

3. RASPOLOŽIVA SNAGA

Pod raspoloživom snagom ovde će se podrazumevati snaga koja stoji na raspolaganju za potrebe gradskog područja. Ukupna instalisana snaga u jednoj TS – VN/SN jednaka je:

$$S_n = n \cdot S_{ln} \qquad (3.1)$$

gde je: n — broj transformatoriskih jedinica
S_{ln} — snaga jedne transformatorske jedinice.

Ako transformatorske jedinice nisu istih snaga, ukupna instalisana snaga u jednoj TS – VN/SN izračunava se po obrascu:

$$S_n = \sum_{i=1}^{n} Si \qquad (i = 1,2,....,n) \qquad (3.2)$$

Ako se radi o TS – VN/SN lociranoj unutar gradskog područja, raspoloživa snaga za gradsko područje se izračunava po obrascu:

$$S_{GR} = Sn - Sr \qquad (3.3)$$

gde je: Sr — potrebna snaga za rezervu.

Ako se radi o TS – VN/SN lociranoj na periferiji grada, onda je raspoloživa snaga za potrebe gradskog područja:

$$S_{GR} = Sn - (Sv + Sr) \qquad (3.4)$$

gde je: Sv — potrebna snaga za vangradsko područje.

Površina gradskog područja u km² koja se može napojiti iz TS – VN/SN instalisane snage Sn, tj. raspoložive snage za gradsko područje S_{GR} izračunava se po obrascu:

$$A^2 = \frac{S_{GR}}{\sigma} \qquad (3.5)$$

gde je: σ — površinska gustina opterećenja na gradskom području u MVA/km².

Bez obzira na tip SN mreže veće su površine gradskog područja koje se napajaju iz TS – VN/SN locirane unutar gradskog područja od površina gradskog područja koja se napajaju iz TS – VN/SN lociranih na periferiji jer je:

$$S_{GR} \text{ po } (3.3) > S_{gR} \text{ po } (3.4) \qquad (3.6)$$

Veličina snage za vangradsko područje rezlikuje se od jedne do druge distribucije, pa ipak u raznim analizama treba usvojiti neku snagu, jer bi bilo nekorektno ne uzeti je uopšte u obzir.

4. TERITORIJA KOJU NAPAJAJU TS – VN/SN

Veličina teritorije gradskog područja u km² što ga napajaju TS – VN/SN zavisi od:

— instalisane snage transformatora u TS – VN/SN u MVA
— površinske gustine opterećenja u MVA/km²
— veličine rezervne snage, koja opet zavisi od broja transformatorskih jedinica u TS – VN/SN.

Raspoloživa snaga S_R koja se može koristiti na jednom distributivnom konzumu izračunava se po obrascu:

$$S_R = Sn - Sr \qquad (4.1$$

gde je: SN — instalisana snaga svih transformatora u svim TS – VN/SN u jednom gradu
Sr — snaga koja se drži u rezervi u svim TS-VN/SN.

U razmatranju površine gradskog područja koje se napaja iz TS – VN/SN ovde će se uzeti raspodela snage na celom distributivnom konzumu, i to:

— snaga za vangradsko područje 20% S_R
— snaga za gradsko područje 80% S_R.

Raspodela snage na 20% i 80% uzima se obzirom na ukupnu raspoloživu snagu S_R, bez obzira na to gde su TS – VN/SN locirane, iako se zna da se vangradsko područje napaja samo iz perifernih TS – VN/SN, jer upravo iz njih i odlaze vazdušni SN vodovi.

Manji gradovi isključivo se napajaju iz perifernih TS – VN/SN. Doskoro su to bile samo TS – 35/10 kV. Pojavom direktne transformacije 110/10(20) kV i te se TS lociraju na periferijama gradova. Ove lokacije su i razumljive kada se zna da se takve TS – VN/SN priključuju na vodove VN vazdušnim putem. Takvo rešenje je neuporedivo jeftinije od kablovskih vodova VN kojima bi se morale priključivati TS – VN/SN ako se lociraju unutar grada.

Nije redak slučaj da se manji grad napaja sa nekoliko TS – 35/10 kV i sa jednom ili dve TS – 110/10 kV.

U narednim tabelama prikazat će se najčešće slučajevi iz prakse, i to:

— napajanje manjih gradova samo sa TS – 35/10 kV i
— napajanje manjih gradova kombinovano sa TS – 35/10 kV i sa TS – 110/10 kV.

Sva razmatranja biće sa aspekta potrebnih rezervi u snazi zbog primene različitih tipova SN mreža, te usled toga imati i različitu pokrivenost gradskog područja sa snagom.

Konkretno razmotriće se:

a) napajanje manjeg grada sa dve, tri i četiri TS – 35/10 kV (svaka TS sa po dva transformatora),
b) napajanje manjeg grada sa dve, tri i četiri TS – 35/10 kV (svaka TS je sa po tri transformatora),
c) napajanje manjeg grada sa četiri TS – 35/10 kV (svaka TS sa po četiri transformatora), a pored toga, radi poređenja i napajanje sa tri TS – 35/10 kV i jednom TS – 110/10 kV,
d) napajanje manjeg grada sa pet TS – 35/10 kV (svaka TS sa po četiri transformatora, a pored toga, radi poređenja, i napajanje sa četiri TS – 35 kV i jednom TS – 110/10 kV.

Snage transformatora koje se najčešće javljaju kod transformacije 35/10 kV jesu:

1,6 MVA
2,0 MVA
2,5 MVA
3,15 MVA
4,0 MVA
5,0 MVA
6,3 MVA
8,0 MVA
10,0 MVA

Vanserijski se izrađuju i druge veličine transformatora 35/10 kV. Uobičajene snage transformatora kod transformacije 110/10(20)kV jesu:

2 × 20	= 40 MVA
2 × 31,5	= 63 MVA
2 × 40	= 80 MVA
3 × 31,5	= 94,5 MVA
2 × 63/31,5/31,5	= 126 MVA
3 × 63/31,5/31,5	= 189 MVA
4 × 63/31,5/31,5	= 252 MVA.

Ovde će se uzeti sledeće snage transformatora:

— za transformaciju 35/10 kV ..... 8 MVA

— za transformaciju 110/10 kV ..... 31,5 MVA.

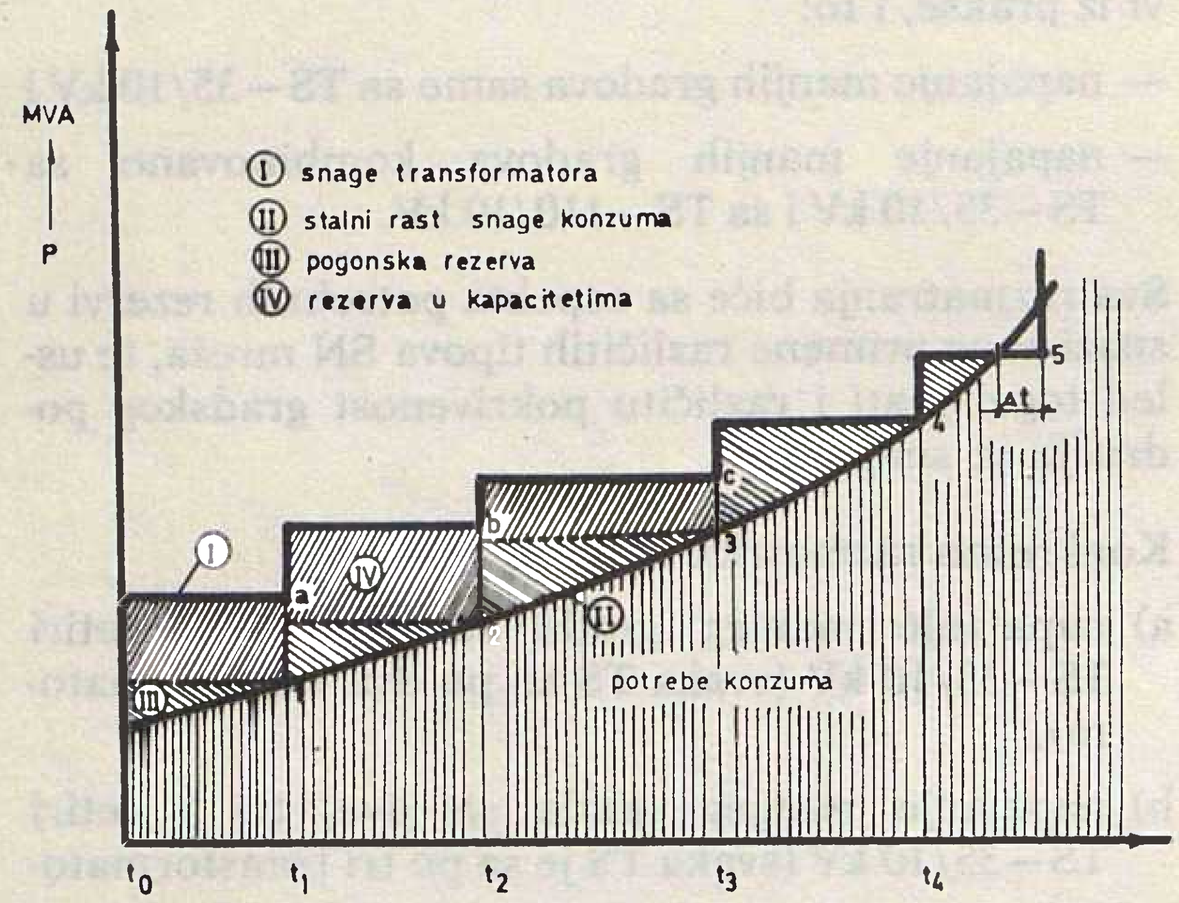
Veličina rezerve u snazi zavisi, kako je već rečeno, od

— tipa SN mreže i

— broja transformatorskih jedinica.

Pored rezerve u snazi, tj. rezerve u kapacitetima, postoji i tzv. pogonska rezerva zbog toga što se transformatori izrađuju sa snagama u skokovima.

Na sl. 5. prikazane su sve rezerve u snazi koje se u eksploataciji pojavljuju.



Napomena: t_1 t_2 t_3 t_4 — trenuci kada se postojeći transformator zamenjuje transformatorom veće snage. Kada rezerve ne bi bile potrebne, tačke a b c bi se poklopile sa tačkama 1,2,3.

Slika 5. Potrebe konzuma i rezervna snaga

Razmotrimo sad napred navedene konkretne slučajeve napajanja manjih gradova:

1. Napajanje manjeg grada sa dve, tri i četiri TS – 35/ kV (svaka TS sa po dva transformatora snage od po 8 MVA). Površine gradskog područja u km² koje se mogu napajati sa dve, tri i četiri TS date su u tabeli 1. Tabela se odnosi na oba tipa SN mreže »obruč« i »vreteno«. Vrednosti u tabeli 1. koje nisu u zagradama odnose se na SN mrežu tipa »obruč«, a vrednosti u zagradama se odnose na SN mrežu tipa »vreteno«.

Da bi se lakše analizirale vrednosti, dat je dijagram na sl. 6, koji je urađen sa podacima iz tabele 1.

Uzmimo, primera, radi manji grad površine 12 km² (na sl. 6. prava isprekidana linija). Zapažamo sledeće:

a) sa četiri TS – 35/10 kV (svaka sa po dva transformatora snage od po 8 MVA ovaj grad kod primene SN mreže »obruč« obezbeđen je snagom sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 2{,}5$ MVA/km² (kriva 3 na sl. 6);

b) sa istim brojem TS kao pod a) samo pri primeni SN mreže tipa »vreteno« ovaj grad je obezbeđen snagom sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 4{,}3$ MVA/km² (kriva 3' na sl. 6).

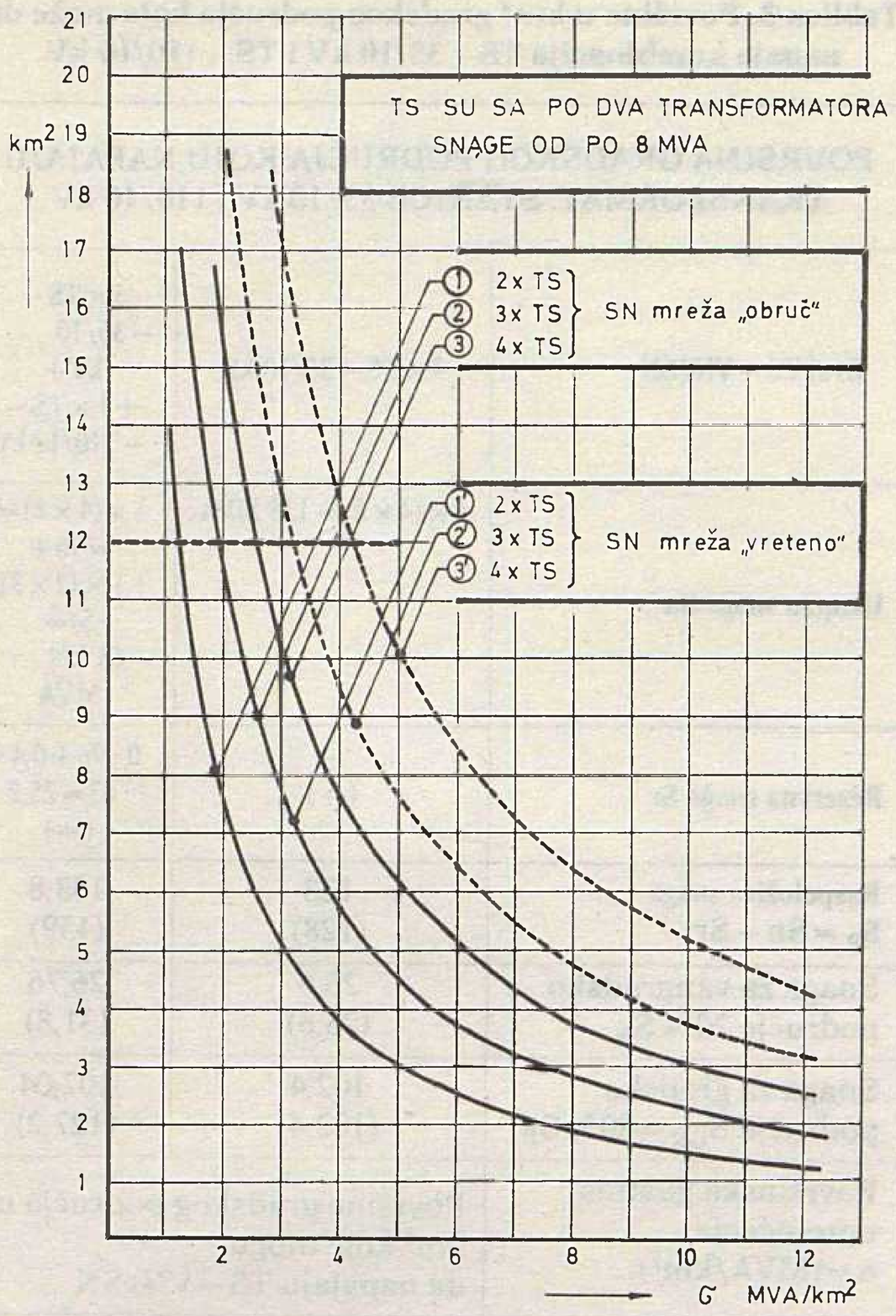
U posmatranom primeru, ako se snaga udvostručuje svakih 10 godina, kod primene SN mreže »vreteno« grad će biti obezbeđen sa snagom duže od 8 godina, nego ako se primeni tip SN mreže »obruč«. Zaključak za navedeni primer može biti i ovakav:

c) sa četiri TS – 35/10 kV svaka TS sa po dva transformatora snage od po 8 MVA može se pri površinskoj gustini opterećenja od 2 MVA/km² napajati grad površine 15,36 km² kod primene SN mreže »obruč«;

Tablica 1. Površine u km² gradskog područja koje mogu da napajaju dve, tri i četiri TS – 35/10 kV sa po dva transformatora snage od po 8 MVA

POVRŠINA GRADSKOG PODRUČJA KOJU NAPAJAJU TS – 35/10 kV TS – 35/10 kV su sa po dva transformatora snage od po 8 MVA			
Broj TS – 35/10 kV	2 × TS	3 × TS	4 × TS
Ukupna snaga Sn	2 × (2 × 8) = = 32	3 × (2 × 8) = = 48	4 × (2 × 8) = = 64
Rezervna snaga Sr	40% · 32 = = 12,8 (10% · 32 = = 3,2)	40% · 48 = = 19,2 (–)	40% · 64 = = 25,6 (–)
Raspoloživa snaga $S_R = Sn - Sr$	19.2 (28,8)	28,8 (48)	38.4 (64)
Snaga za vangradsko područje 20% S_R	3.84 (5,76)	5,76 (9,6)	7,68 (12,8)
Snaga za gradsko područje $S_{GR} = 80\% S_R$	15.36 (23,04)	23,04 (38,4)	30,72 (51,2)
Površinska gustina opterećenja $\sigma = (MVA/km^2)$	Površine gradskog područja u km² koje mogu da napajaju TS – 35/10 kV		
2	7,68 (11.52)	11,52 (19,2)	15,36 (25,6)
4	3,84 (5.76)	5.76 (9,6)	7,68 (12,8)
6	2,56 (3,84)	3,84 (6,4)	5,12 (8,53)
8	1,92 (2.88)	2,88 (4,8)	3,84 (6,4)
10	1,536 (2.3)	2,3 (3,84)	3,072 (5,12)
12	1,28 (1.92)	1,92 (3,2)	2,56 (4,24)

Napomena: vrednosti bez zagrada odnose se na SN mrežu tipa »obruč«
vrednosti u zagradama odnose se na SN mrežu tipa »vreteno«



Slika 6. Veličina teritorije u km² koju napajaju TS određene snage MVA u zavisnosti od površinske gustine opterećenja MVA/km²

d) sa istim brojem TS i pri istoj površinskoj gustini opterećenja kao pod c), ali s primenom SN mreže tipa »vreteno« može se napajati grad površine 25,6 km².

Iz navedenog primera se vidi da je povoljnije primeniti SN mrežu tipa »vreteno« za manje gradove koji se napajaju iz TS koje imaju samo dva transformatora. Kod primene SN mreže »vreteno« za navedeni primer može se napajati veće gradsko područje za 40%.

2. Napajanje manjeg grada sa: dve, tri i četiri TS – 35/10 kV date su u tabeli 2. Tabela se odnosi na oba tipa SN mreže »obruč« i »vreteno«. Vrednosti u tabeli 2. koje nisu u zagradama odnose se na SN mrežu »obruč«, a vrednosti u zagradama odnose se na SN mrežu »vreteno«.

Da bi se lakše analizirale vrednosti, dat je dijagram na sl. 7. koji je urađen sa podacima iz tabele 2.

Uzmimo opet grad površine od 12 km² (na sl. 7. prava isprekidana linija). Zapažamo sledeće:

a) sa četiri TS – 35/10 kV (svaka se po tri transformatora snage od po 8 MVA) ovaj je grad kod primene SN mreže »obruč« obezbeđen snagom sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 5$ MVA/km² (kriva 3 na sl. 7);

b — sa istim brojem TS kao pod a), ali kod primene SN mreže tipa »vreteno«, ovaj grad je obezbeđen snagom sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 6{,}4$ MVA/km² (kriva 3' na sl. 7)

Tablica 2. Površine u km² gradskog područja koje mogu da napajaju dve tri i četiri TS – 35/10 kV sa po tri transformatora snage od po 8 MVA

POVRŠINA GRADSKOG PODRUČJA KOJU NAPAJAJU TS – 35/10 kV TS – 35/10 kV su sa po tri transformatora snage od po 8 MVA			
Broj TS – 35/10 kV	2 × TS	3 × TS	4 × TS
Ukupna snaga Sn	2 × (3 × 8) = = 48	3 × (3 × 8) = = 72	4 × (3 × 8) = = 96
Rezervna snaga Sr	20% · 48 = 9,6 (–)	20% · 72 = = 14,4 (–)	20% · 96 = = 19,2 (–)
Raspoloživa snaga $S_R = Sn - Sr$	38,4 (48)	57,6 (72)	76,8 (96)
Snaga za vangrad. područje 20% S_R	7,68 (9,6)	11,52 (14.4)	15,36 (19.2)
Snaga za gradsko područje $S_{GR} = 80\%\ S_R$	30,72 (38,4)	46,08 (57.6)	61,44 (76.8)
Površinska gustina opterećenja $\sigma = (MVA/km^2)$	Površine gradskog područja u km² koje mogu da napajaju TS – 35/10 kV		
2	15,36 (19,2)	23,04 (28,8)	30,72 (38,4)
4	7,68 (9,6)	11,52 (14,4)	15,36 (19,2)
6	5,12 (6,4)	7,68 (9,6)	10,24 (12,8)
8	3,84 (4,8)	5,76 (7,2)	7,68 (9,6)
10	3,072 (3,84)	4,61 (5,76)	6,14 (7,68)
12	2,56 (3,2)	3,84 (4,8)	5,12 (6,4)

Napomena: Vrednosti bez zagrada odnose se na SN mrežu tipa »obruč«. Vrednosti u zagradama odnose se na SN mrežu tipa »vreteno«

Zaključak može biti i ovakav:

c) sa četiri TS – 35/10 kV (svaka sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA) pri površinskoj gustini opterećenja od 2 MVA/km² može se napojiti gradsko područje površine 30, 72 km².

d) sa istim brojem TS i pri istoj površinskoj gustini opterećenja kao pod c), ali kod primene SN mreže tipa »vreteno« može se napojiti gradsko područje površine 38,4 km².

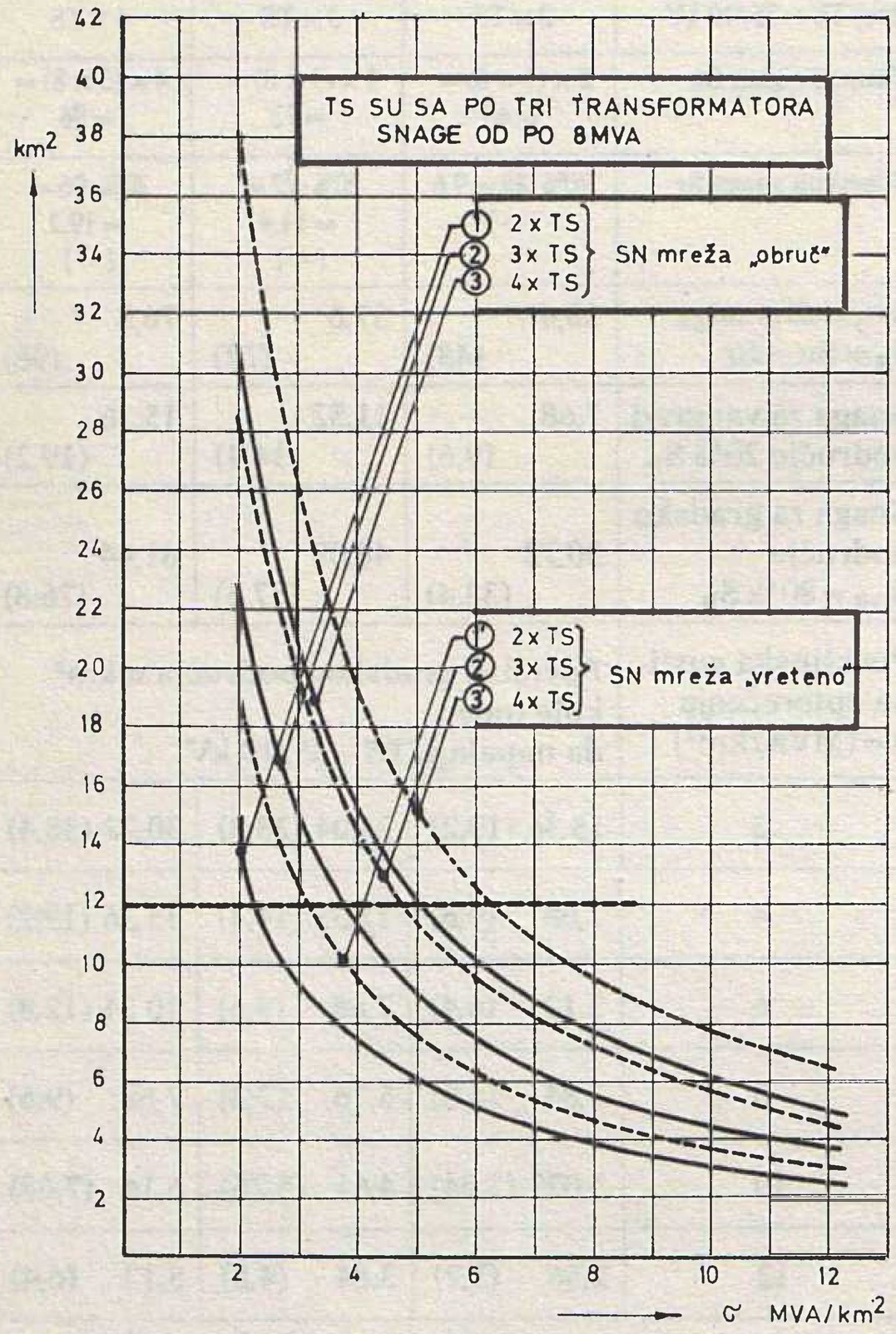
U navedenom primeru pri primeni SN mreže tipa »vreteno« može se napojiti veće gradsko područje za 20%.

Kod primene tri transformatora razlike u površini gradskog područja se smanjuju u odnosu na one kod primene dva transformatora.

3. Napajanje manjeg grada sa:

a) četiri TS – 35/10 kV, svaka sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA;

b) tri TS – 35/10 kV, svaka TS sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA i jednom TS – 110/10 kV sa dva transformatora snage od po 31,5 MVA. Površine gradskog područja koje se mogu napojiti sa TS pod a) i sa TS pod b) date su u tabeli 3.



Slika 7. Veličina teritorije u km² koju napajaju TS određene snage MVA u zavisnosti od površinske gustine opterećenja MVA/km²

Vrednosti bez zagrada u tabeli 3. odnose se na primenu SN mreže »obruč«, a vrednosti u zagradama odnose se na primenu SN mreže »vreteno«. Kod slučaja napajanja grada sa četiri TS – 35/10 kV (prva kolona u tabeli 3) nema razlike u površini gradskog područja usled primene raznih tipova SN mreža, a to je zbog toga što kod postojanja četiri transformatora nije potrebno držati rezervnu snagu. U drugom slučaju, ako se grad napaja sa tri TS – 35/10 kV i jednom TS – 110/10 kV (druga kolona u tabeli 3), razlike u napojnoj površini postoje, jer su u TS – 110/10 kV ugrađena dva transformatora, a tada je kod primene SN mreže »obruč« velika snaga koja se drži u rezervi. Kada se u ovom slučaju primeni SN mreža »vreteno«, situacija se znatno poboljšava. Na sl. 8. dat je dijagram koji je urađen na osnovu tabele 3.

Uzmimo primera radi grad površine 20 km². Zaključujemo sledeće:

Tablica 3. Površine u km² gradskog područja koje može da napaja kombinacija TS – 35/10 kV i TS – 110/10 kV

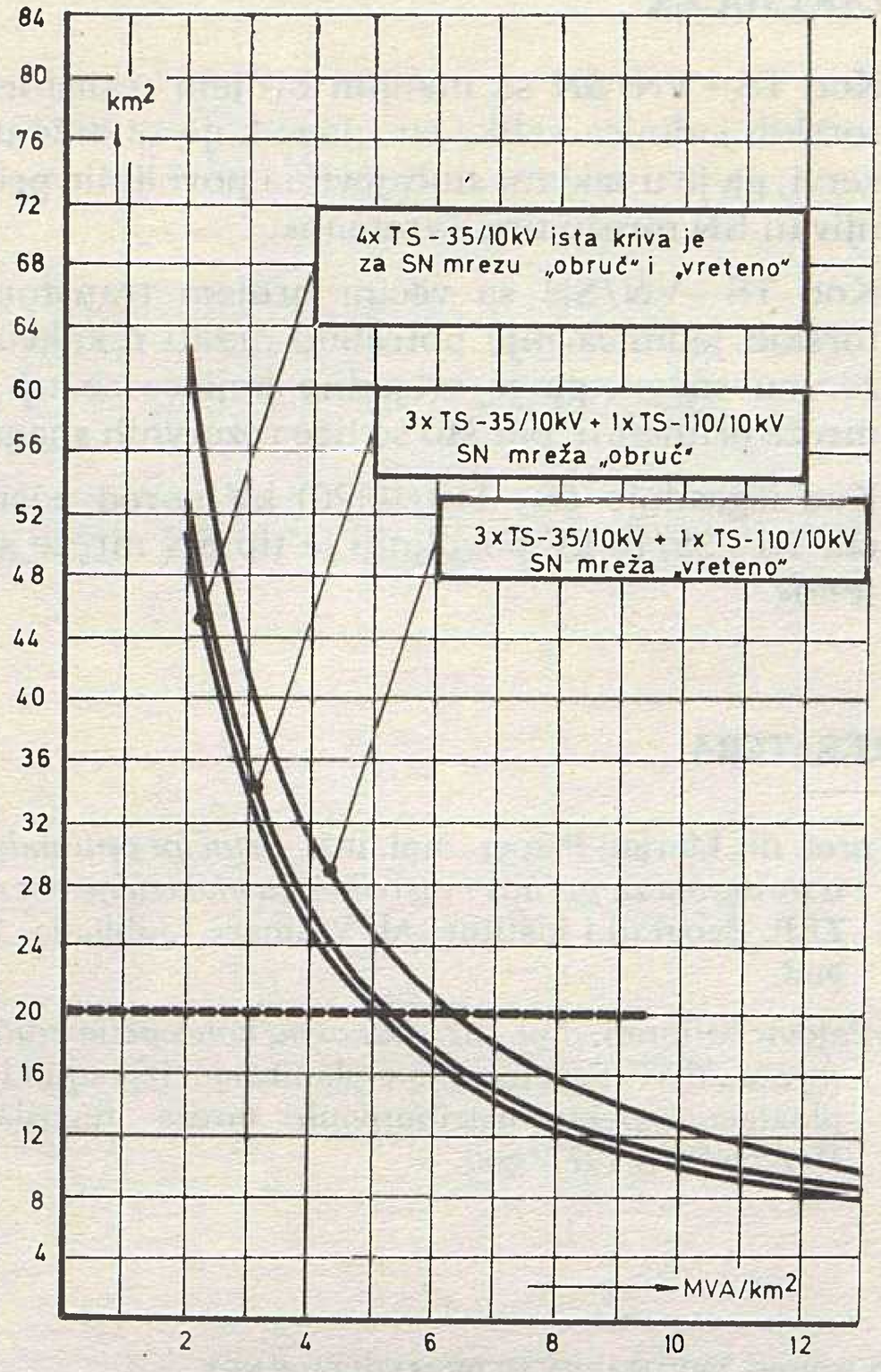
POVRŠINA GRADSKOG PODRUČJA KOJU NAPAJAJU TRANSFORMAT. STANICE 35/10 kV i 110/10 kV		
Broj TS – VN/SN	4 × TS – 35/10 kV	3 × TS – – 35/10 kV + + 1 × TS – – 110/10 kV
Ukupna snaga Sn	4 × (4 × 8) = 128 MVA	3 × (4 × 8) = = 96 + + 1 × (2 × 31-,5) = = 63 159 MVA
Rezervna snaga Sr	– (–)	0 · 96 + 0,4 · · 63 = 25,2 (–)
Raspoloživa snaga $S_R = Sn - Sr$	128 (128)	133,8 (159)
Snaga za vangradsko područje 20% S_R	25,6 (25,6)	26,76 (31,8)
Snaga za gradsko područje $S_{GR} = 80\%\ S_R$	102,4 (102,4)	107,04 (127,2)
Površinska gustina opterećenja $\sigma = (MVA/km^2)$	Površine gradskog područja u km² koje mogu da napajaju TS – VN/SN	
2	51,26 (51,2)	53,52 (63,6)
4	25,6 (25,6)	26,76 (31,8)
6	17,07 (17,07)	17,84 (21,2)
8	12,8 (12,8)	13,38 (15,9)
10	10,24 (10,24)	10,704 (12,72)
12	8,53 (8,53)	8,92 (10,6)

Napomena: Vrednosti bez zagrada odnose se na SN mrežu tipa »obruč«. Vrednosti u zagradama odnose se na SN mrežu tipa »vreteno«

a) sa četiri TS – 35/10 kV (svaka TS sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA) može se ovaj grad obezbediti snagom sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 5$ MVA/km² bez obzira na to da li se koristi SN mreža »obruč« ili SN mreža »vreteno«.

b) sa tri TS – 35/10 kV (svaka TS sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA) i jednom TS – 110/10 kV sa dva transformatora snage od po 31,5 MVA može se ovaj grad kod primene SN mreže »obruč« obezbediti snagom sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 5{,}3$ MVA/km²;

c) sa istim brojem TS kao pod b), ali kod primene SN mreže »vreteno«, može se ovaj grad obezbedi-



Slika 8. Veličina u km² gradskog područja u zavisnosti od površinske gustine opterećenja

ti snagom sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\Sigma \leq 6{,}4$ MVA/km².

Izgradnjom TS – 110/10 kV pored postojećih TS – 35/10 kV dobija se znatno veća snaga nego kada su samo TS – 35/10 kV, ali je jako izražena snaga u rezervi kod TS – 110/10 kV kada je mali broj transformatora u njoj i kada se koristi SN mreža »obruč«.

Kada se u ovakvom slučaju koristi SN mreža »vreteno«, situacija se znatno poboljšava s obzirom na rezervne snage, ali se javlja problem vezivanja SN mreže sa susednim TS – 35/10 kV. Naime, zbog toga što TS – 110/10 kV ima dva transformatora, treba je povezati preko SN mreže bar sa dve susedne TS – 35/10 kV, a to u konkretnom slučaju znači da bi treća TS – 35/10 kV ostala usamljena i ne bi mogla da ima SN mrežu tipa »vreteno«. Problem treba rešavati spajanjem po dve i dve TS, ali se tada javlja problem nesklada snaga u TS – 110/10 kV i u TS – 35/10 kV jer TS – 35/10 kV ima snagu 32 MVA, a TS – 110/10 kV ima snagu 63 MVA. Ovaj se problem na primer može rešiti prebacivanjem najvećeg dela opterećenja vangradskog baš na TS – 110/10 kV.

4. Napajanje grada sa:

a) pet TS – 35/10 kV (svaka TS sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA);

b) četiri TS – 35/10 kV (svaka TS sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA) i jednom TS – 110/10 kV sa dva transformatora snage od po 31,5 MVA.

Tablica 4. Površine u km² gradskog područja koje može da napaja kombinacija TS – 35/10 kV i TS – 110/10 kV

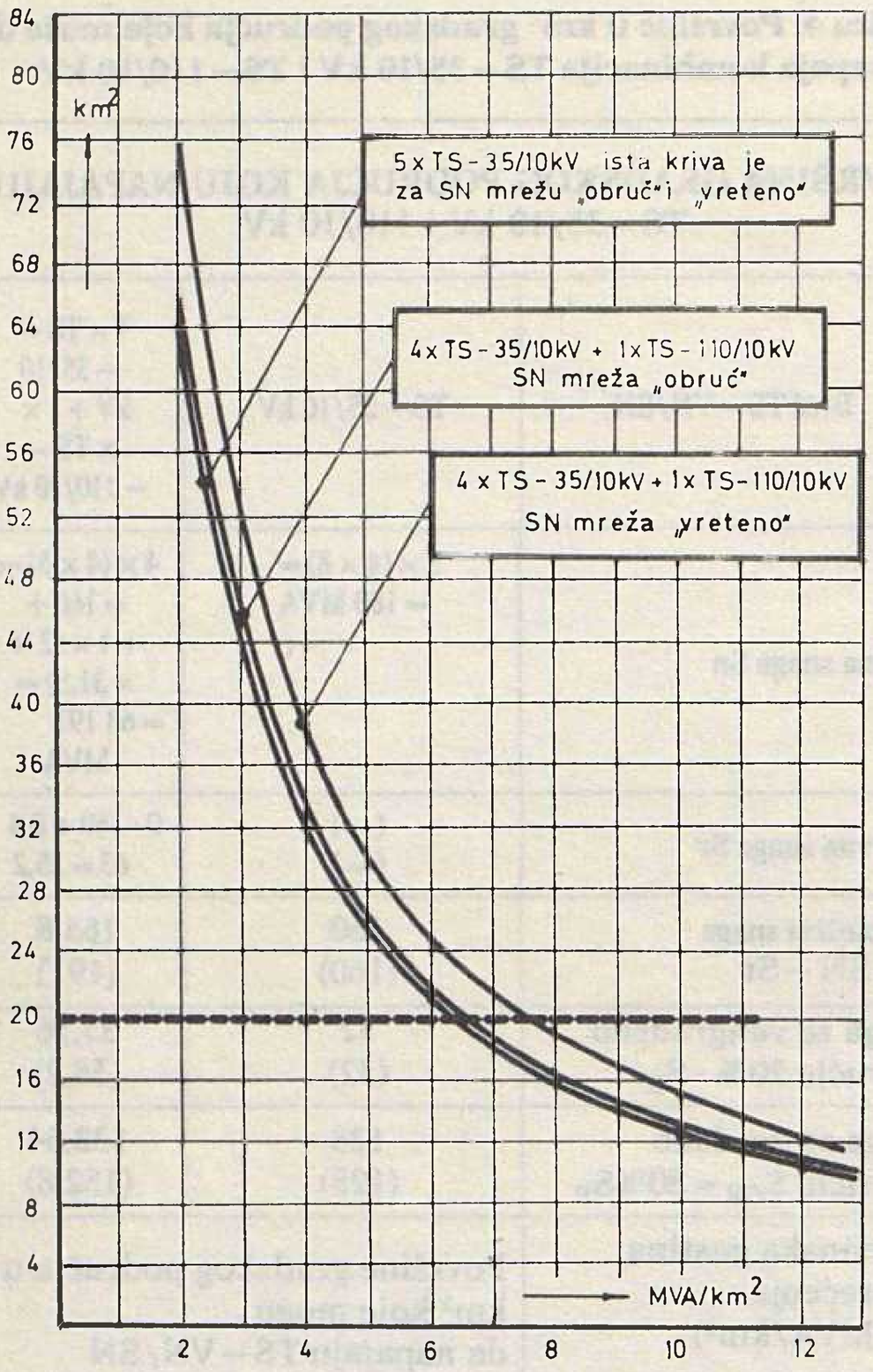
POVRŠINA GRADSKOG PODRUČJA KOJU NAPAJAJU TS – 35/10 kV i 110/10 kV		
Broj TS – VN/SN	TS – 35/10 kV	4 × TS – – 35/10 kV + 1 × × TS – – 110/10 kV
Ukupna snaga Sn	5 × (4 × 8) = = 160 MVA	4 × (4 × 8) = = 160 + + 1 × (2 × × 31,5) = = 63 191 MVA
Rezervna snaga Sr	(–) (–)	0 · 160 + 0,4 · 63 = 25,2
Raspoloživa snaga $S_R = SN - Sr$	160 (160)	165,8 (191)
Snaga za vangradsko područje 20% · S_R	32 (32)	33,16 (38,2)
Snaga za gradsko područje $S_{GR} = 80\% S_R$	128 (128)	132,64 (152,8)
Površinska gustina opterećenja $\sigma = (MVA/km^2)$	Površine gradskog područja u km² koje mogu da napajaju TS – VN/SN	
2	64 (64)	66,32 (76,4)
4	32 (32)	33,16 (38,2)
6	21,33 (21,33)	22,11 (25,47)
8	16 (16)	16,58 (19,1)
10	12,8 (12,8)	13,264 (15,28)
12	10,68 (10,68)	11,05 (12,73)

Napomena: Vrednosti bez zagrada odnose se na SN mrežu tipa »obruč«. Vrednosti u zagradama odnose se na SN mrežu tipa »vreteno«.

Površine gradskog područja koje se mogu napojiti sa TS datim pod a) date su u prvoj koloni tabele 4. a površine gradskog područja koje se mogu napojiti sa TS dati pod b) date su u drugoj koloni tabele 4.

Vrednosti bez zagrada odnose se na SN mrežu »obruč«, a vrednosti u zagradama odnose se na SN mrežu »vreteno«. Kod slučaja napajanja grada sa pet TS – 35/10 kV nema razlike u veličini gradskog područja usled različitih tipova SN mreža. U drugom slučaju, kod napajanja grada sa četiri TS – 35/10 kV i jednom TS – 110 kV, ima razlike u veličinama gradskog područja usled primene različitih tipova SN mreža jer su u TS – 110/10 kV dva transformatora, pa je velika rezervna snaga kod primene SN mreže »obruč«. Na sl. 9. dat je dijagram koji je sačinjen sa podacima iz tabele 4.

Uzmimo opet primera radi grad površine 20 km². Zaključujemo sledeće:



Slika 9. Veličina u km² gradskog područja u zavisnosti od površinske gustine opterećenja

a) sa pet TS – 35/10 kV (svaka TS sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA) može se ovaj grad napajati sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 6{,}4$ MVA/km², bez obzira koji se tip SN mreže primenjuje;

b) sa četiri TS – 35/10 kV (svaka sa po četiri transformatora snage od po 8 MVA) i jednom TS – 110/10 kV sa dva transformatora snage od po 31,5 MVA može se napajati ovaj grad sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 6{,}5$ MVA/km² pri primeni SN mreže tipa »obruč«;

c) sa istim brojem TS kao pod b) može se ovaj grad pri primeni SN mreže »vreteno« napajati sve dok mu je površinska gustina opterećenja $\sigma \leq 7{,}5$ MVA/km².

Za b) i c) zaključak može biti i ovakav:

sa četiri TS – 35/10 kV i jednom TS – 110/10 kV kod primene SN mreže »obruč« može se pri površinskoj gustini opterećenja napajati grad površine 66,32 km², a pri primeni SN mreže »vreteno« može se napajati grad površine 76,4 km² pri istoj površinskoj gustini opterećenja, tj. površina veća za 13%.

5. ZAKLJUČAK

1. Kod TS – VN/SN sa manjim brojem transformatorskih jedinica velike su snage koje se drže u rezervi, pa je u takvim slučajevima povoljnije primenjivati SN mrežu tipa »vreteno«.
2. Kod TS – VN/SN sa većim brojem transformatorskih jedinica nije potrebno držati nikakvu rezervnu snagu, pa je svejedno koji će se tip SN mreže primeniti, bar što se tiče rezervnih snaga.
3. Kod izgradnje TS – 110/10(20) kV pored postojećih TS – 35/10 kV povoljniji je tip SN mreže »vreteno«.

LITERATURA

[1] prof. dr. Marjan Plaper, dipl. inž., *Principi optimalnosti u mrežama za prenos i distribuciju električne energije*, ZEP, Beograd i institut »M. Vidmar« Ljubljana, 1980. god.

[2] Pajović Milorad, dipl. inž., *Osnovne koncepcije gradskih mreža 20 kV*. Savetovanje o planiranju, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža Jugoslavije, Herceg-Novi 1977. god.

KEY WORDS: URBAN AREA, MEDIUM VOLTAGE NET

SIZE OF URBAN AREA WHICH IS SUPPLIED BY HV/LV TS IN REGARD OF APPLIED TYPE OF MEDIUM VOLTAGE NET

Size of urban area which is supplied by HV/LV TS depends on applied type of medium voltage net, becouse spare power depends on type of net. That is especially effectiv by small number of transformer units per one HV/LV TS.

GRÖSSE DES STADTGEBIETES DAS VON TS — VN/SN ABHÄNGIG VOM ANGEWANDTEN TYP DES SN NETZES VERSORGT WIRD

Die große des Stadtgebietes das von TS — VN/SN versorgt wird, hängt in großem Maße von angewandten Typ des SN Netzes ab, da davon die Größe der Reserven abhängt. Dies tritt besonders zum Vorschein bei wenigen Transformatoreinheiten je TS — VN/SN.

РАЗМЕРЫ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ, ПИТАЕМОЙ ПОДСТАНЦИЯМИ ВЫСОКОЕ/СРЕДНЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕННОГО ТИПА СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Размеры городской территории, питаемой подстанциями высокое/среднее напряжение, в значительной степени зависит от типа применяемой сети среднего напряжения, ибо величина запасной мощности зависит от типа сети среднего напряжения. Сказанное особенно заметно при малочисленности трансформаторных единиц по подстанции высокое/среднее напряжение.

Naslov pisca:

Branislav Nikolić, dipl. ing.
RO »Plan« — Kraljevo
36000 Kraljevo

Uredništvo primilo rukopis:
1983. 04. 08.

IZBOR PARAMETARA GENERATORA PARE ZA BLOKOVE NA KOSOVU

Dr Dubravko Matanić, Zagreb

UDK 621.311.22:621.181

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku je dana analiza i odabir osnovnih parametara radnog medija za blokove na Kosovu, polazeći od mogućih rješenja visine investicijskog ulaganja i cijene kosovskog ugljena.

Ključne riječi: termoelektrana, parametar pare, Kosovo.

UVOD

Pri analizi i studiju problema vezanih za optimalno rješavanje daljnje izgradnje elektroenergetskog sistema termoenergetskim postojenjima, osim ekonomskih analiza nužno je razmotriti i niz tehničkih problema vezanih za izgradnju postrojenja, koja imaju nemali utjecaj na ekonomsku valorizaciju rješenja.

Kod izgradnje blokova na bazi kosovskih liginita kao osnovna tehničko-tehnološka nužnost pojavljuje se gorivo (ugljen) koje je sve prije negoli »standardno« kruto gorivo. Svakako da je i kod drugih goriva utjecaj vrste goriva na tehničko-tehnološka, a time i na ekonomska rješenja značajan, ali je taj utjecaj posebno jako izražen kod nisko vrijednih goriva kao što su ligniti.

Kod koncipiranja termoelektrana na T-ulje ili zemni plin minorna je uloga porijekla T-ulja ili zemnog plina, osim u rijetkim slučajevima kada je u T-ulju izuzetno visok sadržaj sumpora ili u zemnomn plinu ima agresivnih sumpornih spojeva. Kod krutih goriva, međutim, razlike u osnovnim svojstvima pojedinih goriva mogu biti vrlo velike, čak i kada se radi o gorivu s iste lokacije. Zbog toga je često već u fazi koncepcijskog rješavanja postrojenja nužno istaći moguće varijacije u gorivu.

Opsežna ispitivanja kvalitete ugljena provedena za niz uzoraka sa polja Dobro Selo, Belaćevac i Sibovac kosovskog ugljena bazena pokazala su znatne varijacije za pojedine karakteristike ugljena, i to ne samo za cijeli ugljeni bazen, već i za pojedina polja.

U priloženoj tablici za ilustraciju su dani rasponi pojedinih karakteristika ugljena i pepela tih ugljena za kosovski ugljeni bazen.

Ligniti s Kosova su niskovrijedni ugljeni s visokim sadržajem balasta (vode, pepeo) i stoga nisu idealno gorivo za elektroenergetske blokove velikih snaga. Ipak, postoje dugogodišnja domaća i svjetska iskustva u iskorištavanju lignita kao goriva u termoelektranama. Danas, u uvjetima stalnog porasta cijena nosioca primarne energije normalno je da se sve inten-

Tablica 1. Rasponi pojedinih karakteristika ugljena za kosovski ugljeni bazen

Rasponi pojedinih karakteristika ugljena za kosovski ugljeni bazen

TEHNIČKA ANALIZA UGLJENA			od	do
vlaga	(V)	%	38,00	48,00
pepeo	(P)	%	21,32	9,84
ukupni sumpor	(S_u)	%	1,51	0,68
sumpor u pepelu	(S_p)	%	1,02	0,61
izgorivi sumpor	(S_s)	%	0,49	0,07
koks — ostatak	(K_o)	%	38,58	27,47
fiksni ugljik	(C_{fix})	%	15,26	17,63
ugljik isparljivi		%	24,12	26,37
ugljik izgorivi		%	39,38	44,00
donja ogrjevna moć	(Hd)	kJ/kg	6 280	9 210
točka sinterovanja	(T_s)	°C	910	1 020
točka omeškavanja	(T_o)	°C	1 130	1 240
točka polukugle	(T_p)	°C	1 140	1 270
točka topljenja	(T_t)	°C	1 175	1 360
ELEMENTARNA ANALIZA				
ugljik	(C)	%	20,00	29,56
vodik	(H)	%	2,01	2,25
sumpor izgorljivi	(S_s)	%	0,07	0,049
kisik + dušik	($O_2 + N_2$)	%	10,92	15,83
ANALIZA PEPELA				
SiO_2		%	31,76	21,65
Fe_2O_3		%	12,21	5,5
Al_2O_3		%	5,95	9,5
CaO		%	28,56	45,00
MgO		%	2,96	9,00
SO_3		%	10,35	14,00
P_2O_5		%	0,2	0,5
T_iO_3		%	0,35	0,35
K_2O		%	1,5	2,0
točka sinterovanja u oksidirajućoj atmosferi		°C	1 020	920
točka sinterovanja u reduciranoj atmosferi		°C	920	850
točka omekšavanja		°C	1 240	1 130
točka polukugle		°C	1 270	1 140
točka topljenja		°C	1 360	1 175

zivnije iskorištavaju i niskovrijedni ligniti. To naročito vrijedi za Jugoslaviju koja je siromašna visokovrijednim gorivima (nafta, zemni plin, visokokalorični ugljeni). Posljednjih je godina i u svijetu očita tendencija iskorištavanja svih mogućnosti u pogledu proizvodnje električne energije, tako da se danas iskorištavaju kao gorivo u termoelektranama u pojedinim zemljama goriva za koja prije desetak godina nije postojao nikakav interes.

Iskorištavanje ugljena na Kosovu za elektroenergetske potrebe započelo je krajem pedesetih godina izgradnjom bloka 65 MW koji je pušten u pogon 1962. godine u TE »Kosovo« A.

Blok 2 nominalne snage 120 MW pušten je u eksploataciju početkom 60-tih godina, dok su blokovi 3-5 već bili građeni svaki s nominalnom snagom 200 MW. Time je zaokružena izgradnja TE Kosovo A, a prije nekoliko godina započela je izgradnja TE Kosovo B, nedaleko od TE Kosovo A. Danas se TE Kosovo B nalazi u izgradnji, i to sa 2 bloka od kojih je svaki nominalne snage 300 MW.

Dosadašnji rad blokova na Kosovu karakterizira nešto veći broj neplaniranih zastoja od iskustvom uobičajenih za postojenja ovakvih karakteristika. Analizirajući obustave uočilo se da je u ukupnim obustavama najveći udio postojenja GP. Ono što je neuoubičajeno jest činjenica da je udio GP u obustavama veoma često znatno iznad uobičajenih veličina. Pri tome se u GP ubraja kompletno postojenje za pripremu goriva. Pored GP, za koji strana iskustva pokazuju da u elektranama sudjeluju sa oko 25 — 30% obustava, značajno su opterećeni mlinovi i ventilatori, posebice oni za dimne plinove, kao i uređaji rešetke za dogorijevanje i transport šljake ispod GP. Bez daljnjega se može utvrditi da vrsta i karakter ugljena u znatnoj mjeri može utjecati na eksploataciju, posebice postojenja GP. Dosadašnja domaća iskustva na postojenjima koja rade s veoma sličnim, pa čak i lošijim ugljenom pokazuju da je moguće postizati bolje eksploatacijske rezultate od onih na postojenjima bloka 1 — 5 TE Kosovo.

Dosadašnja svjetska iskustva u eksploataciji GP ložených niskokaloričnim ugljenim s relativno velikim sadržajem pepela pokazala su da je eksploatacija GP karakterizirana problematikom stvaranja i nakupljanja šljake u pojedinim dijelovima GP. Pri tome su problemi zašljakivanja GP posljedica konstruktivnih karakteristika GP, ali i karakteristika ugljena ili, još točnije, ponašanja pepela u procesu izgaranja. Pri tome su moguće znatne razlike između inače srodnih goriva, ovisno o sastavu pepela i njegovim karakteristikama u pogledu stvaranja raznih eutektika s niskim točkama omekšanja i lijepljenja pepela. Odmah treba istaći da su pepeli kosovskih lignita takvih svojstava da veoma lako stvaraju eutektike s niskim točkama omekšanja i lijepljenja, tako da je već u fazi projektiranja GP nužno sve to uzeti u obzir i veoma brižljivo pristupiti formiranju i dimenzioniranju ogrjevnih površina GP.

Da se već u fazi projektiranja GP mogu naći rješenja koja će u eksploataciji dati povoljnije rezultate u pogledu zašljakivanja GP, najbolje potvrđuje činjenica da se u TE Kosovo A GP blokova 1 i 2 znatno manje zašljakavaju od GP blokova 3 — 5. To je postignuto boljim rasporedom ogrjevnih površina, posebice konvektivnih ogrjevnih površina, kao i nižim toplinskim opterećenjem ložišta i manjim brzinama strujanja dimnih plinova.

Drugim riječima, bez obzira na to što su kosovski ugljeni niskovrijedni, balastom opterećeni ugljeni čija ekskalacija zahtijeva rješavanja niza problema, dosadašnja domaća, a i inozemna iskustva stečena na veoma sličnim ugljenima, čak i nepovoljnjih karakteristika (Grčka, Turska), pokazuju da je moguća eksploatacija ovakvih ugljena u termoenergetskim postojenjima uz zadovoljavajuće rezultate.

IZBOR OSNOVNIH PARAMETARA

Dugogodišnji rad i razvoj na poboljšavanju stupnja djelovanja toplinskih ciklusa u termoelektranama doveo je da tako složenih i usavršenih postrojenja da su danas moguća samo relativno mala poboljšanja u stupnju djelovanja uz relativno visoku cijenu investicija. Tako dugo, međutim, dok bude rasla cijena goriva ovakvim tempom kao što je to danas, i dalje će se činiti napori i za najmanjim poboljšanjima koja budu ekonomski opravdana.

U klasičnom termoenergetskom parno-vodenom ciklusu osnovni parametri na koje je moguće utjecati radi snižavanja specifičnog potroška jesu sljedeći:

— tlak radnog medija, tj. tlak vodene pare na ulazu u turbinu

— temperatura radnog medija — tj. temperatura vodene pare (svježe) na ulazu u turbinu

— temperatura međupregrijane pare

— broj međupregrijanja

— temperatura napojne vode, tj. temperature vode na ulazu u generator pare (GP) nakon posljednjeg visokotlačnog dogrijača

— izlazna površina iz turbine, odnosno izlazna energija

— tlak u kondenzatoru

— broj stupnjeva regenerativnog zagrijavanja vode.

Svakom od tih faktora nužno je posvetiti odgovarajuću pažnju. No pri ovim razmatranjima može se odmah reći da svi ovi faktori nemaju jednaku »težinu«.

Tlak radnog medija

Od svih nabrojenih parametara čini se da tlak radnog medija ima u ovom trenutku najveću važnost. Današnji nivo tehnike i tehnologije omogućava prijelaz s najčešće primjenjivanih 175 — 190 bara tlaka svježe pare na natkritične parametre reda 250 bara. Za prijelaz na ove parametre treba, ovisno o našim specifičnostima, obaviti detaljna tehnoekonomska razmatranja.

Energija, God. 33/1984/1, 56-63

Temperatura svježe i međupregrijane pare

Za razliku od tlaka pitanje porasta temperatura svježe i međupregrijane pare s opće prihvaćenih 540 °C naviše, gledano s pozicije naših prilika, prvenstveno je pitanje tehnologije, a tek nakon usvajanja tehnologije to je pitanje ekonomskih analiza i razmatranja.

Broj međupregrijanja

Iako problematika dvostrukog međupregrijanja u sebi sadrži i značajne tehničke probleme odluka o dvostrukom međupregrijanju, danas je ipak prvenstveno bazirana na ekonomskim analizama.

Temperatura nepojne vode, izlazna energija, broj stupnjeva regenerativnog zagrijavanja

Sva ova tri faktora danas se uzimaju u obzir kod definiranja turbinskog ciklusa i njegova optimiranja. Optimizacija je moguća i ima svrhu samo ako se provodi za određenu turbinu s određenim karakteristikama. Potrebno je za ovakve optimizacije imati na raspolaganju detaljne podatke o rasporedu tlakova duž turbine. Tu optimizaciju u pravilu vrši sam proizvođač turbina kod definiranja turbinskog ciklusa.

Tlak u kondenzatoru

Ovaj parametar ovisan je u znatnoj mjeri o lokaciji i varira od lokacije do lokacije.

Problem je veoma kompleksan i ovisno o lokaciji provodi se optimizacija radnog tlaka u kondenzatoru, i to ovisno o tome da li je hlađenje protočno, vlažnim ili suhim rashladnim tornjevima. Dapače, optimizaciju je, ovisno o lokalnim uvjetima, moguće provesti tek kad se raspolaže tehničkim i ekonomskim podacima o alternativnim rješenjima turbina.

Posebice na Kosovu javljaju se dodatni problemi zbog ograničenih količina rashladne vode, tako da optimizacija zahtijeva i dopunske analize, kakve se i provode za lokacije na Kosovu.

Iz svega rečenog proizlazi da od prije navedenih veličina samo tlak i temperatura pare kao i broj međupregrijanja predstavljaju parametre koje treba posebno analizirati i odrediti ih za dane uvjete.

Izbor tlaka radnog medija

Odmah na početku ovih razmatranja nužno je utvrditi dvije činjenice:

— Rad s natkritičnim paramterima (oko 250 bar na ulazu u turbinu) predstavlja danas tehnološki savladan problem, te je prijelaz na rad s natkritičnim parametima prvenstveno uvjetovan ekonomskim razlozima.

— Rad s natkritičnim parametrima ima znatan odraz na neka koncepcijska rješenja na pojedinim dijelovima, postrojenja, i to najviše na GP.

Rukovodeći se prvenstveno ekonomijom proizvodnje električne energije s termoelektranama na bazi fosilnih goriva, sa zaoštravanjem problema cijena goriva rastao je i tlak radnog medija. U tablicama 1. i 2. dan je pregled osnovnih parametara blokova loženih fosilnim gorivima koji se danas preferiraju u razvijenim zemljama Zapada i Istoka. Uspoređujući tablice 1 i 2, može se zaključiti sljedeće:

— U zemljama Zapada pristuno je veće šarenilo parametara, što je posljedica većeg broja tvrtki koje se bave proizvodnjom blokovskih postrojenja.

— Za područje istih veličina blokova prisutne su male razlike u osnovnim parametrima, uz napomenu da u zemljama Istoka postoji tendencija povećanja temperature napojne vode i povećanja broja stupnjeva regenerativnog zagrijavanja. U zemljama Zapada jače je izražena tendencija povećanja tlakova za iste snage blokova, kod blokova manje snage. Iako su tablice pregledne, ipak ne daju realnu sliku stanja te je nužno ukazati na sljedeće:

— U zemljama istočne Evrope neuporedivo najveći proizvođač GP i blokova u cjelini je SSSR. Za energetske potreba danas, međutim, SSSR isključivo gradi postrojenja s natkritičnim parametrima (250 bar), i to s tipiziranim blokovima snage 300, 500 i 800 MW. To praktički znači da se danas u SSSR-u ne može naručiti postrojenje s potkritičnim parametrima. Za ilustraciju neka posluži podatak da su 1975. god. u SSSR-u u pogonu bila 144 bloka s natkritičnim parametrima jedinične snage 300 i više MW. Manji dio blokova u istočnim zemljama, koji otpada uglavnom na ČSSR i Poljsku, gradi se s potkritičnim tlakom. Tlakovi reda 130 bara uglavnom se odnose na toplifikacijske blokove.

Tablica 1. Preferirani parametri u zemljama Zapada blokova loženih fosilnim gorivima s međupregrijanjem pare

Tlak pred turbinom (bar)	Temperat. svježe pare pred turbinom (°C)	Temperat. međupredgrijane pare pred turbinom (°C)	Temperatura napojne vode (°C)	Broj regenerativnih stupnjeva	Snaga bloka (MW)
125	530 – 540*	530 – 540*	230-240	6/7	100 – 150
138 139			235 – 245	7	150 – 250
158 160 165 166			240 – 250	7	150 – 500
177,5 185			245 – 255	7	200 – 800
242 250			260 – 290	7/8	500 – 1 300

* Za V. Britaniju kod loženja ugljenom i za Japan, ove temperature iznose 566 °C

Energija, God. 33/1984/1, 56-63

Tablica 2. Preferirani parametri u zemljama Istoka blokova loženih fosilnim gorivima s međupregrijanjem pare

Tlak pred turbinom (bar)	Temperat. svježe pare pred turbinom (°C)	Temperat. međupredgrijane pare pred turbinom (°C)	Temperatura napojne vode (°C)	Broj regenerativnih stupnjeva	Snaga bloka (MW)
127,5	535 – 565	535 – 565	240 – 250	7/8	200 – 215
163	535	535	250 – 265	7/8	200 – 500
235	540 – 560	540 – 565	265 – 275	8/9	300 – 500 800 – 1 200

— Dosadašnja praksa zemalja Zapadne Evrope bili su uglavnom potkritični parametri, a natkritični su se parametri gradili samo izuzetno radi stjecanja tehnoloških i eksploatacijskih iskustava. To se također odnosi i na Veliku Britaniju. U posljednjih nekoliko godina, međutim, u zemljama zapadne Evrope očita je tendencija prijelaza na blokove tlaka 200 i više bara, kao i u natkritično područje. Sa sigurnošću se može pretpostaviti da će u idućih nekoliko godina u zemljama zapadne Evrope biti izgrađeno znatno više natkiričnih blokova negoli je to do sada bilo. Prema informacijama dobivenih od Švicarske tvrtke BBC, u posljednje je vrijeme znatno porastao broj upita iz zemalja zapadne Evrope za turbinska postojenja snage 300 i više MW s natkritičnim tlakom.

— U SAD prvi natkritični blok pušten je u rad još 1961. god., i to snage 500 MW. Od tog vremena snaga natkritičnih bolokova stalno se povećavala. Danas se u SAD natkritični blokovi rade u području snage 400 — 1 400 MW. Natkritični tlakovi su u potpunosti istisnuli potkritična rješenja samo za najveće jedinice 1 000 i više MW, dok se u području snaga 800 — 1 000 MW još uvijek u većini slučajeva koriste GP s bubnjem s prirodnom ili prisilnom cirkulacijom, ovisno o tlaku i ostalim konstruktivnim rješenjima isparnog sistema GP.

— Za razliku od SSSR-a, u ostalim zemljama u kojima se grade natkritični blokovi tlakovi na izlazu iz GP ne utvrđuju se nikakvim standardima, tako da tu vlada pravo šarenilo tlakova u području 230 — 260 bara.

U području potkritičnih parametara kod analize opravdanosti ili neopravdanosti prijelaza na natkritične parametre logično je kao referentni tlak odabrati danas najčešće korištene vrijednosti, a to je oko 180 bara. Prema tome, kao referentni podaci za turbinski ciklus mogu se uzeti sljedeće vrijednosti:

— tlak pred turbinom	180 bara
— temperatura svježe pare	540° C
— temperatura međupregrijane pare	540° C
— tlak u kondenzatoru	0,06
— broj dogrijača regenerativnog dogrijavanja	7
— temperatura napojne vode	250 °C

Kod natkritičnih tlakova u raznim analizama, kao i kod već izvedenih postojenja kao najčešće spominjana vrijednost uzima se 250 bara.

Analiza opravdanosti ulaganja u postojenja u natkritičnom području treba sadržavati usporedbu razlike visine ulaganja (investicija) u opremu za tlak od 250 bara u odnosu na opremu za rad kod 180 bara s uštedom u gorivu koja će se pojaviti zbog poboljšanog specifičnog potroška kod rada sa 250 bara.

Od cjelokupnog blokovskog postrojenja kod prijelaza na rad s 250 bara pred turbinom, najveće razlike se pojavljuju na postrojenju GP. Veoma je važno pri tome da u kotlogradnji prijelaz na proizvodnju GP s 260 bara izlaznog tlaka ne predstavlja novost u tehnologiji i materijalima. Posebice to ne zahtijeva prijelaz na upotrebu austenitnih čelika. U ovim razmatranjima u principu je moguće analizirati samo opravdanost prijelaza sa 180 na 250 bara bez ikakvih drugih promjena u turbninskom ciklusu, kao posljedice optimizacije turbinskog ciklusa zbog prijelaza na viši polazni tlak. Prema podacima proizvođača turbina KWU i BBC prijelazom na 250 bara treba prijeći i na dogrijavanje napojne vode na 280 — 290 °C, prouzročit će porast temperature u ložištu za manje od 20 °C, a što se ostvaruje ugradnjom 8. regenerativnog zagrijača napojne vode. Za GP to ujedno znači i povišenje temperature zraka za izgaranje, jer se uz isti stupanj djelovanja GP više topline treba predati u regenerativnom zagrijaču zraka (RZZ). To ujedno dovodi i do povišenja temperature u ložištu, što bi moglo dovesti eventualno do porasta emisije NO_x. Povećanje temperature napojne vode za oko 30 °C, prouzročit će porast temperature u ložištu za manje od 20 °C, što se s gledišta emisije NO_x može zanemariti.

Prijelazom na rad s natkritičnim parametrima najveće će se promjene kod GP dogoditi kod visokotlačnih dijelova. To je u osnovi posljedica i povišenih temperatura duž parno-vodenog trakta. Budući da je ulazna temperatura medija (napojne vode) kod rada s 250 bara za oko 30 °C viša, a u oba slučaja izlazne temperature pare jednake, razlike u temperaturi u pravilu se protežu duž čitavog trakta, da bi se tek na izlazu iz GP izjednačile. Maksimalne razlike u temperaturi javljaju se u zoni završetka isparavanja i početka pregrijanja, tj. upravo u području gdje je smješten i separator. Kod rada u režimu kliznog tlaka, u tom području nastupaju znatne promjene temperatura, no moguće je posebnim mjerama anulirati negativan utjecaj prijelaza u natkritično područje u pogledu brzine promjene opterećenja. Moguća je primjena otpornijih materijala na visoke temperature, čime se smanjuje debljina stijenki, a moguća je i primjena većeg broja paralelno spojenih elemenata, čime se opet smanjuje promjer elementa. Osim ovoga mogući su i drugi zahvati u dimenzioniranju ložišta kako bi se smanjila količina topline koja se preda isparivaču. U pravilu se može konstatirati da je negativne posljedice porasta tlaka i, vezano s time temperaturnih nivoa u pojedinim dijelovima vodeno-parnog trakta moguće kompenzirati

— povećanjem debljine stijenki i/ili smanjenjem promjera cijevi i sabirnika

Energija, God. 33/1984/1, 56-63

— upotrebom visokolegiranih materijala i pri nižim temperaturama, što znači pomicanje temperaturnih granica za primjenu pojedinih materijala prema dolje.

Prijelaz na natkritične parametre u turbinskom dijelu zahtijeva znatno manje pormjena i ulaganja. U visokotlačnom dijelu turbine to zahtijeva ugradnju unutrašnjeg kućišta umjesto nosača statorskih lopatica, dok vanjsko kućište s brtvenim rješenjima ostaje praktički nepromijenjeno. Općenito uzevši, kod iste snage smanjenje volumena pare za oko 30% veoma povoljno utječe na dimenzije cijelog ulaznog dijela turbina. Povećanje tlaka i smanjenje specifičnog potroška povoljno se održava i na rashladni sistem, tako da se troškovi turboseta i rashladnog sistema čak i smanjuju u odnosu na potkritične parametre.

Uz pretpostavku da se zbog prije navedenih razloga visokotlačni dio regenerativnog zagrijavanja, napojni tlačni vod i cjevovod svježe pare izvode u 2 paralelna toka, javljaju se povećanja ulaganja u natkritično postojenje. Porast tlaka također dovodi do porasta ulaganja u napojne crpke, tako da se ukupna ulaganja samo na bazi prijelaza na rad s natkritičnim parametrima (250 bara) uz povećanje temperature napojne vode (oko 285 °C, 8 regenerativnih dogrijača) povećavaju prema procjenama u tablici 3.

Tablica 3. Porast ulaganja kod prijelaza sa 180 na 250 bara za blok 300 MW

Postrojenje	Razlike u invest. ulag. u 000 dinara	Primjedba
regenerativno zagrijavanje	+ 54 325	2 linije
napojni tlačni cjevovod	+ 43 986	2 linije
napojne crpke s prigonom	+ 73 310	3 × 50%
cjevovod svježe pare	+ 43 986	2 linije
cjevovod međupregrijanja	± 0	2 linije
turboset s rashl. sistemom	− 29 324	
generator pare	+ 293 242	
Ukupno	+479 525	

S porastom tlaka na ulazu u turbinu smanjuje se specifični potrošak topline. Prema podacima švicarske tvrtke BBC te uštede iznose neto 2% ako se kao baza uzme tlak 177,5 bara, temperatua pregrijane i međupregrijane pare 540 °C, tlak u kondenzatoru l0,06 bara, regenerativno zagrijavanje u 7 stupnjeva na 250°C, dok su ostali parametri nepromijenjeni. Prema podacima njemačke tvrtke KWU uštede u specifičnom potrošku su nešto veće. Uz polazno stanje 185 bara, temperature svježe i međupregrijane pare 530 °C, tlak u kondenzatoru 0,08 bara temperature napojne vode 250 °C uštede iznose ako 2,5% kod prijelaza na tlak 250 bara i temperaturu napojne vode od 290 °C.

Tvrtka BBC preliminarno je za postojenje na Kosovu izračunala povećanje specifičnog potroška turbinskog ciklusa za dva slučaja, za hlađenje rashladne vode, i to vlažnim i suhim rashladnim tornjevima. Osnovni podaci za oba slučaja dani su u tablici 4.

Tablica 4. Osnovni podaci za blok 350 MW prema BBC

		Vlažni rashladni toranj	Suhi rashladni toranj
površina izlaznog presj. turbine	m²	17,0	6,3
tlak svježe pare	bar	180	180
temperatura svježe pare	°C	540	540
temperat. međupreg. pare	°C	540	540
tlak u kondenzatoru	bar	0,062	0,20
temperatura nap. vode	°C	258,7	264,6
količina svježe pare	kg/s	284,8	312,5
količina međupreg. pare	kg/s	257,3	282,0
broj regenerat. dogrijača		7	7

Analiza porasta tlaka na ulazu u turbinu sa 180 na 240 bara dala je slijedeće proračunske vrijednosti: Kod rada s vlažnim tornjem (tlak u kondenzatoru 0,062 bara) prijelaz na tlak od 240 bara donosi smanjenje specifičnog potroška od 1,4% odnosno 109 kJ/KWh (oko 26 kcal/kWh), računato na specifični potrošak od 7 905 kJ/kWh (oko 1 888 kcal/kWh), turbinskog ciklusa. Kod prijelaza na suhi toranj (tlak kondenzatora 0,2l bara) povećanje specifičnog potroška iznosi 7,6% ili 472 kJ/kWh l(113 kcal/kWh) uz tlak pare 180 bara. U ovom slučaju prijelaz na 240 bara tlaka pare može smanjiti specifični potrošak za 1,6% tj. za oko 125,6 kJ/kWh (30 kcal/kg). Uzme li se u obzir i moguće povećanje broja regenerativnih zagrijača kao i temperature napojne vode na oko 280 °C, tada se može pretpostaviti da ušteda iznosi oko 146,5 kJ/kWh (35 kcal/kWh). Prema već spomenutim podacima tvrtke KWU, uštede kod prijelaza na viši tlak i 290 °C temperature napojne vode nešto je veća i iznosi oko 194 kJ/kWh (oko 46 kcal/kWh). Ta se vrijednost kod prijelaza na tlak u kondenzatoru od 0,2 bara povećava za još oko 17 kJ/kWh (oko 4 kcal/kWh). Prema tome, kod prijelaza na tlak od 250 bara treba računati s uštedama u gorivu na bazi smanjenja specifičnog potroška za 145 — 210 kJ/kWh (oko 35 — 50 kcal/kWh).

Ekonomsku analizu opravdanosti prijelaza rada bloka s tlaka 180 bara na 250 bara na ulazu u turbinu moguće je izvršiti na bazi razmatranja povećanih godišnjih troškova nastalih zbog povećanih ulaganja i godišnjih ušteda koje će ta ulaganja ostvariti. Da bi se takva ulaganja ocijenila kao opravdana, potrebno je da povećani stalni godišnji troškovi budu manji od godišnjih ušteda.

Analizu je, međutim, moguće provesti uspoređivanjem ušteda koje će se ostvariti kroz životni vijek postrojenja, s povećanim investicijskim ulaganjima.

Pri tome je zbog različite vremenske dospjelosti promatranih ekonomskih veličina (uštede kroz 25 god., investicije na početku) potrebno uštede aktualiziranti na referentnu godinu. Dodatna povećana ulaganja opravdana su ako su aktualizirane uštede koje se realiziraju u pogonu kroz čitav životni vijek postrojenja veće od samih ulaganja. Ekonomska obrada izvršit će se na ovaj drugi način, uz napomenu da se kod analize pretpostavilo da su sredstva za izvršenje prijelaza na tlak 250 bara dobivena bespovratno.

Budući da su uštede ovisne o cijeni goriva koje su danas podložne znatnim promjenama, a povećana investicijska ulaganja su ocijenjena na bazi analiza provedenih kod proizvođača opreme, logičnim se čini ekonomskom analizom utvrditi granične cijene goriva kod kojih je opravdano prijeći na povećani tlak od 250 bara pred turbinom. Granična cijena goriva određuje se relacijom

$$C_g = \frac{I_p}{\Delta_q \cdot \tau_{max} N_p \cdot \sum_{i=1}^{25} \left(1 + \frac{a}{100}\right)^{-i}}$$

pri čemu je:

C_g (d/MJ) — granična cijena goriva
I_p (d) — povećana investicijska ulaganja
Δ_q (J/J) — razlika u specifičnom potrošku goriva za proizvodnju električne energije, koja se ostvaruje kod prijelaza na rad sa 250 bara
T_{max} (s) — vrijeme trajanja maksimalne snage
N_p (MW) — snaga na pragu elektrane
a (%) — stopa aktualizacije.

Iz navedene relacije očito je da je granična vrijednost cijene funkcija vremena trajanja maksimalne snage, razlike specifičnog potroška topline za proizvodnju električne energije, visine povećanih investicijskih ulaganja i stope aktualizacije. Da bi se utvrdila osjetljivost granične cijene goriva o navedenim faktorima, u ekonomskoj analizi varirani su:

— vrijeme trajanja maksimalne snage od 4 500 do 7 000 sati na godinu
— razlika specifične potrošnje topline za proizvodnju električne energije u rasponu od 0,0407 — 0,0605 J/J (35 — 53 kcal/kWh)
— visina povećanih investicijskih ulaganja u iznosu od 479 525 000 dinara na početu 1982. god.
— stopa aktualizacije u visini od 8 i 12%.

Rezultati provedenih proračuna prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Granične cijene ugljena za prijelaz na natkritični tlak 250 bara
I_p = 479 525 000 dinara

Razlika u spec. potroš. (J/J)	Aktualizacija 8%						Aktualizacija 12%					
	Vrijeme trajanja maksimalne snage (h/god.)						Vrijeme trajanja maksimalne snage (h/god.)					
	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 000	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 000
0,0407	0,2477	0,2230	0,2027	0,1858	0,1715	0,1593	0,3371	0,3035	0,2759	0,2529	0,2334	0,2168
0,0430	0,2345	0,2110	0,1919	0,1759	0,1623	0,1507	0,3192	0,2872	0,2612	0,2394	0,2209	0,2051
0,0454	0,2206	0,1986	0,1805	0,1655	0,1527	0,1418	0,3002	0,2703	0,2457	0,2253	0,2078	0,1930
0,0477	0,2115	0,1904	0,0,1731	0,1586	0,1464	0,1360	0,2879	0,2591	0,2356	0,2159	0,1993	0,1851
0,0500	0,2018	0,1816	0,1651	0,1513	0,1397	0,1297	0,2747	0,2472	0,2247	0,2059	0,1901	0,1765
0,0523	0,1929	0,1736	0,1578	0,1447	0,1336	0,1240	0,2625	0,2363	0,2148	0,1969	0,1818	0,1688
0,0547	0,1845	0,1660	0,1509	0,1383	0,1277	0,1186	0,2511	0,2259	0,2054	0,1882	0,1738	0,1614
0,0570	0,1770	0,1593	0,1448	0,1328	0,1225	0,1138	0,2409	0,2168	0,1971	0,1807	0,1667	0,1549
0,0593	0,1701	0,1531	0,1392	0,1276	0,1178	0,1094	0,2315	0,2084	0,1895	0,1737	0,1603	0,1489
0,0616	0,1638	0,1474	0,1340	0,1228	0,1134	0,1053	0,2229	0,2006	0,1824	0,1671	0,1543	0,1433

Iz priloženih rezultata očito je da je ekonomski opravdano uvođenje natkritičnog tlaka 250 bara u turbinski ciklus kod to nižih graničnih cijena goriva što je veća ušteda u specifičnom potrošku i što je veće angažiranje bloka u toku godine. Ušteda u specifičnom potrošku dana je u rasponu u kojem će se ta ušteda sigurno i kretati. No točno utvrđivanje visine uštede moguće je provesti za konkretan slučaj i uz poznavanje detaljnih tehničkih karakteristika turbina, što je moguće provesti tek s proizvođačima turbina.

Imajući u vidu činjenicu da se današnje cijene goriva na Kosovu kreću u granicama između 0,05 i 0,06 d/MJ, evidentno je da nema opravdanja graditi blokove s natkritičnim parametrima.

Razdoblje od 1950. do 1965. godine u razvoju gradnje GP upravo je karakterizirano stalnom težnjom za sve višim temperaturama pregrijanja i međupregrijanja. Iza tog razdoblja svjedoci smo postepenog smanjivanja ovih temperatura, da bi se danas gotovo cijeli svijet orijentirao na temperature pred turbinom u uskim granicama od 530 do 540 °C.

Posebice je ta tandencija bila jako izražena u SR Njemačkoj, u kojoj je u tom razdoblju izgrađeno tridesetak blokova s visokom temperaturama pregrijanja u rasponu od 550 do 650 °C.

Mnoga od tih postojenja ostvarila su oko 100 000 sati eksploatacije, a neka i iznad 150 000 sati (npr. TE HULS 2), od kojih se dobar dio i dalje nalazi u eksploataciji.

Usprkos svemu tome danas smo svjedoci ograničavanja temperatura pregrijanja u gotovo svim postojenjima na izlazu iz GP na 540 — 545 °C. Tako npr. tvrtka BBC prema reference listi (početak 1982), od 1975. god. nije primila ni jednu narudžbu za turbinu s temperaturom pare ispred turbine iznad 540 °C, uz iznimku da je jedino tvrtka »Electricite de France« u periodu 1965 — 1975. pustila u pogon 12 blokova po 250 MW i 4 bloka po 600 MW s temperaturama pare 565 °C ispred turbine. Ti se podaci odnose samo na jedinice što ih je proizvela BBC. Noviji blokovi što ih je ista francuska kompanija pustila u rad 1976 — 1978, i to 4 bloka po 700 MW, već su radili sa sniženim temperaturama od 540 °C pred turbinom. Vrijednosti temperature svježe pare na izlazu iz GP pri tome su za oko 5 °C više od vrijednosti danih pred turbinom.

Iako izneseni podaci o dobri eksploatacijskim iskustvima iz njemačke prakse i trend snižavanja temperatura pregrijanja od 533 — 545 °C na izlazu iz pregrijača pare stoje u međusobnoj kontradikciji, ipak se ovo može objasniti sljedećim:

— Imajući na umu vrijeme potrebno za pripremu, izgradnju i sakupljanje eksploatacijskih iskustava kod termoelektrana, razvoj i promjena koncepcije odigrava se sa znatnim vremenskim pomakom.

— Retardacija u pogledu temperatura pregrijanja posljedica je povoljnih cijena goriva do 1973. god., naglog razvoja i primjena nuklearnih elektrana do 1980. koje su u drugi plan bacile klasične termoelektrane i razvoj na tom polju, te nepovoljnog kretanja cijena austenitnih čelika. Pri tome je svaka od zemalja imala svoje specifičnosti u pogledu odnosa cijena goriva, tehnološkog razvoja, cijena austentitnih čelika i stanja s razvojem klasičnih i nuklearnih elektrana.

Današnja situacija se, međutim, izmijenila tako da treba respektirati sljedeće:

— Cijene tekućeg goriva, jasno i ostalih, toliko su se izmijenile da je danas ekonomski opravdano inzistirati na daljnjem razvoju klasičnih elektrana radi poboljšavanja njihova specifičnog potroška, a pri tome se ne može odustati od porasta temperatura pregrijanja.

— Zastoj u gradnji nuklearnih elektrana još više će potencirati značenje klasičnih termoelektrana, naročito onih na kruto gorivo, koje su do 1975. god. bile u naglom padu u pogledu broja novih objekata.

— Cijene austenitnih materijala kao i tehnologija izrade pojedinih dijelova sa specijalnim rješenjima za austenitne materijale nisu nastavili nepovoljan trend kakav je bio zabilježen početkom 70-tih godina.

Sve te činjenice upućuju na to da je danas opravdano sa stajališta daljnjeg razvoja energetike u svijetu pristupiti modificiranju dosadašnjih stavova i nastaviti s intenzivnim istraživanjima kako bi se povisila temperatura pregrijane pare. Ovisno o specifičnim uvjetima razvijenosti tehnologije, cijena goriva i investicijskih ulaganja, neke od razvijenih zemalja prije će poći ovim putem, a neke kasnije.

Akceptirajući sve rečeno kroz prizmu naše situacije, može se zaključiti sljedeće:

— Bez obzira na to što se u nastupajućem razdoblju može očekivati porast temperatura pregrijanja na 600 — 650 °C u uvjetima naše tehnološke razvijenosti, nema opravdanja, bez obzira na poboljšanje specifičnog potroška topline, ići na više temperature pregrijanja od danas u svijetu prihvaćenih 540 — 545 °C na izlazu ih GP. To, dakako, u uvjetima da se u nastupajućem razdoblju predvidi i maksimalno uključivanje domaće stojogradnje u izvedbu i isporuku GP. Činjenica je da danas u našoj kotlogradnji nema dovoljno iskustva za primjenu austenitnih čelika, a da i ne govorimo o mogućnostima domaće metalurgije za isporuku takvih materijala. Nema ni potrebe napominjati da u skoroj budućnosti nećemo moći pristupiti specijalnim konstuktivnim rješenjima za ovakve armature iz austenitnih čelika.

BROJ MEĐUPREGRIJANJA PARE

Iz teorijskih razmatranja termodinamičkog ciklusa voda-para u termoenergetici već je godinama poznato da se višestrukim međupregrijanjem vodene pare može povisiti stupanj djelovanja procesa pretvorbe toplinske energije fosilnih goriva u električnu energiju.

Realizacija i primjena ovih teorijskih spoznaja uvjetovana je, međutim, i drugim faktorima, pri čemu su u prvom planu tehnološke mogućnosti, pogonska praktičnost i raspoloživost te ekonomski faktori cijena goriva i investicijskih ulaganja. Kao rezultat svega ovoga danas se u termoelektranama standardnim rješenjem, koje je naišlo na najširu primjenu, smatra rješenje s jednim međupregrijavanjem pare na izlazu iz visokotlačnog dijela turbine, tj. u području tlakova 25 — 45 bara. Pri tome su temperature pare na izlazu iz međupregrijanja iste kao i na izlazu iz pregrijača. S obzirom na već rečeno u pogledu pregrijanja, jasno je da se i temperatura međupregrijanja danas nalazi u granicama 535 — 545 °C na izlazu iz međupregrijača.

Ono što, međutim, danas predstavlja dilemu u koncipiranju postrojenja bloka jest pitanje uvođenja i drugog međupregrijanja.

Dvostruko međupregrijanje prvi put se u praksi realiziralo u godinama 1954 — 1957, i to u SR Njemačkoj i SAD. Od tada pa do 1973. god. u SR Njemačkoj se izgradilo deset postojenja s dvostrukim međupregrijanjem, što je veoma mali broj u odnosu prema ukupnom broju blokova u SR Njemačkoj, koji se danas nalazi u eksploataciji. Tako je statističkim podacima što ih u SR Njemačkoj provodi VGB u 1976. god. bilo obuhvaćeno ukupno 238 blokova ukupne instalirane snage 40.814 MW. Treba napomenuti da se

spomenutih 10 blokova i danas nalazi u eksploataciji.

Karakteristično je za razvoj primjene dvostrukog međupregrijanja da je taj razvoj bio gotovo istovremen i paralelan s razvojem i primjenom visokih temperatura pregrijanja. Sam početak doživio je znatan zamah u šezdesetim godinama, da bi primjena retardirala početkom sedamdesetih godina. Razlozi su praktički identični kao i kod primjene visokih temperatura pregrijanja, a to su ekonomski razlozi koji proistječu iz odnosa cijena goriva i investicijskih ulaganja. Stabilne cijene goriva u tim godinama uz istovremeni i stalni porast zarada, što je odmah i pokazatelj porasta investicijskih ulaganja, dovele su do toga da se nije nalazila ekonomska računica koja bi opravdavala gradnju ovakvih postrojenja. Tehnološki gledano, može se reći da je problematika dvostrukog međupregrijanja ovladana.

Pri odlučivanju za uvođenje dvostrukog međupregrijanja potrebno je izvršiti od slučaja detaljne ekonomske proračune, polazeći od povećanja investicijske cijene postrojenja, koja proizlazi zbog složenosti GP i regulacijskih krugova, dužih cjevovoda, složenije turbine i građevnih objekata. Današnje spoznaje i provedeni proračuni pokazuju da ovakvoj analizi ima smisla podvrći samo velike blokovske jedinice kod kojih u pojedinim slučajevima može ekonomski biti opravdana ugradnja dva međupregrijanja. Pri tome se složenost postojenja i eventualno složenije rukovanje takovim postrojenjem ne mogu egzaktno vrednovati. Prema njemačkim iskustivma granične vrijednosti blokova su oko 700 MW.

Kod blokova manjih od 700 MW nema, prema stranim iskustvima, ekonomskog opravdanja ulagati u dvostruko međupregrijanje. No to je moguće pokazati polazeći od procjene ulaganja u takav zahvat, kao i uštede u specifičnom potrošku koje se mogu ostvariti.

Prema podacima tvrtke BBC, uštede koje se mogu ostvariti uvođenjem dvostrukog međupregrijanja iznose 1,3 — 1,6%, što iznosi 0,0291 — 0,0353 J/J (24,7 — 30,4 kcal/kWh), dok prema literaturi (1) te uštede mogu iznositi do 2% od specifičnog potroška, tj. do 0,043 J/J (37 kcal/kWh). Poboljšanje koje se se ostvariti treba od slučaja do slučaja odrediti, no za sva proučavanja sa sigurnošću se može uzeti da se ostvaruje 0,0291 — 0,043 J/J (24,7 — 37 kcal/kWh).

Povećanje investicijskih ulaganja kod primjene dvostrukog međupregrijavanja procijenjeno je u tablici 6.

Iz tablice je očito da glavninu povećanih troškova kod prijelaza na dvostruko međupregrijanje čine troškovi složenije izvedbe GP i turbine, a također nisu mali ni troškovi zbog promjena na cjevovodima kao i uvođenje dodatnih upravljačkih i regulacijskih uređaja.

Ekonomska analiza opravdanost uvođenja drugog međupregrijanja može se provesti na način već primijenjen pri analiziranju opravdanosti uvođenja natkritičnog tlaka.

I ovdje će povećana investicijska ulaganja u drugo međupregrijanje biti opravdana ako suma aktualiziranih ušteda kroz životnu dob elektrane bude veća od povećanih ulaganja. Problem osjetljivosti obradit će se i ovdje, te će se za povećana ulaganja od 679 648 000 dinara na početku 1982. god. varirati:

Tablica 6. Povećanje ulaganja kod prijelaza na dvostruko međupregrijanje za blokove 300 MW

POSTROJENJE	Razlika u invest. ulag. u 000 dinara	Primjedba
generator pare	357 709	
cjevovodi	83 466	2. međupregrijanja
regenerativno zagrijavanje	−23 847	
rashladni sistem, oprema za ugljen i pepeo	−23 847	
turbina	214 625	
napojne crpke	−11 924	
upravljanje i regulacija	35 770	
građevni dio	47 696	
Ukupno	679 648	

— vrijeme trajanja maksimalne snage od 4 500 do 7 000 h/god.

— razlika u specifičnom potrošku topline za proizvodnju električne energije u području od 0,0251 do 0,043 J/J (25 — 37 kcal/kWh)

— stopa aktualizacije u iznosu od 8 i 12%.

Rezultati proračuna prikazani su u tablici 7.

Iz tablice 7. očito je da se opravdanost prijelaza na dvostruko međupregrijanje iskazuje kod to nižih graničnih cijena ugljena što su veće uštede u specifičnom potrošku i što je veće godišnje angažiranje postrojenja.

Na osnovi tih padataka moguće je uz utvrđene uštede u specifičnom potrošku i uz određeno mjesto bloka u sistemu ocijeniti u danom trenutku opravdanost ulaska u ovakav zahvat.

ZAKLJUČAK

Na bazi iznesenoga i polazeći od današnjih cijena ugljena na Kosovu, moguće je u pogledu parametara GP zaključiti sljedeće:

— Akceptirajući današnje odnose cijena ugljena na Kosovu (Kosovo A 0,0497 d/MJ, Kosovo B 0,0565 d/MJ) investicijska ulaganja u području blokova 300 MW, nema ekonomskog opravdanja prijeći na izgradnju blokova s natkritičnim tlakom pred turbinom (250 bar). Jasno je da u vrijeme donošenja odluke o izgradnji ovakvih blokova treba obaviti ekonomsko vrednovanje u uvjetima tada važećih

Tablica 7. Granične cijne ugljena za primjenu drugog međupregrijanja

$I_p = 679\,648\,00$ dinara

Razlika u spec. potroš. (J/J)	Aktualizacija 8%						Aktualizacija 12%					
	Vrijeme trajanja maksimalne snage (h/god.)						Vrijeme trajanja maksimalne snage (h/god.)					
	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 000	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 00
0,0291	0,4911	0,4420	0,4018	0,3682	0,3400	0,3157	0,6684	0,6016	0,5469	0,5013	4628	0,4297
0,0314	0,4551	0,4096	0,3724	0,3413	0,3151	0,2926	0,6194	0,5575	0,5068	0,4645	0,4289	0,3982
0,0337	0,4241	0,3818	0,3470	0,3181	0,2936	0,2726	0,5772	0,5196	0,4723	0,4329	0,3996	0,3710
0,0360	0,3970	0,3573	0,3248	0,2977	0,2748	0,2552	0,5403	0,4863	0,4421	0,4052	0,3740	0,3473
0,0384	0,3722	0,3349	0,3045	0,2791	0,2577	0,2393	0,5066	0,4558	0,4144	0,3799	0,3507	0,3257
0,0407	0,3511	0,3160	0,2873	0,2634	0,2431	0,2257	0,4779	0,4301	0,3910	0,3585	0,3309	0,3072
0,0430	0,3324	0,2991	0,2719	0,2493	0,2301	0,2137	0,4524	0,4071	0,3701	0,3393	0,3132	0,2909

odnosa cijena goriva i opreme. S obzirom na to da se izgradnja blokova na Kosovu za potrebe drugih republika predviđa kroz duže vremensko razdoblje (oko 20 god.), moguće je da se odnosi cijena goriva i opreme, odnosno radova toliko izmjene da se nakon stanovitog broja godina pokaže opravdanim prijelaz na rad s natkritičnim tlakom. Imajući to na umu kod odabiranja tehničkih rješenja opreme, posebice GP, treba težiti za rješenjima koja će taj prijelaz učiniti relativno lakim. Ovo je, dakako, prvenstveno u interesu domaće industrije za proizvodnju energetske opreme.

— Prvenstveno se rukovodeći dosadašnjom praksom i objektivnim sagledavanjem tehnoloških mogućnosti domaće strojogradnje, temperature pregrijane pare treba održavati na nivou od oko 540 °C

— Današnje cijene kosovskog ugljena i cijene ljudskog rada i opreme za energetska postojenja ekonomski ne opravdavaju gradnju postojenja s dvostrukim međupregrijanjem. I ovdje se u načelu može s vremenom situacija izmijeniti, no treba očekivati da će se prije pokazati opravdanim prijelaz na natkritične parametre, a tek nakon toga sa stanovitom vremenskom distancom i primjena dvostrukog međupregrijanja.

— U pogledu ostalih parametara turbinskog ciklusa danas primjenjivanja tipska rješenja rezultat su dugogodišnjeg poboljšavanja rješenja, tako da tu nema velikih mogućnosti. Broj regenerativnih stupnjeva zagrijavanja iznosi 7 — 8, a temperatura napojne vode 250 — 260 °C.

LITERATURA

(1) EYDAM H., *Betriebsbewährung und Aussichten der doppelten Zwischenüberhitzung,* VGB Kraftwerkstechnik 58, H 12, 1978.

(2) SCHNEIDER A. *Betriebserfahrungen und zukünftige Aussichten von Hochtemperatur — Dampferzeugern und Kraftanlagen,* VGB Kraftwerkstechnik 58, H 3, 1978.

(3) PETER F., KÖNIG H. H., SCHÜLLER K. H., *Stand und Entwicklung der Technik thermischer Kraftwerke,* Brennstoff — Värme — Kraft 33, Nr 5, 1981.

(4) NITSCH D., SCHMITZ H., *Arbeitsverfügbarkeit und Arbeitausnutzung von Blockanlagen 1976* VGB Kraftwerkstechnik 58, H. 1, 1978.

(5) ORNATSKII A. P., DAŠKIEV J. G., PERKOV V. G., *Parogeneratori sverhikritičeskogo davlenija,* Kijev, 1980.

(6) BALD; WITCHOW E., *Planung fossil gefeuerter Kraftwerke unter dem Geischtpunkt der heutigen Brennstoffsituation,*VGB Kraftwerkstechnik 57, H. 11, 1977.

(7) MILLER G. U. LENKEWITZ K. H., *Die entwicklung zu Kraftwerksblöcken grosser Leistung,* »Braunkohle«, 1972, Nr. 11

KEY WORDS: THERMAL POWER PLANT, STEAM PARAMETER, »KOSOVO«

CHOICE OF PARAMETERS FOR STEAM GENERATOR FOR TPP ON »KOSOVO«

In the article is presente an analysis and choice of basic parameters for working medium for TPP on Kosovo, starting from possible investments and costs of coal from »Kosovo«.

AUSWAHL DER PARAMETER DER DAMPFGENERATOREN FÜR BLOCKS AUF »KOSOVO«

Im Artikel wurden eine Analyse und Auswahl der Grundparameter des Arbeitsmediums für Blocks auf Kosovo behandelt. Man ging von dem möglichen Lösungen der Höhe der Investitionen und des Kohlepreises auf »Kosovo« aus.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС »КОСОВО«

В статье приводится анализ в выбор основных параметров рабочей среды для энергоблоков на ТЭС »Косово«, исходя из возможных решений объема капиталовложений и стоимости косовского угля.

Naslov pisca:
dr Dubravko Matanić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1483-04-20

SOUR »MONTING«
RO »Montmontaža«
OOUR »ENERGETIKA«
za izgradnju i montažu objekata
i energetskih postrojenja
ZAGREB
Dimitrovljeva 2-6

Direktor OOUR-a, telefon	dir. 512-070
	centr. 518-900
Tehnička služba	dir. 514-435
Financijska služba	512-070
Kadrovska služba	dir. 513-848
Komercijalna služba	dir. 214-960
Kesterčanekova br. 1	222-499
	222-508
	centr. 217-700

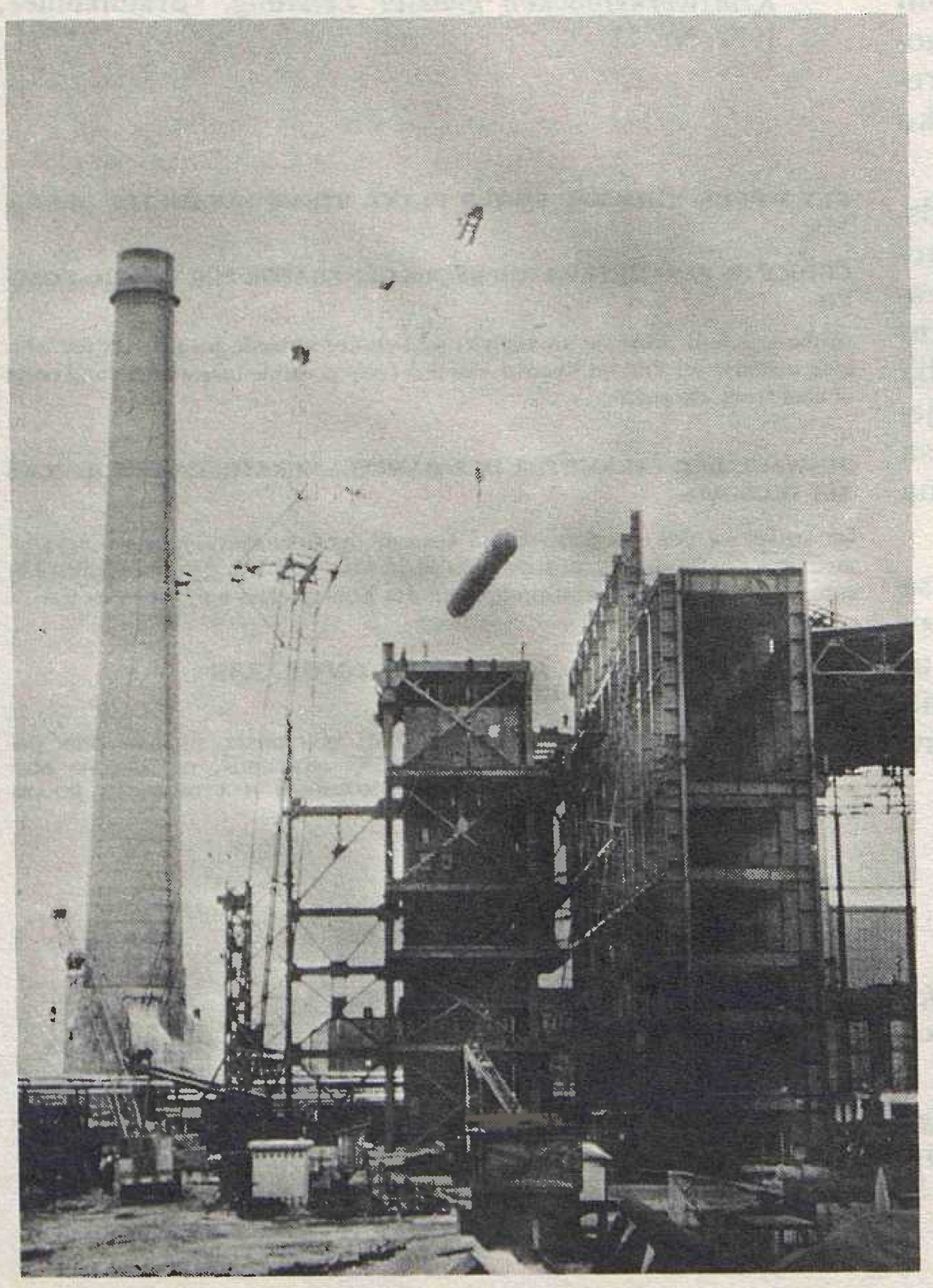
Izrađuje i montira:

— termoelektrane, toplane, energane, hidroelektrane, nuklearne elektrane, 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



Montaža bojlera u TE-TO Zagreb
1 × 120 MW

USPOREDNA ANALIZA POSTUPAKA KONDICIONIRANJA TALOGA IZ ISPARIVAČA U NE KRŠKO

mr Ilija Plećaš, dr Milša Todorović, Andrija Kostadinović, Beograd i mr. Zvonko Lovašić, Zagreb

UDK 621.0395

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je prikazano ispitivanje triju najvažnijih karakteristika matriksa za solidifikaciju taloga iz isparivača dobivenog postupkom koji se primjenjuje u NE Krško što ga je projektirao Westinghouse, kao i novog postupka razrađenog u Institutu »Boris Kidrič« u Vinči, koji je pokazao niz prednosti u odnosu na dosadašnji način kondicioniranja radioaktivnog otpadnog materijala (RAO).

Ključne riječi: nuklearna elektrana, nuklearni otpaci, solidifikacija, zaštita od zračenja.

UVOD

U radu nuklearne elektrane tipa PWR neizbežno se javljaju 4 vrste čvrstih radioaktivnih otpadaka: istrošene jonoizmenjivačke smole, koncentrat (talog) iz isparivača, nisko radioaktivni kontaminirani materijal i istrošeni radioaktivni filtri iz fluidnih sistema. U NE Krško predviđene su isparivačke jedinice u sistemu za preradu tečnog radioaktivnog otpada LWPS, (liquid Waste Processing System) kao i u sistemu za recikliranje bora BRS (Boron Recycle System). Prema tehnološkom postupku u isparivačku jedinicu u LWPS dozira se tečnost sakupljena u tanku za otpad ili tečnost iz rezervoara za drenažu. U prvom slučaju prerađuje se tečnost koja je kvaliteta reaktorske napojne vode i koja se posle prolaza kroz isparivač vraća nazad u proces. Koncentrati iz dna isparivača, koncentracije 12% težinskih delova odvode se u sistem za solidifikaciju (WDS). Tečnost sakupljena u rezervoaru za otpad (Waste Hold-up Tank) je uglavnom voda pomešana s bornom kiselinom i slabo radioaktivna. Drugi slučaj nastaje kada se u isparivač dozira radioaktivna tečnost iz rezervoara podne drenaže i drenaže pojedine opreme koja ne sadrži vodu reaktorske gradacije. Ovde spada i voda iz laboratorije, voda iz sabirnika na dnu kontejnmenta, voda iz rashladnog sistema i voda koja iscuri sa sekundarne strane energetskog parnog voda, odnosno voda za napojnu vodu unutar kontejnmenta. (10)

Ovdje se tečnost usmjerava u isparivač gdje se prerađuje. Kondenzat se ispušta preko jonskog izmjenjivačkog filtra u rezervoar za otpad, a koncentrat se odvodi u stanicu za solidifikaciju WDS (Waste Druming System). U isparivaču se koncentrira rastvor borne kiseline do koncentracije 4% težinskih delova, a zatim se akumulirani koncentrat prebacuje u tank za bornu kiselinu CVCS. Količina koncentrata sa dna isparivača prema podacima za NE Krško iznosi 68 m^3 ukupne aktivnosti oko 16,6 TBq.

Tablica 1. Izotopska aktivnost koncentrata sa dna isparivača bazirana na ukupnoj koncentrisanoj aktivnosti od 1,5 TBq

Cr	— 51	15,5	GBq/m^3
Mn	— 54	5,2	GBq/m^3
Fe	— 55	27	GBq/m^3
Fe	— 59	11	GBq/m^3
Co	— 58	207	GBq/m^3
Co	— 60	34	GBq/m^3
Rb	— 86	0,5	GBq/m^3
Sr	— 89	4	GBq/m^3
Sr	— 90	0,17	GBq/m^3
I	—131	336	GBq/m^3
Cs	—134	444	GBq/m^3
Cs	—136	44	GBq/m^3
Cs	—137	322	GBq/m^3
Ba	—140	0,7	GBq/m^3

Tablica 2. Hemijski sastav koncentrata isparivača

Ca	22 % tež.
Na	9 % tež.
B	22 % tež.
CO_3^{2-}	iz razlike
Cl^-	< 0,1 % tež.
SO_3^{2-}	< 0,3 % tež.
Mg^{2+}	< 0,1 % tež.

1. PRIPREMA BURADI ZA PRIHVAT KONCENTRATA IZ ISPARIVAČA

Koncentrat iz isparivača i sadržaj iz rezervoara za hemijski otpad doziraju se u čelično bure zapremine 55 galona, koje je prethodno posebno pripremljeno.

Postupak pripreme bureta je sledeći: bure se postavi uspravno i u njega se centralno stavi injektor. Izvan bureta je pričvršćen električni vibrator. U bure se postepeno dodaje vermikulit cement. U kraćim vremenskim razmacima aktivira se vibrator, tako da cement potpuno okruži glavu injektora. Instalira se poklopac i pritegne prstenom. Bure je sada pripremljeno za upotrebu. Pripremljena burad se stavlja u prostoriju za punjenje i spaja putem cevi za zajednički razvodnik i vakuum pumpu. Istovremeno se puni 6 buradi. Apsolutni pritisak u buretu iznosi 23,7 KPa (175 mm Hg). Pošto je postignut potpritisak u buretu, vakuum-pumpa se isključuje. Sledećih pet minuta registruje se vakuum u svakom buretu. Poslije toga ostvaruje se direktna veza bureta sa rezervoarom za talog iz isparivača i na taj način se ispuni prazan prostor unutar bureta. Vlaga iz taloga sa vermikulitom stvara malter koji kroz 24 časa očvršćava i bure je spremno za odlaganje. Prethodno vađenje injektora iz bureta i zatvaranje bureta čepom izvodi se alatima uz specijalnu zaštitu.

2. EKSPERIMENTALNI RAD I REZULTATI

U Institutu za nuklearne nauke »Boris Kidrič« u Vinči u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine izvršeni su eksperimenti sa vermikulitnim malterom, i to:

1. otpornost na pritisak,
2. permeabilnost maltera,
3. brzina curenja izotopa kroz vermikulitni malter (LEAKAGE-test).

2.1. Opis metoda za ispitivanje maltera za kondicioniranje RAO

2.1.1. Merenje permeabilnosti betona i maltera na azot

Uslovi eksperimenta

Svaki uzorak betona bio je podvrgnut postupku permeabilnosti sa azotom, pod apsolutnim pritiskom od 1 MPa, na temperaturi od 20 °C. Uzorci su bili konzervirani 28 dana na 20 °C i 65 % vlažnosti.

Permeametar za beton

Aparatura

Uređaj za merenje permeabilnosti betona na azot konstruisan je u Laboratoriji za zaštitu od zračenja prema idejnom projektu »Laboratorije za betone« pri STA CEN Saclay (Francuska).

Aparatura se sastoji od:

— boca sa azotom pod visokim pritiskom i manometrom pomoću koga se može regulisati pritisak azota u permeametru
— cilindrične čahure od nerđajućeg čelika u kojoj se nalazi betonski uzorak; zaptivanje između čahura i betonskog uzorka se obezbeđuje trokomponentnom »epoksi«-smolom
— sistema za kontinualno registrovanje varijacije pritiska iznad betonskog uzorka (registrator pritiska i pisač).

Način rada

U prvoj fazi se obezbeđuje pritisak od 1 MPa u permeametru i to dovoljno dugo da se obezbedi permanentan režim protoka azota kroz uzorak.

Dovod azota se tada prekida i prate se varijacije pritiska u permeametru u funkciji vremena.

Interpretacija merenja

Opšti princip permeabilnosti

Poznato je da se proticanje nekog gasa kroz beton pokorava zakonu Darcyja sa velikim stepenom aproksimacije.

Ako se posmatra jedan betonski uzorak sa površinom s upravnom na osu OZ, protok gasa će biti dat formulom

$$q = \frac{K}{\eta} \cdot s \frac{dp}{dz}$$

gde je q: protok gasa u (m^3/s), pod pritiskom p
K: permeabilnost u (m^2)
s: poprečni presek (m^2)
p: apsolutni pritisak, iznad površine betonskog uzorka »s« u (Pa)
z: dužina uzorka po OZ osi u (m)
η: viskozitet u (Poisey) (Poazej = 0,1 Poaza).

Računanje permeabilnosti betona polazi od dobijene zavisnosti P = f(t), koja je registrovana.

Sledeće hipoteze dozvoljavaju da se izračuna K iz eksperimentalno dobijene zavisnosti P = f(t):

— režim strujanja (proticanja) gasa kroz beton je skoro permanentan
— protok je izoterman
— gas koji se koristi je idealan.

Zadnje dve hipoteze dozvoljavaju da se sračuna protok Q nekog gasa, sa srednjim pritiskom $\frac{P+P_o}{2}$:

$$Q = \frac{2V}{P+P_o} \frac{dP}{dt}$$

Q = protok gasa pod srednjim pritiskom $\frac{P+P_o}{2}$. (Q je izraženo u m^3/s; P i P_o u Pa). V = raspoloživa zapre-

mina u permeametru (m^3). $\frac{dP}{dt}$ = nagib krive $P = f(t)$ u (Pa/s).

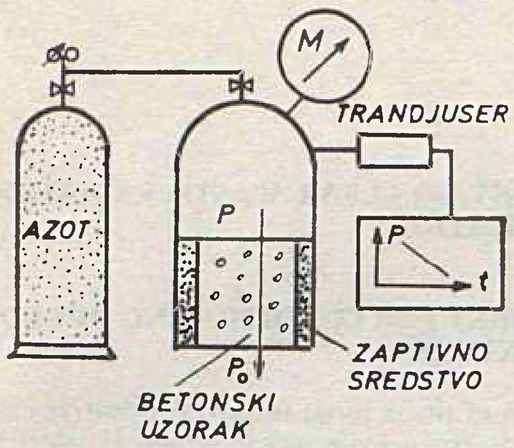
Integrišući Darcyjev zakon po visini i poprečnom preseku epruvete daje:

$$Q = \frac{K}{\eta} \cdot \frac{S}{H} (P - P_o)$$

ili $$K = \frac{Q \cdot H \cdot \eta}{S(P - P_o)}$$

gde je K: permeabilnost betona u (m^2)
H: visina epruvete u (m)
S: poprečni presek epruvete (m^2)
η: viskozitet dinamički u Poizej (Pa · s)

Praktično, meri se nagib krive $P = f(t)$ na datom pritisku, a zatim se određuje Q i K. Ovo određivanje se ponavlja 3 puta na manjim pritiscima, što omogućuje da se sa sigurnošću prihvate gore navedene hipoteze i da vrednost K ostaje konstantna. Vrednost permeabilnosti epruveta uzima se kao srednja vrednost za različite pritiske u permeametru.



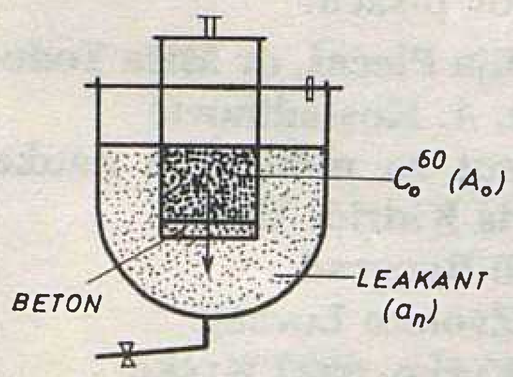
Slika 1. Permeametar za beton

2.1.2. Merenje brzine curenja izotopa (Leakage-test)

Ova metoda omogućava dobijanje prividne slike o mogućnosti specijalnih betona i maltera da dozvole ili ne, ispiranje solidifikovanih otpadnih materijala pomoću podzemnih voda i njihov izlaz u čovekovu okolinu.

Metoda merenja

Radi ispitivanja curenja izotopa iz matriksa konstruisana je u Institutu za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, originalna aparatura (sl. 2) koja omogućava praćenje »curenje« izotopa kroz uzorak u dužem vremenskom periodu. Aparatura omogućava simuliranje realnog procesa na malternim diskovima (ϕ 11 cm; H = 1 cm).



$$R_b = \frac{\Sigma a_n}{A_o} \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{1}{t_n} \text{ (cm/dan)}$$

Slika 2. Aparatura za Leakage-test

Rezultat merenja brzine kretanja radioizotopa u odgovarajućem vremenskom periodu omogućava da se uz veliki stepen aproksimacije proračuna konačno vreme posle koga možemo očekivati ispiranje radioaktivnosti iz realnog sistema. Kao izotop izabran je Co^{60}.

Na sledećoj tablici prikazani su rezultati srednje vrednosti 3 ispitivana uzorka vermikulitnog maltera pripremanog na isti način kao i u postrojenju za kondicioniranje u NE Krško.

Tablica 3.

Vrsta ispitivanja	Vremenski period (dani)	Rezultat
otpornost na pritisak (MPa)	28	4,4
permeabilnost maltera (m^2)	28	$1{,}65 \cdot 10^{-15}$
brzina curenja kroz malter (cm/dan)	120	$5{,}5 \cdot 10^{-4}$

Analiza dobijenih rezultata vermikulitnog maltera koji se primenjuje u NE Krško upućuje na sledeće:

— vermikulitni malter je nehomogen po celoj zapremini
— izuzetno je loše mehaničke karakteristike
— loša je permeabilnost (koja bi dozvolila brz prodor vode i ispiranje radiokativnosti)
— delovi vermikulitnog cementa udaljeni od centralnog dela gde je injektor ostaju suvi pa cement nije vezan i gubi osnovnu svrhu
— talog nije uopšte solidifikovan i pri prvom oštećenju metalnog bureta došlo bi do lomljenja malternog kontejnera i do ozbiljne kontaminacije.

Sva ta zapažanja ukazuju na potrebu izmene ovakvog tehnološkog rešenja, koje bi dalo solidnije rešenje kondicioniranja taloga isparivača iz PWR sistema.

U Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine razrađena je metoda za solidifikaciju taloga iz isparivača. Postupak bazira na mešanju radioaktivnog taloga prema odgovarajućoj recepturi sa portlandskim cementom, vodom peskom i aditivima. Homogenizovanje je vršeno RILEM-ovom mešalicom (planetna) brzinom 140 °/min.

Korišćen je: beočinski portlandski cement PC 2 0Z 45 MPa
pesak »Moravac« 0-2 mm
voda prema JUS-u
aditivi (Chromos – Zagreb): Superfluidal, Fluidal VX-OC i Pumpcrete N.

Receptura i tehnologija solidifikovanja taloga zaštićene su od IBK – Vinča.
Kondicioniranje isparivačkog taloga će biti izvedeno u betonskim kontejnerima ~ 950 l, koji će se takođe raditi prema sopstvenoj tehnologiji i recepturi.

Rezultati ispitivanja maltera u kome je solidifikovan isparivački talog prikazani su na sledećoj tablici:

Tablica 4.

Vrsta ispitivanja	Vremenski period (dani)	Rezultat
otpornost na pritisak (MPa)	28	26
permeabilnost maltera (m^2)	28	$5{,}4 \cdot 10^{-17}$
brzina curenja kroz malter (cm/dan)	120	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$

ZAKLJUČAK

Poređenjem rezultata vermikulitnog maltera i maltera dobijenog na bazi portlandskog cementa sa odgovarajućim dodacima i prema proverenoj recepturi ukazuju na neminovnost izmene postupka kondicioniranja koncentrata iz isparivača u NE Krško. Pakovanjem solidifikovanog taloga u specijalne betonske kontejnere koji zadovoljavaju osnovne sigurnosne zahteve propisane od IAEA, za odlaganje niskoaktivnog i srednjoaktivnog otpada, obezbediće se uslov da u narednih 300 godina, radionuklidi neće doći u čovekovu okolinu. Posebno raduje podatak da se u našoj zemlji domaćim materijalima može razraditi tehnološka koncepcija bezbednog kondicioniranja jednog od najkarakterističnijih otpadaka iz PWR sistema.

LITERATURA

[1] I. Plećaš, *Etude comparative de l' efficacite d'adjuvants pour les materiaux d'enrobage pour dechets radioactifs,* STA/LBR/81-DT-596/sep. 1981.

[2] I. Plećaš, *Beton de remplissage tranchees pour dechets radioactifs,* STA/LBR/81-DT-600/oct. 1981.

[3] I. Plećaš, *Beton de conteneurs pour dechets radiactifs,* STA/LBR/81-DT-615/oct. 1981.

[4]I. Plećaš, *Etude comparative de l'efficacite des adjuvants ll-923 et la-35 a l'aide de formules de mortiers pour l'enrobage des dechets radiactifs,* STA/LBR/81-DT-618/nov. 1981.

[5]I. Plećaš, *Etude comparative de l'efficacite de deux sables: »S. bayeux« et »S. berville« a l'aide deux formules de mortier et des tranchees pour l'enrobage des dechets radioactifs,* STA/lbr/81-DT-619/nov. 1981.

[6] I. Plećaš, *Comparative study of french and yugoslavian radiactive waste forms,* TUCSON, ARIZONA, USA, feb. 27-march 3,1983.

[7] I. Plećaš, A. Kostadinovć, B. Stojanovć, *Razrada metoda za ispitivanje permeabilnosti betona i maltera na azot u tehnologiji solidifikacije rao koji nastaju u radu nuklearno energetskih postojenja,* Tehnika-Naše građevinarstvo, 4, 1983.

[8] I. Plećaš, A. Kostadinović, Ž. Vuković, *Ispitivanje mogućnosti primene domaćih materijala za izradu betonskih kontejnera u tehnologiji solidifikacije radioaktivnih otpadnih matrijala,* XII Simpozijum jugoslavenskog društva za zaštitu od zračenja, Ohrid, 31 maj — 3 juni 1983. g.

[9] I. Plećaš, A. Kostadinović, M. Todorović, *Mogućnost primene domaćih materijala za izradu maltera za oblaganje i ispunu betonskih tranšeja u tehnologiji solidifikacije radioaktivnih otpadnih materija,* XII. Jugoslovenski simpozijum o zaštiti od zračenja, Ohrid, 31 maj — 3 juni 1983.

[10] B. Bordukalo, F. Veber, *Analiza opravdanosti izgradnje sistema za preradu i redukciju volumena krutog otpada niske radioaktivnosti,* Studija — Institut za trojarstvo »Đuro Đaković« — Zagreb.

KEY WORDS: NUCLEAR POWER PLANT, NUCLEAR WASTE, RADIATION PROTECTION, SOLIDIFICATION

COMPARATIVE ANALYSIS OF TREATMENT FOR CONDITIONING OF SEDIMENTS FROM EVAPORATOR IN NPP KRSKO

In the article is presented an examination of three most important matrix characteristics for solidification of sediments from evaporator which is used in NPP Krsko, design Westinghouse, as well as a new treatment developed by Institut »Boris Kidrič« Vinča that proved several advantages in conditionig of radioactiv wastes.

VERGLEICHENDE ANALYSE DES KONDIZIONIERUNGSVERFAHRENS DES TALGES IN DER VERDAMPFUNGSANLAGE IN DEM KRAFTWERK KRSKO

In der Abhandlung wurde die Untersuchung dreier wichtigsten Charakteristiken des Matrix zur Solidifikation des Talges aus der Verdampfungsanlage durch das in der NE Krško gewonnene Verfahren geschildert. Es wurde von Westinghouse projektiert. Das neue Verfahren wurde im Institut »Boris Kidrič« — Vinča ausgearbeitet. Dieses Verfahren zeigte eine Reihe von Vorteilen in Bezug auf die bisherige Weise des kondizionirens der radioaktiven Abfluß — materialien.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОСАДКОВ ИЗ ИСПАРИТЕЛЯ НА АЭС »КРШКО«

В работе приводятся исследования трех наиболее важных характеристик затвердевания осадков из испарителя, полученных методом, применяемым на АЭС »Крышко« по проекту Вестингхауза, а также нового способа, разработанного Институтом »Борис Кидрич«, п. Винча, выявивший ряд приимуществ по сравнению с предыдущим способом кондиционирования радиоактивных отходов.

Naslov pisaca:

mr Ilija Plećaš, dr Miša Todorović, A. Kostadinović
Institut za nuklearne nauke »Boris Kidrič« Vinča,
11000 Beograd
mr. Zvonko Lovašić
NE Krško, 6827 Krško

Uredništvo primilo rukopis:
198u3. 06. 89.

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

TRANSFORMACIJA STUDIJSKIH KOMITETA CIGRÉ BR. 41 (PLANIRANJE SISTEMA) BR. 32 (POGON I UPRAVLJANJE SISTEMOM) I BR. 41 (BUDUĆNOST PRIJENOSA ELEKTRIČNE ENERGIJE I SISTEMA)

Na sastanku Generalne skupštine Conference Internationale des Grands Réseaux Électriques à haute tension (CIGRÉ) 7. IX 1982. u Parizu prihvaćen je izvještaj Upravnog vijeća (Conseil d'administration) u kojem je između ostalog zaključeno da se dosadašnji studijski komiteti br. 31,32 i 41 transformiraju u nove:

Sk 37: Planiranje i razvoj sistema
Sk 38: Analiza i tehnologija sistema
Sk 39: Eksploatacija i upravljanje sistemom.

Disolvirani komiteti 31, 32 i 41 konstituirani su na sastanku Generalne skupštine 1. IX 1976. kao preobrazba dotadašnjih 31 i 32 (»Prijenosne mreže« i »Planiranje i pogon sistema«). Njihov kratak vijek upućuje na dinamičnost zbivanja u domeni planiranja i pogona elektroenergetskih sistema u cjelini, kao i na osjetljivost CIGRÉ na realnosti suvremenog svijeta.

Prestanak postojanja dosadašnjih studijskih komiteta koincidira sa završetkom mandata njihovih predsjednika M. Valtorte (31), H. Glavitscha (32) i L. O. Bartholda (41). Za predsjednike novih studijskih komiteta izabrani su T. J. Nagel (37), H. M. Ellis (38) i J. Svoen (39).

Prvi predsjednik novog Sk 37 T. J. Nagel (iz American Electric Power Service Corporation) skicirao je djelovanje novog komiteta »Planiranje i razvoj sistema«. Interes ovog Komiteta sadržavat će pitanja budućnosti prijenosnih mreža, njihova međudjelovanja sa elektroenergetskim sistemom u cjelini i drugim energetskim sistemima te studij planiranja i evolucije sistema.

Područje aktivnosti ovog novog studijskog Komiteta razvijat će se u pet radnih grupa koje će pripremati relevantni materijal za diskusiju u Komitetu. Tri grupe već postoje i nastavljaju sa svojim radom, a dvije će se konstitutirati.

Prva radna grupa kontinuira svoje djelovanje iz rasformiranog Sk 31. To je radna grupa za kriterije i metode planiranja. Budući da su u kompetenciji ove grupe kriteriji pouzdanosti, navodimo da će prema zamisli predsjednika novi Komitet započeti s radom upravo diskusijom o pouzdanosti, sagledavajući istovremeno proizvodnju, prijenos i distribuciju. Svaki član Komiteta trebao bi izložiti kriterije pouzdanosti u svojoj zemlji i obrazložiti njihovu logiku. Bilo je inače diskusije o tome da je Sk 31 imao tri grupe u kojima se razrađivalo planiranje, a ovaj novi Komitet samo jednu u užem smislu, te da je općenito novi Sk 37 preuzeo više od Sk 41 nego od Sk 31. No to je logično imajući na umu koncepciju novog predsjednika i činjenicu da je Sk 41 bio osnovan zbog značaja promjenjenog odnosa između razvoja elektroenergetskog sistema i vanjskih uvjeta. Usput napominjemo da će druga važna radna grupa iz Sk 31 »Planiranje jalove snage i napona« kontinuirati svoje djelovanje u sklopu novog Sk 38 »Analiza sistema«. U Sk 38 naći će se i pitanja prijenosa vrlo visokim naponima.

Sljedeće dvije grupe su iz Sk 41. U njima će se obrađivati faktori koji utječu na rast potrošnje električne energije, čime ova grupa zadire i u planiranje i potencijalne druge tehnologije energije, jer se elektroenergija u budućem razvoju mora promatrati samo kao segment kompleksne energetike.

Nova je radna grupa za aspekte i posljedice energetskih politika i u njoj će se istraživati pretpostavke nacionalnih energetskih politika i planiranja elektroenergetskih sistema s ciljem da se objedine, a zatim i politički, regulativni i administrativni utjecaji elektroprivrednih poduzeća i organizacija na tu politiku i općenito sprega onih koji kreiraju i onih koji provode energetsku politiku. Ova će grupa obrađivati i posljedice vanjskih ograničenja na razvoj sistema, socijalne i političke implikacije tehničkih rješenja. U viđenju predsjednika ova je radna grupa centralna u novom Komitetu i ona bi trebala biti okosnica njegova djelovanja. Koncepcija je predsjednika rad Sk 37 općenito uže povezati sa Svjetskom energetskom konferencijom, te naglašavati utjecaj vanjskih faktora na razvoj sistema a manje se koncentrirati na teorijske aspekte planiranja i razvoja.

Drugoj novoj radnoj grupi također je dano veliko značenje: njezina će problematika biti elektroenergetski sistemi u zemljama u razvoju. Cilj je da se iz susreta razvijenih i onih u razvoju izvuku koristi za potonje. U krugu interesa ove grupe, a na sugestiju bivšeg Sk 41, novi će Komitet organizirati 1985. simpozij s temom elektroenergetskih sistema u zemljama u razvoju. U organizaciji simpozija sudjelovat će UPDEA (Zajednica proizvođača, prijenosa i distribucije električne energije afričkih zemalja, Madagaskara i Mauricijusa) koja će biti i domaćin.

Nova strujanja neće se još osjetiti u jugoslavenskoj CIGRÉ. Naš komitet br. 32 predložio je adaptaciju novoj shemi studijskih komiteta »velike« CIGRÉ, no na sastanku Sk 31 3. XI 1983. u Skopju zaključeno je »da iako postoje izvjesni praktični razlozi za predložene promjene, pitanje je — i to još treba proučiti — da li postoje i realne stručne i materijalne pretpostavke za predloženu reorganizaciju u ovom momentu. Ocijenjeno je da prijedlog u tom smislu nije dovoljno proučen ni obrazložen, te da to prije konačne odluke još treba učiniti.«

Z. T.

SYM – OP – IS '83, HERCEG-NOVI (Deseti jubilarni simpozij o razvoju i primjeni operacijskih istraživanja u Jugoslaviji)

U Herceg-Novom je održan od 4. do 7. X 1983. jubilarni 10. SYM – OP – IS (i svi prethodni ovi simpoziji su bili održani u ovom lijepom gradiću Crnogorskog primorja). Pokrovitelj je bila Republička zajednica nauke SR Srbije, a organizatori:

Fakultet organizacionih nauka, Beograd
Institut za ekonomiku industrije, Beograd
Institut »Mihailo Pupin«, Beograd.

Ovogodišnji simpozij je započeo u utorak 4. X 1983. svečanim otvaranjem i odvijao se prema Programu rada u tri dvorane po sekcijama:

Primjena operacijskih istraživanja u općenarodnoj obrani

Opća sekcija

Linearno programiranje

Plenarna sekcija

Predviđanje i teorija odlučivanja

Višekriterijumska optimizacija

Pouzdanost

Investicije i planiranje

Nelinearno programiranje

Transport

Simulacija

Proizvodnja i zalihe.

Za vrijeme otvaranja ovog simpozija su podneseni uvodni referati, koji su se odnosili na razvojni put SYM–OP–IS-a, kao i primjene i razvoj metoda operacijskih istraživanja u Jugoslaviji. Nakon toga su dodijeljene Povelje zaslužnima:

— Generalu Božidaru Krautu (posmrtno) — prvom operacijskom istraživaču u Jugoslaviji, koji je prije 30 godina, dakle 1953. predstavio javnosti (u izdanju Vojnog dela) knjigu »Operativno istraživanje — nauka o ratovodstvu i privredi«, svoje pionirsko djelo, čak deset godina prije bilo kakve publikacije ove vrste kod nas, a ono ni danas ne gubi svoju aktualnost.

— Profesoru Alojziju Vadnalu — jednom od osnivača operacijskih istraživanja u Sloveniji i Jugoslaviji, svestranom pedagogu, zapaženoj osobi u gradnji prosperiteta operacijskih istraživanja u našoj zemlji.

— Profesoru Dragoslavu Mirkoviću — organizatoru (1968. god.) prve postdiplomske nastave iz organizacijskih nauka na Mašinskom fakultetu u Sarajevu, a istakao se kroz održavanja mnogobrojnih kolegija na više naših fakulteta, čime je dao značajni doprinos razvoju i širenju primjene operacijskih istraživanja pri čemu nije izostalo ni to da bude mnogima mentor.

Prisutni sudionici simpozija primili su Zbornike radova (kroz 10 godina SYM–OP–IS-a te detaljno za ovu godinu sve referate i saopćenja — ukupno dvije knjige), kao i Rječnik termina, takozvani pojmovnik iz svih do danas poznatih oblasti operacijskih istraživanja.

Iz osvrta na razvojni put ovog simpozija (ref. M. Čupić), koji je predstavljao sve ove godine organizirano okupljanje naših stručnih i znanstvenih radnika na području operacijskih istraživanja radi zadovoljavanja potreba, proizlazi da su se na jednom mjestu, ovdje u Herceg-Novom, kontinuirano razmjenjivala značajna akumulirana iskustva, znanja i konkretni rezultati iz navedene znanstvene discipline. Među ukupnim brojem prihvaćenih i objavljenih radova bilo je najviše referata (90 %), a ostalo su bila saopćenja. Godinama prevladavaju oni aplikativni radovi (80 %) u usporedbi sa teorijskim, a većina autora pripada znanstvenoistraživačkim ustanovama, odnosno organizacijama (80 %), dok su ostali iz privrede. Bili su razmatrani aktualni problemi iz 21 oblasti operacijskih istraživanja. Prevladava nelinearno i linearno programiranje te simulacija, a ističe se i višekriterijska optimizacija, dok su još slabo zastupljene oblasti ciljno programiranje, ekonometrijske metode, teorija igara i Markovljevi lanci.

Napokon, na kraju stoji opravdana konstatacija da se osjeća porast kvalitete radova. Stiže ih oko 80 (u toku prvih 5 godina održavanja ovog simpozija broj radova varirao je oko 40), a većinom se odnose na neposrednu primjenu operacijskih istraživanja u praksi. Autora je također sve više, pojavljuju se nova imena, pa tako dolazi do željenog osvježavanja sadržaja i rada simpozija novim idejama, nastojanjima. Efekti toga su najčešće vezani za rješavanje onog konkretnog, što autori susreću u praksi. Eto, tako se došlo do zapažene javne tribine za razmjenu znanja i iskustva gdje s velikim entuzijazmom nastupaju znanstveni i stručni radnici iz cijele Jugoslavije i pojedinačno, ali najčešće ipak kolektivno pri izradi radova.

Naša zemlja može biti ponosna da se redovito već deset godina ovdje uspješno održava ovako značajni znanstveni skup, kojem svi možemo opravdano poželjeti i u idućim godinama velike uspjehe i masovno okupljanje tako kvalitetnih znanstvenoistraživačkih i stručnih kadrova Jugoslavije.

I. Č.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

UGLJEN IMA BUDUĆNOST

U Evropskoj zajednici je nakon prve »naftne krize« 1973. god. opao udio nafte u bruto-potrošnji energije sa 62 na 50 % u 1982. god. Kod uvozne nafte taj se udio u isto vrijeme smanjio sa 61 na 36 %. Visoke cijene nafte pogodovale su proizvodnji u područjima u kojima su proizvodni troškovi vrlo visoki (Sjeverno more). Nakon stalnog opadanja potrošnje ugljena u 60-im godinama ugljen već 1982. godine pokriva oko 20 % potreba primarne energije u EZ. Uz pretpostavku da će privredni rast godišnje iznositi 2,5 % računa se da će za razdoblje od 1980. do 2000. godine potrošnja kamenog ugljena od današnjih 314 milijuna t/god. porasti na najviše 500 mil. t/god. Dodatne potrošnje ugljena od 135 do 185 mil. t očekuje komisija EZ u termoelektranama. Kod toga se polazi od pretpostavke da će porast potrošnje struje biti godišnje od 3,5 % brži kroz duže vrijeme od ukupne potrošnje energije. Istovremeno se pretpostavlja znatno povećanje kapaciteta nuklearnih elektrana: od sadašnjih 41 na 180 giga W u 2000. godini.

Potreba industrije čelika za koksnim ugljenom i koksom zadržat će se u EZ, zbog strukturnih problema tog sektora, u najboljem slučaju na današnjem nivou. Za ostalu industriju vrijedi oprezna pretpostavka da bi se do kraja stoljeća moglo potrošiti 40 mil. t ugljena više. Stvaran razvoj mogao bi dakako ovisiti i o tome kako će se moći na tržištu probiti nove tehnologije spaljivanja ugljena. U pojedinim industrijskim sektorima u cementnoj industriji se danas ponovno više koristi ugljen. Prema mišljenju EZ i u kućanstvima bi mogla porasti upotreba ugljena ako će privatnom potrošaču ponuditi ugljen u oplemenjenom obliku za potrebe grijanja. Direktna potrošnja čvrstih goriva mogla bi se i u budućnosti smanjivati usprkos daljnjem napretku tehnologije spaljivanja. No tu su zato veće mogućnosti primjene ugljena kod daljinskog zagrijavanja. Uz povoljne uvjete ponude plinofikacija ugljena mogla bi u skoroj budućnosti pojačati taj razvoj.

Četiri najvažnija proizvođača ugljena u EZ imala su 1973. proizvodnju 270 milijuna t godišnje. Sada se ona kreće od 240 do 250 milijuna t godišnje. Od toga su za samo 50 do 60 milijuna t ugljena proizvodni troškovi takvi da je taj ugljen kurentan samo u blizini ugljenokopa. Ovi odnosi cijena dovest će do toga da će se eventualna veća potreba za ugljenom uglavnom pokrivati uvozom ugljena.

Prikladnim mjerama potrebno je u svih 10 zemalja EZ ostvariti veći kapacitet potrošnje ugljena te općenito stvoriti povoljniju klimu za upotrebu ugljena i ostalih čvrstih goriva. Za opskrbu energijom u EZ važno je zadržati proizvodno sposobno (rudarstvo). U tom smislu komisija EZ će i u budućnosti davati podršku pojedinačne nacionalne interese ugljenarstva. Osim toga, dijalog sa trećim zemljama stvorit će povoljne pretpostavke za dopunske ponude ugljena.

(Europa-Kohle hat Zukunft. »Erdöl und Kohle«, 36, 1983, 6, 285 — Ländernachrichten)

Z. K.

REZERVE UGLJIKOVODIKA U SVIJETU

Ukupne svjetske rezerve naftnih i plinskih nalazišta iznose, prema procjenama »Esso AG«, 400 do oko 660 milijardi t naftnih jedinica. Od prve naftne bušotine na svijetu pa do danas dobiveno je oko 66 milijardi t nafte i gotovo 30 000 milijardi m^3 plina. To odgovara ukupnoj količini od 90 milijardi t naftnih jedinica. Svijet još raspolaže sa oko 300 do 600 milijardi naftnih jedinica, odnosno sa 70-orostrukom do 140-orostrukom sadašnjom godišnjom proizvodnjom nafte i plina. Nisu uzeti uobzir uljni pijesci i škriljci, kao ni zemni plin u vrlo velikim dubinama. Potvrđene rezerve iznose oko četvrtinu do polovicu pretpostavljenih rezervi. One su iznosile početkom 1982. oko 92 milijarde t nafte i više od 82 000 milijardi m^3 zemnog plina.

Potvrđene rezerve ugljikovodika vrlo su nepravilno razmještene po svijetu. U 25 do 160 sedimentacijskih bazena, iz kojih se sada pridobivaju nafta i plin, nalaze se nalazišta s rezervama sa po preko 1,3 milijarde t. Ova veličina odgovara približno polju »Prudhoe Bay« u Sjevernoj Aljasci. U 25 sedimentacijskih bazena nalazi se više od 85 % nafte i plina dosad otkrivenih na svijetu. Samo jedan jedini sedimentacijski bazen — područje oko Perzijskog (Arapskog) zaljeva sadrži više od 40 % svih dosad u svijetu otkrivenih rezervi nafte. Na vrhu 10 zemalja najbogatijih rezervama nalazi se Saudijska Arabija s udjelom od četvrtine postojećih rezervi nafte. Slijede Kuvajt, SSSR, Meksiko i Iran. U ovih 5 zemalja nalazi se više od 60 % postojećih rezervi nafte. Preko 40 % postojećih rezervi zemnog plina nalazi se u SSSR-u, Iranu, SAD, Alžiru i Saudijskoj Arabiji.

U 440 sedimentacijskih bazena, u kojima se pretpostavlja velik dio potencijalnih rezervi ugljikovodika, vrijedi vjerojatno slična nepravilna raspodjela nalazišta nafte i plina kao i u poznatim sedimentacijskim bazenima. Stručnjaci pretpostavljaju da se nijedan od neistraženih bazena po bogatstvu neće približiti onome Perzijskog zaljeva.

(Kohlenwasserstoffreserven. »Erdöl und Kohle«, 36, 1983, 6, 286 — 'Ländernachrichten')

Z. K.

TROŠKOVI ISTRAŽIVANJA NAFTE I PLINA U SJEVERNOM MORU

Troškovi bušenja u moru u zapadnoj Evropi veći su 20 puta od onih na kopnu. Cijena bušotine u Sjevernom moru iznosi čak do 24 milijuna US $, a u prosjeku od 10 do 16 milijuna. Do kraja 1979. god. izbušeno je u Sjevernom moru i na kontinentalnom »šelfu« sjeverozapadne Evrope 1837 bušotina, od čega 1171 u engleskom području. Troškovi istraživanja iznose u pravilu 15 % troškova proizvodnje nafte u moru. Najveće izdatke imala je Velika Britanija, koja je već 1979. god. druga u svijetu po proizvodnji nafte iz mora.

U budućnosti nafta će se u britanskom sektoru Sjevernog mora sve više crpiti iz manjih nalazišta jer su velika — kako se pretpostavlja — već istražena i neka od njih gotovo iscrpljena. Da bi se opskrbila naftom, Velika Britanija mora iz vlastitih sredstava u perspektivi (do iza 2000. godine) istražiti do 1995. god. daljnjih 80 do 100 manjih nalazišta. U tu svrhu bit će potrebno 500 do 600 bušotina. Broj pokusnih bušotina na naftu treba se sa 150 (1980. god.) povećati na 350 (1986), a onih na plin na 150.

Znatne troškove za istraživanje, osvajanje i eksploataciju morskim nalazištima i Norveška, koja je šesta u svijetu u

proizvodnji nafte iz mora. U toku 16 godina, otkada su počeli radovi u norveškom sektoru Sjevernog mora, izbušeno je više od 300 bušotina. Industrijska nalazišta ugljikovodika iznose 2,4 do 3,6 milijardi tona (preračunato na naftu).

Procjenjuje se da se u tekućem desetljeću u istraživanje i razradu nalazišta u danskom, nizozemskom i zapadnonjemačkom sektoru Sjevernog mora prosječno investira 1 milijarda US $ godišnje.

(Erdöl – Erdgas – Erkundung — Nordsee. »Zeitschrift f. angew. Geologie«, Bd. 29, 1983, Ht. 4, 198 — 'Informationen')

Z. K.

PRVI ENERGETSKI UREĐAJ ZA ODSUMPORAVANJE IZLAZNIH PLINOVA

Uz prvi evropski uređaj za odsumporavanje dimnih plinova, termoelektrane Weiher III (707 MW) u području Saara (SR Njemačka), polovicom 1983. puštena je u pogon druga faza. Uređaj radi na bazi vapnenca po postupku SHL — Saarberg — Hoelter — Lurgi iz Saarbrückena. Druga faza ima kapacitet čišćenja 450 000 m³/h, a sagrađena je u roku od jedne godine. Prva je faza u industrijskom pogonu već više od 4 godine. Sada se nalazi u gradnji takvih uređaja za različite termoelektrane ukupne snage 1 900 MW.

(Elektrizitätswirtschaft, 1983, br. 16, str. 612)

B. M.

NEMA OPASNOSTI OD OTPADNE TOPLINE

Komisija za otpadnu toplinu njemačkog saveznog ministarstva konstatirala je da otpadna toplina iz elektrana i industrijskih postrojenja ne ugrožava ni vodu, ni atmosferu. Do tog je zaključka komisija došla nakon osmogodišnjeg studija u suradnji s ekspertima i znanstvenicima. Ona smatra da zbog odvodne topline, ako se poštuju propisi, nije potrebno poduzeti neke veće političke inicijative u vezi zaštite okoliša. Ispitivanja se nastavljaju, a preporučuju se ipak i daljnje zaštitne mjere.

(Elektrizitätswirtschaft, 1983, br. 16, str. 613)

B. M.

PRIJENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE ELEKTRONSKIM SNOPOM

Premda je trend porasta potrošnje električne energije u svijetu znatno pao, ipak se intenzivno radi na istraživanjima novih tehnika prijenosa velikih električnih snaga. U Sovjetskom Savezu radi se između ostaloga na razvoju električnog prijenosa pomoću snopa ubrzanih elektrona. Brzi razvoj tehnike akceleratora daje realnu mogućnost razrade metode prijenosa velikih snaga intenzivnim protokom relativističkih elektrona. Ideja potječe od N. C. Christofilosa iz početka pedesetih godina.

Princip konstrukcije takvog prijenosa sastoji se u sljedećem. Električna se energija na mjestu proizvodnje transformira u energiju toka ubrzanih elektrona, koji se zatim vode u vakuumiranoj cijevi na potrebnu udaljenost. Na mjestu upotrebe izvede se obratna transformacija — rekuperacija energije snopa.

Osnovne su prednosti takvog prijenosa:
— mogućnost prijenosa snage od stotine GW
— na trasi nema visokog napona
— visok koeficijent iskoristivosti.

Osnovni problemi koje treba još riješiti jesu ekonomični sistemi podržavanja elektronskog snopa u cijevi, isisavanje i održavanje visokog vakuuma u mnogokilometarskoj cijevi.

Shema prijenosa ubrzanim elektronima izgleda u principu ovako: električna se energija proizvodi u normalnim elektranama pri standardnim naponima i frekvenciji, dolazi u transformatorsku stanicu gdje se transformira na viši napon i usmjeruje. U postrojenju za ubrzanje nastaje emisija i ubrzanje toka elektrona (transformiranje električne energije u kinetičku energiju čestica). Elektronski se snop prenosi u metalnoj ili metaliziranoj cijevi koja ima potencijal zemlje, a vakuumirana je na tlak od 10^{-3} do 10^{-5} P. Cijev se može ukopati u zemlju u dubinu 2 do 2,5 m. U rekuperatoru energija elektrona ponovno se transformira u električnu energiju. Povratna struja teče uobičajenim vodičima ili stijenkama cijevi. Npr., pri mogućnosti prijenosa od 25 GW energija elektronskog snopa iznosi 5 MeV, a struja snopa 5 kA. Snop može biti stacionaran ili impulsni. Gubici snopa mogu na dužini od oko 1 000 km iznositi do 1 %. Koeficijent djelovanja prijenosa procjenjuje se na 93 % do 97 % na dužini prijenosa 3 000 km do 100 km, ne računajući gubitke energije koja izaziva grijanje katoda i energija za vakuumske pumpe. Gustoća pumpnih stanica izgleda da bi morala biti razmjerno velika: na svakih 100 m udaljenosti.

Pokusni uređaj za opisanu tehniku prijenosa izradio je Institut visokih temperatura A. N. SSSR. Naročito su razvijeni impulsni uređaji. Izrađen je model prijenosa IVTAN sa svim potrebnim elementima: akceleratorom elektrona, cijevi s fokusiranim snopom i rekuperatorom. Napon akceleratora iznosi 1 MW, struja 1 do 10 A, snaga 1 do 10 GW. Prijenosna cijev modela ima dužinu 10 m s kasnijim produženjem na 75 m. Smatra se da će rezultati dobiveni na ovom modelu biti vrlo korisni za procjenu praktične realizacije prijenosa električne energije elektronskim snopom.

(Električestvo 1983, br. 7, str. 1)

B. M.

GRIJANJE TERMOPUMPAMA U SR NJEMAČKOJ

U SR Njemačkoj je u toku 1982. godine priključeno 9 000 novih električnih termopumpa za grijanje zgrada. Broj grijaćih uređaja koji pomoću struje iskorišćuju neiscrpnu energiju iz zraka, vode ili zemlje porastao je time, u usporedbi s prethodnom godinom, za 30 % tj. na 39 000 uređaja. Više od 90 % električnih termopumpi služilo je u 1982. za grijanje stambenih prostorija. Okruglo 36 300 uređaja dobavljalo je za 1 kWh električne energije oko 3 kWh topline. Na taj je način domaćom energijom grijano 48 000 stanova. Potrebna električna energija dobiva se pretežno iz njemačkog ugljena. Osim ovih termopumpi koje služe za grijanje stanova, ima ih još 2 762 za različite druge potrebe. Od toga npr. 427 u poljoprivredi i 498 za grijanje javnih zgrada, plivališta i škola. U ovom pregledu nisu sadržane toplinske pumpe koje služe samo za grijanje vode.

(Elektrizitätwirschaft, 1983, br. 17/18, str. 696)

B. M.

PRENOSNA MALA HIDROELEKTRANA

Na velesajmu u Hanoveru (1983) Austrija je izložila malu prenosivu hidroelektranu snage 4 kW. Elektrana je predviđena za upotrebu u alpskim predjelima. Konstrukcija je takva da bi nabavni i montažni troškovi bili što manji, a cijena održavanja gotovo zanemariva. Uređaj je male težine, robustan i lako prenosiv. Montaža ne traži temelje ni građevne zahvate koji bi nagrđivali okoliš. Turbina je tipa Pelton, a može se regulirati promjenom broja sapnica, promjera i zupčanog prigona i tako prilagoditi padovima od 20 do 65 m. Pri padu od 65 m količina vode za maksimalnu snagu iznosi 0,012 m^3/s (promjer dovodne cijevi 0,08 m), a pri padu od 20 m, 0,04 m^3/s (promjer dovodne cijevi 0,14 m). Generator je dvopolan, jednofazan snage 5 kVa pri 220 V i 50 Hz. On je samouzbudiv i automatski reguliran. Kratkovremeno može razviti 2,5 puta veću snagu kako bi omogućio startanje elektromotora. Električna regulacija omogućuje konstántno držanje frekvencije pri kolebanju opterećenja.

(Elektrizitätswirtschaft, 1983, br. 15, str. 567)

B. M.

VISOKONAPONSKA ISTOSMJERNA VEZA DÜRNROHR (AUSTRIJA)

U rujnu 1983. svećano je stavljena u pogon stanica visokog istosmjernog napona Dürnrohr u Austriji na granici sa Čehoslovačkom. Svrha je ove stanice da pomoću usmjerivačko-presmjerivačkog uređaja, snage 550 MW omogući izmjenu električne energije između Austrije i Čehoslovačke ili gledano šire, između elektroenergetskih sistema zapadne (UCEPTE) i istočne (SEV) Evrope. Kao što je poznato direktna veza ovih dvaju sistema nije moguća zbog različitih regulacija frekvencije, premda su normalno obje frekvencije 50 Hz. Stanica Dürnrohr je za sada najveća stanica te vrste u svijetu. U nju su ugrađeni najmoderniji tiristori, najveće jedinične snage, koji su do danas proizvedeni. U vezi stavljanja u pogon ove stanice sagrađen je i prvi unutarnji vod 380 kV u Austriji koji se veže sa stanicom Ernsthofen (117 km), a u gradnji je vod 380 kV prema stanici Wien Südost (128 km).

Izmjena električne energije ima u Austriji dugu tradiciju. Izmjena sa Njemačkom traje već 70 godina, a sa zemljama istočne Evrope preko 25 godina. Kao vrhunac ove djelatnosti smatra se najnoviji ugovor o razmjeni električne energije sa SSSR-om čija je realizacija upravo omogućena izgradnjom usmjerivačke stanice Dürnrohr. Ugovor je zaključen 1982. na vrijeme od 20 godina, a počinje teći od početka 1985. Od tada će Austrija, sa ključem razmjene 1:1,25 davati u SSSR od svibnja do kraja kolovoza po danu ukupno 590 GWh, a odande uzimati u noći ukupno 472 GWh u razdoblju od siječnja do kraja travnja i od sredine listopada do sredine prosinca.

Osim ove stanice u planu su još barem dvije od kojih jedna na granici s Madžarskom.

(ÖZE, 1983, br. 10)

B. M.

OPASNOST OD ELEKTRIČNIH I MAGNETSKIH POLJA

U najnovijoj publikaciji Svjetske zdravstvene organizacije o zaštiti od neradioaktivnih utjecaja, dano je mišljenje te organizacije o djelovanju magnetskih i električnih polja frekvencije 50 i 60 Hz na čovjeka.

Kratki sažetak kakav je donio časopis ELECTRA dan je u ovih nekoliko točaka.

1. Eksperimentalno se pokazalo da električno polje do 20 kV/m i magnetsko polje do 240 A/m, svako za sebe ili u kombinaciji ne predstavljaju opasnost za zdravlje.
2. U eksperimentalnim uvjetima simptomi stresa nisu direktna posljedica električnog ili magnetskog polja.
3. Epidemiološke studije su pokazale da se nije pojavio nikakav štetni efekt kod osoba koje su dulje izložene električnom polju kao npr. radnici u transformatorskim stanicama i prijenosnim postrojenjima.
4. Nije poznat nikakav akcioni mehanizam kojim polje industrijske frekvencije može proizvesti direktni efekt na živi organizam.
5. Do sada nije otkriven u čovjeku nikakav specifični simptom kao posljedica izlaganja navedenim poljima.
6. Električna i magnetska polja od nadzemnih vodova do napona 420 kV ne predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje.
7. Na temelju postojećih iskustava može se pretpostaviti da će to vrijediti i za mreže 800 kV.

(ELECTRA 1983, br. 89)

B. M.

NOVE KNJIGE

W. Riezner: *Rationelle energieanwendung.* Izdavač Veb deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 1982. Drugo znatno prerađeno izdanje, 139 stranica, 36 slika, 29 tablica, broširano, 16,5 × 24. Cijena 10.- M.

U knjizi su prikazani putovi i smjernice kako se s obzirom na odnose u navedenom gospodarstvu može racionalizirati upotreba električne energije. Posebno je stavljeno težište na kompleksno razmatranje. Brojni primjeri iz društvenog i tehničko-tehnološkog područja daju poticaj za razmišljanje u rješavanju problema.

Materija knjige podijeljena je u 5 poglavlja. Reprodukcioni uvjeti energetskog gospodarstva obrađeni su u prvom poglavlju, a zatim se govori o korisnoj, upotrebnoj i primarnoj energiji. Treće poglavlje obrađuje pokrivanje energijom. Glavne smjernice za provedbu racionalne primjene električne energije predmet je 4. poglavlja. Razmatraju se najrazličitiji utjecaji na potrošnju kao npr. utjecaji društva, materijalnog stanja, struktura, načina života, organizacije gospodarstva itd. Posebni je dio posvećen racionalizaciji tehnoloških procesa, grijanja, rasvjete i transporta.

Posljednje 5. poglavlje obrađuje ekonomsku i pravnu regulativu za postizanje racionalne upotrebe električne energije.

Ovakva knjiga može interesirati široki krug čitalaca kao npr. studente tehničkih i ekonomskih škola, pa konstruktore, projektante, energetičare i ekonomiste u različitim granama industrije.

B. M.

PROSLAVA 30. OBLJETNICE INSTITUTA ZA ELEKTRO-PRIVREDU

Institut za elektroprivredu proslavio je 22. studenog 1983. 30 godina svoga postojanja.

Osim Vjekoslava Čemelića, predsjednika Privredne komore SRH, Vojislava Roksandića, direktora Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Uroša Peruško, predsjednika Komiteta za znanost, tehnologiju i informatiku, Ivana Medvedeca, zamjenika direktora NE Krško i Božidara Širole, direktora Elektroprivrede Zagreb, sudionici ovog značajnog jubileja bili su i predstavnici svih elektroprivrednih organizacija Hrvatske, predstavnici instituta i fakulteta, brojni suradnici i prijatelji Instituta za elektroprivredu.

Pozdravni govor održao je Ivo Božin, direktor Instituta, a zatim su govorili ostali sudionici. Svaki govor osim priznanja Institutu za uspjehe u proteklom razdoblju, bio je i poruka kakav bi morao biti njegov budući rad.

U osvrtu na ovaj jubilej ukratko iznosimo neke želje, misli i poruke.

Vjekoslav Čemelić, predsjednik Privredne komore SRH

»Nema sumnje da je Institut ostavio trag u svakom energetskom, posebno u elektroenergetskom postrojenju, kroz misaonu komponentu osmišljavanja razvoja ovog segmenta naše privrede, kojem unatoč svim teškoćama i, ja bih rekao, dosta mračnom aktualnom okruženju, moramo u cjelini dati pozitivnu ocjenu, jer je to ipak jedan segment našeg ukupnog materijalnog i društvenog razvoja, koji je tih i dugih i kratkih 37, 38 godina napravio gigantski korak naprijed.

U budućnosti Institut treba dati još više, ne po tome što će temeljitije, sadržajnije, odgovornije osmišljavati putove daljnjega razvoja našega društva, posebno energetike, jer toga ni do sada nije nedostajalo, **on treba da i svojim činjenjem nametne potrebu da u ovom društvu nauka postane faktor do čijeg se mišljenja mora držati.«**

Svoje izlaganje predsjednik Privredne komore SRH završio je riječima:

»Želim Vam i nadalje uspjeh i da što prije izađemo iz mraka uz vašu obilnu podršku kao proizvodne snage koja se zove nauka, koja je dala puno, ali koja može dati još i više.«

Vojislav Roksandić, direktor Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske

U početku svog izlaganja direktor ZEOH-a je uputio čestitke Institutu kao »dijelu ne samo elektroprivrede Hrvatske već i Jugoslavije, dijelu koji bi mogli nazvati njegovim najkreativnijim djelom.«

Zatim je govoreći o energetskoj situaciji i problemu energetike naglasio: »Trebamo se tako organizirati i prihvatiti onu diskusiju u društvu koja je danas jako široka u dijapazonu, od one koju treba respektirati do one koju treba brzo zaboraviti, ipak ostavimo kao najvažnije, **da je jedino rješenje u razvoju, teškom, dugoročnom razvoju kojeg treba odmah početi, razvoj gdje smo bitno zakasnili i nismo još uvijek našli prave odgovore.** U tom kontekstu smatram da Institut može puno, i ne samo da može, nego i da mora učiniti, i da bude i dalje čelni odred onih koji će krenuti u bitku za elektroprivredu, za njen razvoj, ne samo u našoj republici, nego i u cijeloj Jugoslaviji«.

Uroš Peruško, predsjednik Komiteta za znanost, tehnologiju i informatiku

»Trideset godina, iako nije dugačak period, ali je to 30 godina u našoj zemlji, to je 30 godina u socijalističkoj Jugoslaviji. Iako broj 30 nije velik, ali su uspjesi što ih je ovaj Institut postigao, a mislim da ih treba istaknuti, sigurno i uspjesi u izgradnji i energetike i elektroenergetike ove zemlje u cjelini. Naša današnja orijentacija na budući razvoj vlastitim snagama nije samo odgovor i traženje naših izlaza iz postojećih poteškoća, ona je orijentacija na naš dugoročni razvoj. **Naš privredni razvoj ne možemo drukčije graditi, osim da se puno više orijentiramo na vlastite snage. U tom okviru vlastite snage u prvom redu znače vlastiti kreativni napor i vlastita rješenja u tehnologiji.«**

Zatim je naglasio važnost povezanosti Instituta i elektroprivrede kao cjeline. Govorio je o potrebi racionalnog korištenja električne energije ne samo u gašenju sijalica. To je pitanje strukture industrije i načina korištenja energije. Od mnogih zadataka što stoje pred Institutom spomenuo je pitanje energetike kao privrede u cjelini, traženje mogućnosti uključivanja u elektroenergetski sistem i alternativnih izvora energije. Važno je usmjeravanje napora na tipizaciju naše energetske opreme, jer za uvoz opreme nemamo deviza, pa moramo proizvoditi u zemlji, a bez tipizacije i dogovora s proizvođačima, izučavanja optimalnih rješenja, nećemo taj zadatak moći dobro obaviti.

Ivan Medvedec, zamjenik direktora NE Krško

U svom govoru ograničio se samo na udjel Instituta u izgradnji NE Krško, najmlađeg objekta u elektroprivredi. Između ostalog je rekao da je Institut angažiran relativno kasno na konkretnim poslovima gradnje i pripreme pogona u NE Krško, ali da sa zadovoljstvom mora reći da je Institut posao koji je ugovoren dugoročnim ugovorom o izgradnji i akcijama i radu za vrijeme pogona, završio na opće zadovoljstvo NE Krško. **Institut je izvršavajući te poslove osposobio veliki broj mladih stručnih kadrova koji su u cjelosti pokrili područja kako u izgradnji tako i pogonu.** Prema njegovim riječima upravo to je i razlog što će Institut biti i dalje angažiran na poslovima koji su vezani za nuklearni program.

Božidar Širola, direktor Elektroprivrede Zagreb

»Institut stvarno treba da postane elektroprivredni, da dobije svoj pravi status i ulogu u elektroprivredi, da bi se mogao zvati elektroprivrednim. **Stručna misao u Institutu treba da dominira nad komercijalnim kompromisom, a stručni ugled treba da bude iznad načela sitnih interesa naručitelja.** U Institutu treba da budu uspostavljeni takvi unutarnji i stručni i međuljudski odnosi da Institut sa svojim vrijednim stručnim kadrom i dalje može dati maksimalni doprinos daljnjem razvoju elektroprivrede.«

Z. J.

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

INTEGRACIJA DISPEČERSKE SLUŽBE U HRVATSKOJ

Skupština Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske, u skladu sa Zakonom o elektroprivredi, usvojila je odluku o formiranju jedinstvene dispečerske službe u Hrvatskoj za vođenje proizvodno-prijenosnog sistema s područnim odjelima u Splitu, Rijeci i Osijeku. U sastav jedinstvene elektroenergetske službe ulaze postojeće službe u regionalnim radnim organizacijama proizvodnje i prijenosa električne energije.

Prema donesenoj odluci u okviru RO »Elektroprivreda« Zagreb, ne postoji više operativna dispečerska služba, već je došlo do integracije s bivšom dispečerskom službom ZEOH-a.

Također u RO »Elektroprivredadalmacije« Split i RO »Elektroprivreda« Rijeka više nema operativnih dispečerskih službi. Ali u Splitu i Rijeci predviđeni su odjeli jedinstvene dispečerske službe.

U RO »Elektroslavonija« Osijek dosadašnja dispečerska služba ostaje i dalje organizacijski vezana za »Elektroslavoniju«, jer je i do sada vodila ne samo proizvodno-prijenosni, već djelomično i distributivni (35 kV) elektroenergetski sistem. Objekti za čije je vođenje nadležna dispečerska služba ZEOH mogu se nadzirati i upravljati korištenjem izgrađenog sistema daljinskog vođenja, a u suradnji s dispečerima »Elektroslavonije«.

Nova jedinstvena dispečerska služba Hrvatske počela je s radom 1. srpnja 1983.

I. R.

URAN IZ PEPELA UGLJENA

Elektroprivreda i potrošači električne energije Hrvatske zaduženi su da budu nosioci zadataka sistematskog istraživanja urana i ugljena u Republici. Na nivou elektroenergetskog sistema Hrvatske osnovana je zajednička komisija za istraživanje urana.

RO »Elektroprivreda« Rijeka aktivno se uključila u ta istraživanja i prijavila komisiji svoj program istraživanja urana iz pepela raškog ugljena iz TE Plomin. U ostvarenje tih zadataka uključeni su i stručnjaci instituta »Ruđer Bošković« iz Zagreba i »Jožef Štefan« iz Ljubljane.

U tri i pol godine intenzivnog rada ostvareni su zavidni rezultati. U laboratorijskim uvjetima dobiven je uranov koncetrat »žuti kolač« procesiranjem 50 kg pepela. Obavljena su i ispitivanja na pilot-postrojenju u Ljubljani, i to u šaržama od po 500 kg. Ta ispitivanja potvrdila su laboratorijske rezultate.

Prema procjenama ustanovljeno je da je iz pepela ugljena TE Plomin I, kao i buduće TE Plomin II moguća godišnja proizvodnja 20 tona urana. Ta količina zadovoljava oko 18 do 20 posto današnje potrošnje NE Krško.

I. R.

OTVORENJE RUDNIKA URANA KASNI

Poslije petogodišnjih priprema i rada na prvom našem rudniku urana na Žirovskom vrhu kod Škofje Loke gradnja je usporena jer investitor ne raspolaže dovoljnim financijskim sredstvima. Za 1983. godinu predviđena su investicijska ulaganja od 1 333 milijuna, a osigurano je samo oko 900 milijuna dinara. Do kašnjenja radova dolazilo je i zbog dopunjavanja projekata u vezi s mjerama zaštite okoline. Potrebno je bilo izvršiti projekt sigurnosti depoa jalovine i riješiti pitanje kružne cirkulacije industrijske vode. To je sve usporavalo poslove. U međuvremenu su investicijski izdaci rasli, što je uvjetovano porastom inflacije.

SIZ elektroprivrede Slovenije programirao je da rudnik urana s prerađivačkim objektima na Žirovskom vrhu bude gotov do sredine 1983. godine. Iz navedenih razloga otvorenje rudnika odgađa se do sredine 1984. godine.

Za ovu godinu predviđeno je povećanje broja rudara na 335. To je povećanje za 100 radnika i tehničara za nadzorne poslove.

I. R.

ENERGIJA ZA KOMBINAT DINA KRK

U sastavu kombinata DINA — Petrokemija na Krku izgrađena je prva etapa energane sa dva dizelska agregata snage 14 MVA. Motori su proizvedeni u Tvornici dizelskih motora Split, a generatore je isporučila tvornica »Rade Končar«. Nova energana opskrbljavat će kombinat toplinskom energijom, dok će elektropostrojenja dobivati električnu energiju iz novosagrađenog dalekovoda 110 kV TS Melina — Omišalj.

Podmorski kabel i opremu isporučila je norveška tvrtka »STK«, a švedska tvrtka »SIEVERTES« kabel za kopneni dio. Glavni dio elektroopreme isporučila je RO »Rade Končar« i drugi domaći proizvođači elektroindustrije.

Gradnju dalekovoda i montažu opreme izvelo je zagrebačko poduzeće »Dalekovod«. Potrebna investiciona sredstva zajednički su osigurali RO »Elektroprivreda« Rijeka i kombinat »DINA — Petrokemija«.

I. R.

NOVI PRIJENOSNI OBJEKTI 110 kV

Zajedničkim investiranjem RO »Elektroprenos« Zagreb i »Elektre« Križ izgrađena je TS 110/35 kV Daruvar, koja je potkraj srpnja 1983. godine puštena u pogon. Novosagrađena transformatorska stanica velika je dobit za razvoj industrije i poboljšanje konzuma područja Daruvara. Do sada se ovo područje napajalo DV 35 kV, dugim 50 km, iz TS 110/35 kV Međurić. Mala mogućnost prijenosa, kao i visok pad napona nisu u potpunosti mogli zadovoljiti potrebe potrošača električne energije toga područja.

Opremu za TS 110/35 kV isporučili su tvornica »Rade Končar« i drugi domaći proizvođači elektroindustrije. U kompletnu izgradnju TS investirano je 109 milijuna dinara.

Samoupravnim sporazumom radnih organizacija »Elektroprenos« Zagreb, »Elektre« Koprivnica i »INA – Naftaplin« odlučili su udružiti zajednička financijska sredstva o gradnji TS 110/35 Virje i DV 110 kV Koprivnica – Virje. Utvrđene su potrebne investicije za ove objekte u iznosu oko 300 milijuna dinara.

Gradnju treba ubrzati s obzirom na to da su ovi prijenosni objekti vezani za eksploataciju bogatog nalazišta prirodnog plina Molve, na području Podravine.

I. R.

PRIPREME ZA GRADNJU NE PREVLAKA

Istražni radovi za drugu nuklearnu elektranu u Jugoslaviji na lokaciji Prevlake kraj Zagreba gotovo da su dovršeni.

NE Prevlaka, kao i onu u Krškom, kako je dogovoreno gradit će zajednički Elektroprivrede SR Hrvatske i SR Slovenije. Ulaganja u gradnju i raspodjela energije iz proizvodnje te nuklearke bit će na bazi jednakog udjela.

Interes za gradnju nuklearke u posljednje vrijeme pokazuje i SAP Vojvodina. U SR Hrvatskoj i SR Sloveniji spremni su na dogovor sa SAP Vojvodinom da i ona sudjeluje u gradnji NE u Prevlaci.

Početak gradnje

Istražni radovi, elaborati i studije o izgradnji NE Prevlake izvedeni su i izrađeni prema preporukama Međunarodne agencije za atomsku energiju iz Beča, na bazi iskustva s izgradnjom NE Krško, te u skladu s našim zakonima i propisima. Sve te studije pokazale su, prema mišljenju investitora, da lokacija NE u Prevlaci u svemu odgovara.

Pripremni radovi za izgradnju NE Prevlaka izvode se prema tzv. mrežnom planu koji treba osigurati početak gradnje elektrane početkom 1986. godine. Predviđa se da bi elektrana punom snagom proradila 1993. godine. Godišnje bi ta nuklearka davala oko tri milijarde kWh električne energije. Tom količinom znatno bi se ojačali naši energetski kapaciteti.

Prema proračunu elektroprivrede, za pripremne radove potrebna su sredstva u visini od 2 543 milijuna dinara (ocijenjeno na temelju vrijednosti dinara iz 1982. godine).

Ta sredstva treba da osiguraju investitori nuklearne elektrane, tj. elektroprivreda SR Hrvatske i SR Slovenije, i to svaka po 50 posto. Planom izgradnje elektroenergetskih objekata za 1983. godinu SR Hrvatska je osigurala 50 posto predviđenog iznosa, a za iduće godine sredstva će se osigurati SAS-om o zajedničkom planu razvoja elektroprivrede 1983-1985. i planom za svaku godinu.

Osim planirane izgradnje NE Prevlaka, u SR Hrvatskoj predviđa se još izgradnja nuklearnih postrojenja od po 2 × 500 MW do 2000. godine. No kako se danas u svijetu radi ekonomičnosti grade elektrane jedinične snage 1000 MW pa i više, očito je nužna i opravdana izgradnja nuklearnih elektrana s drugim našim republikama i pokrajinama.

U SR Hrvatskoj i SR Sloveniji smatraju da u cijeloj zemlji ubuduće treba graditi nuklearke na bazi jedinstvenog tipa elektrana s glavnim ciljem osvajanja pojedinih tehnologija i našeg postupnog osamostaljivanja u toj oblasti. Stoga će se u gradnji druge nuklearne elektrane u Prevlaci kraj Zagreba maksimalno tražiti udio domaćih radnih organizacija, stručnih i znanstvenih ustanova, a osobito onih koji već imaju određenog iskustva, osobito u gradnji NE u Krškom.

I. R.

NOVA TOPLINSKA STANICA U ZAGREBU

U krugu zagrebačke »Elektrane – Toplane« planirana je gradnja toplinske stanice snage 110 MW. Nova stanica će osigurati distribuciju toplinske energije potrošačima zapadnog dijela Zagreba. To su nova stambena naselja Jarun, Vrbane, Staglišće i Špansko.

Izrađen je idejni i glavni projekt i obavljaju se pripremni radovi za početak glavnih izvedbenih poslova. Osigurana su investicijska sredstva u iznosu od oko 115 milijuna dinara.

Glavnu opremu za stanicu isporučit će domaći proizvođači (»Rade Končar«, »Jugoturbina«, ATM Zagreb i dr.).

Predviđeno je da radovi na izgradnji toplinske stanice traju 36 mjeseci, tako da bi u 1985. godini ušla u pogon.

I. R.

KASNI GRADNJA HIDROELEKTRANA

Društvenim planom razvoja Jugoslavije u tekućem petogodišnjem programu izdradnje elektroenergetskih objekata u zaostajanju je i gradnja hidroelektrana. Uzrok zakašnjenja su nedovoljna financijska sredstva, zakašnjenje isporuke opreme domaćih proizvođača, poteškoće kod uvoza strane opreme, nedostatak građevnog materijala i dr.

U posljednje dvije godine u rad je uključeno 1 126 MW hidroelektrana. Predviđa se da će u 1984. godini u rad ući 305 MW, a u 1985. godini 254 MW snage u hidroelektranama.

Zbog zaostajanja u gradnji u elektroenergetici u proteklim su godinama bile nužne redukcije potrošnje električne energije. Tako je u 1983. godini potrošnja električne energije smanjena za oko 3,5 milijarde kWh.

Od hidroenergetskih objekata, kako sada stvari stoje, HE Solkan (Slovenija) mogla bi biti završena potkraj 1983, prvi agregat Reverzibilne HE Obrovac početkom 1984, a drugi tri mjeseca kasnije, a početkom 1985. prva dva agregata HE Đerdap 2. U 1984. godini planiran je i ulazak u pogon HE Mavčići (Slovenija), a godinu dana kasnije HE Zavoj kod Pirota u Srbiji.

I. R.

UDK 621.31

ENJAAC 33 (2)-(1984) 97—184

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka
Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić*, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić*, dipl ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić*, dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele*, dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin*, dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković*, Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža*, dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović*, dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić*, dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović*, dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić*, dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić*, dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar*, dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić*, dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić*, dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković*, dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin*, dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen*, dipl. ec., Jure *Šimović*, dipl. ec., Petar *Kuzele*, dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ*.

Redakcija završena 1984 —03 – 01

Godište 33 (1984) Zagreb 1984 Br. 2

SADRŽAJ

Ožegović, M.: Redukcija trofazne pasivne mreže u metodi grane (Originalni znanstveni rad) 99

Filipović-Grčić, B. — Žutobradić, S.: Opravdanost uvođenja zaštite sabirnica u gradskim TS 110/20 (10) kV (Prethodno priopćenje) 107

Hebel, Z. — Mesić, M.: Analiza elektroenergetskog konzuma, na području Elektroprivrede Zagreb pomoću elektroničkog računala UNIVAC 1100 (Pregledni rad) 115

Subašić, D.: Bitne opće značajke lokacijske dozvole za nuklearne elektrane (Prethodno saopćenje) 121

Čubrić, S.: Procjena rezervi geotermalne energije u dijelu zagrebačkoga geotermalnog ležišta (Stručni rad) 131

Štahan, J.: Da li su SF_6 postrojenja tlačne posude ili ne? (Pregledni rad) 137

Petric, N.: Radovi u trafo-stanicama sa stajališta sigurnosti (Stručni rad) 143

Kako ukrotiti visoki napon (B. Markovčić) 148

Širom svijeta 149

Vijesti iz elektroprivrede 151

Iz strane stručne literature 154

Savjetovanja i konferencije 157

Nove knjige 157

Oglasi 161

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 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

REDUKCIJA TROFAZNE PASIVNE MREŽE U METODI GRANE

dr. prof. Marija Ožegović, Split

UDK 621.3.01:681.31

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U specijalnim analizama može se dogoditi da je nemoguće provesti račun u sistemima komponenata. Ostaje trofazni proračun kao jedino rješenje što višestruko opterećuje memoriju i uopće rad elektroničkog računala. Zato je nužno analiziranu mrežu svesti na manji broj trofaznih elemenata.
U ovom radu autor daje rješenje za redukciju trofazne pasivne mreže u metodi grane. Priložen je također dijagram toka i numerički primjer.

Ključne riječi: trofazna pasivna mreža, redukcija, metoda grane.

1. UVOD

Neke specijalne analize mreže po svojoj prirodi isključuju korištenje rastavljanja sistema u komponente, pa račun treba provesti neposredno na trofaznoj mreži.

U trofaznoj mreži svaku pasivnu granu treba opisati sa 9 podataka (matrica 3×3), za razliku od npr. sistema simetričnih komponenata gdje je ta ista grana opisana sa 3 podatka (direktni, inverzni i nulti). Zato rad s trofaznom mrežom višestruko opterećuje kompjutorsku obradu problema kako i zauzećem memorije, tako i dužinom vremena računanja. Redukcija pasivnih i aktivnih dijelova mreže prisutna je radi lakšeg računanja u svim klasičnim matematičkim modelima, a u analizi trofazne mreže je nužna.

U ovom radu izabrana je za redukciju trofazne pasivne mreže metoda grane. Ova metoda direktno koristi topologiju mreže i matrice parametara dimenzije 3×3 koje se zadaju kao ulazni podatak. Svođenje matrica vodiča dalekovoda na matrice ekvivalentnih faznih vodiča mora se obaviti prethodno, kako bi se omogućila kompatibilnost s elementima mreže koji ne poznaju druge dimenzije matrice osim 3×3.

2. SERIJSKI I PARALELNI SPOJ VIŠEFAZNIH ELEMENTARNIH ČETVEROPOLA

Shema četveropola pokazana je na slici 1a. To je element mreže s dva prilaza, ulazom i izlazom. Najprimitivniji četveropoli pokazani su na slici 1b i 1c. To su tzv. elementarni četveropoli. Slaganjem elementarnih četveropola dobijemo pasivnu mrežu bez međusobnog utjecaja grana.

Za elementarne četveropole možemo ispisati sljedeće jednadžbe:

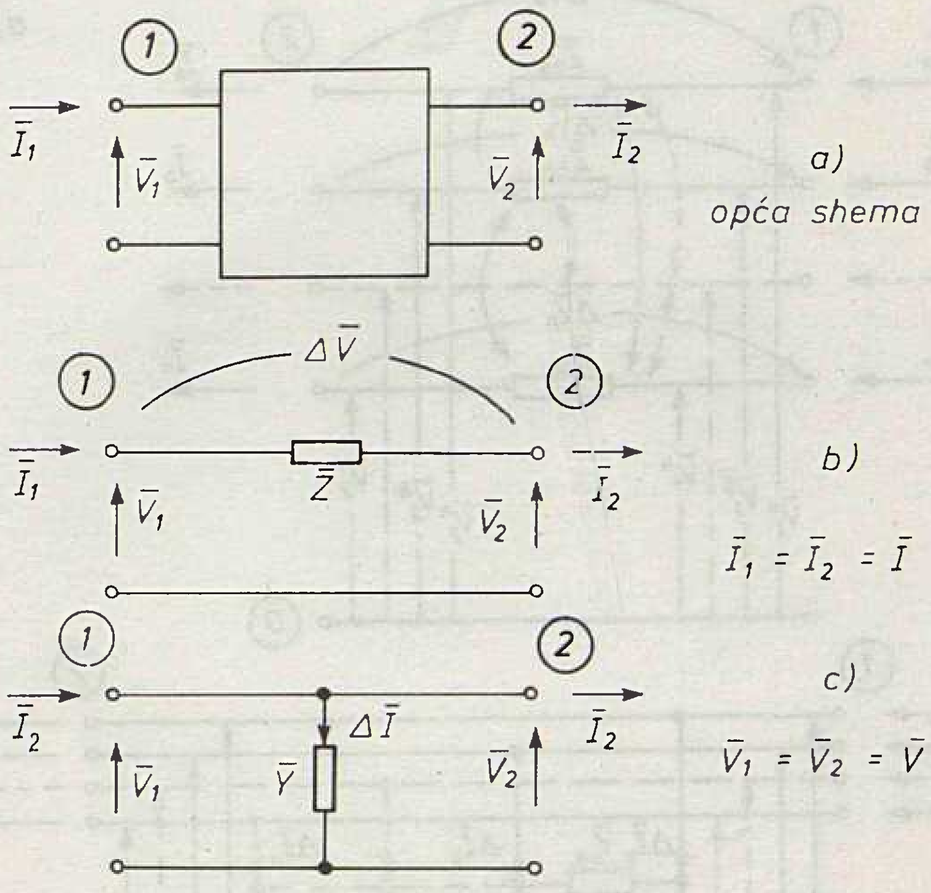
$$\Delta\bar{V} = \bar{Z}_u \bar{I} \tag{1a}$$

$$\Delta\bar{I} = \bar{Y}_p \bar{V} \tag{b}$$

Analogne jednadžbe ispišimo u matričnom obliku:

$$[\Delta V^{abc..n}] = [\bar{Z}_u^{abc..n}] \cdot [\bar{I}^{abc..n}] \tag{2a}$$

$$[\Delta \bar{I}^{abc..n}] = [\bar{Y}_p^{abc..n}]\,[\bar{V}^{abc..n}] \tag{b}$$



Sl. 1. Četveropoli

Jednadžbe (2a) i (b) opisuju elementarne višefazne četveropole koji su pokazani na slici 2. Fizikalna interpretacija jednadžbi (2a) i (b) pokazana je na slici 3.

Inverzne matrice

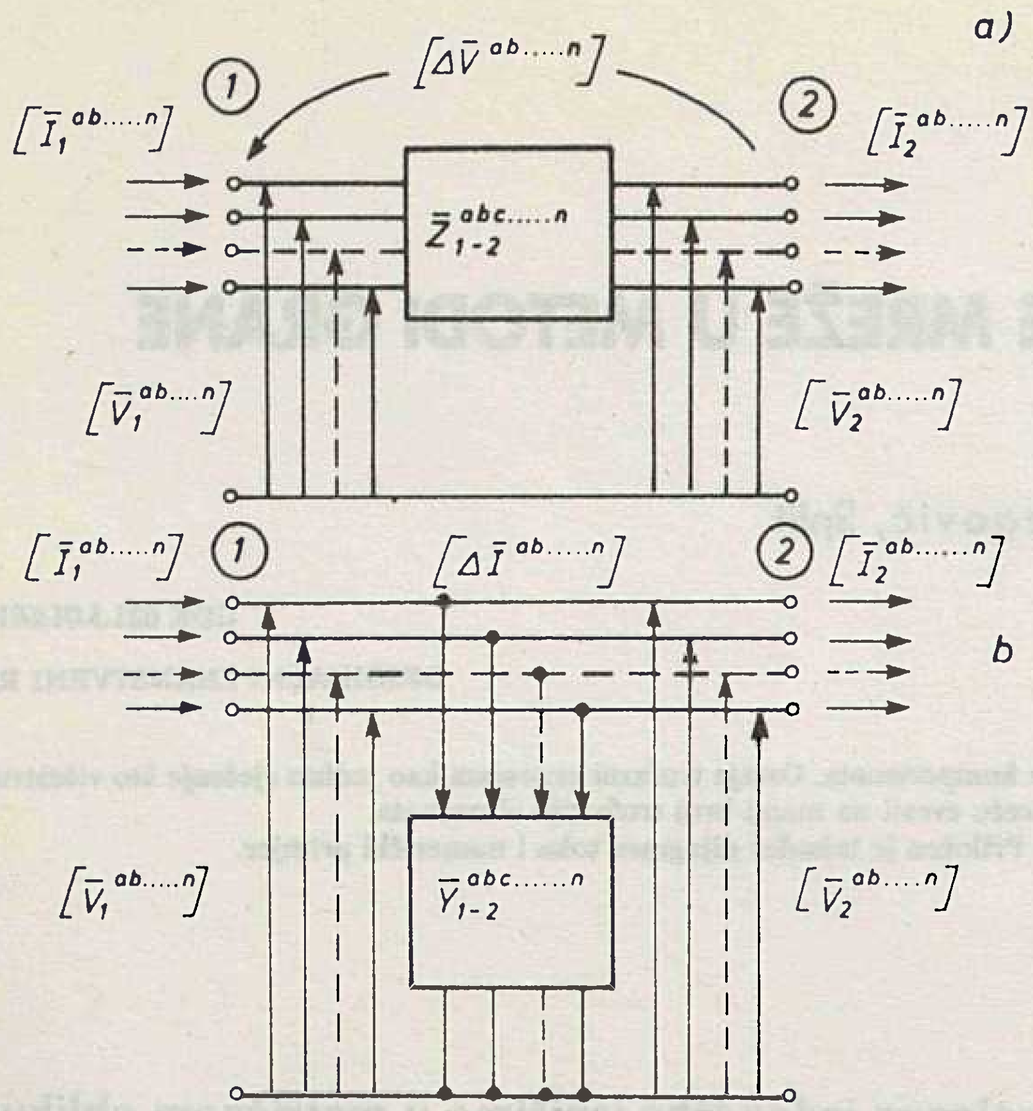
$$[\bar{Y}_u^{abc..n}] = [\bar{Z}_u^{abc..n}]^{-1} \tag{3a}$$

$$[\bar{Z}_p^{abc..n}] = [\bar{Y}_p^{abc..n}]^{-1} \tag{b}$$

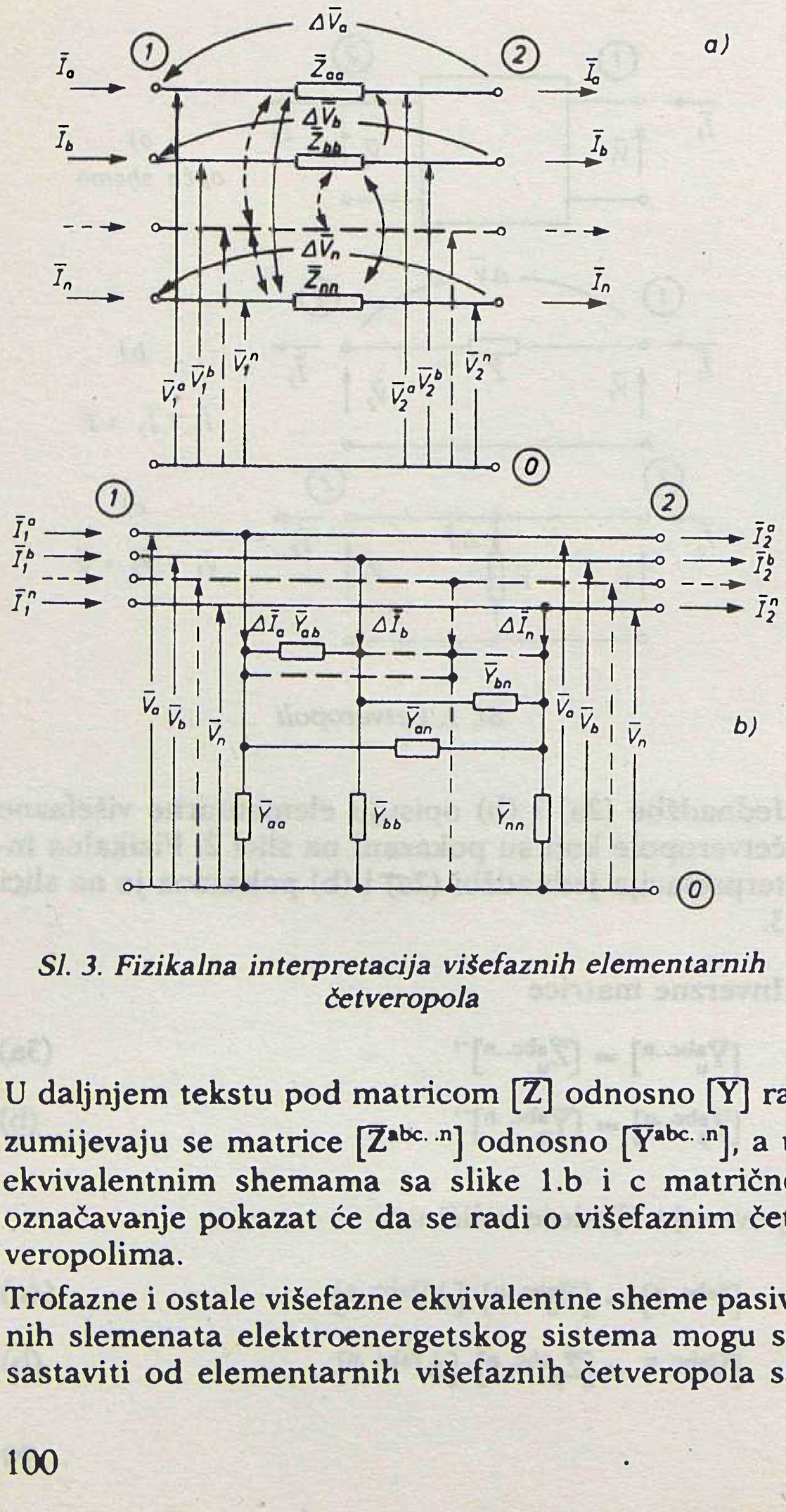
povezuju sljedeće veličine:

$$[\bar{I}^{abc..n}] = [\bar{Y}_u^{abc..n}]\,[\Delta\bar{V}^{abc..n}] \tag{4a}$$

$$[\bar{V}^{abc..n} = [\bar{Z}_p^{abc..n}]\,[\Delta\bar{I}^{abc..n}] \tag{b}$$



Sl. 2. Elementarni višefazni četveropoli



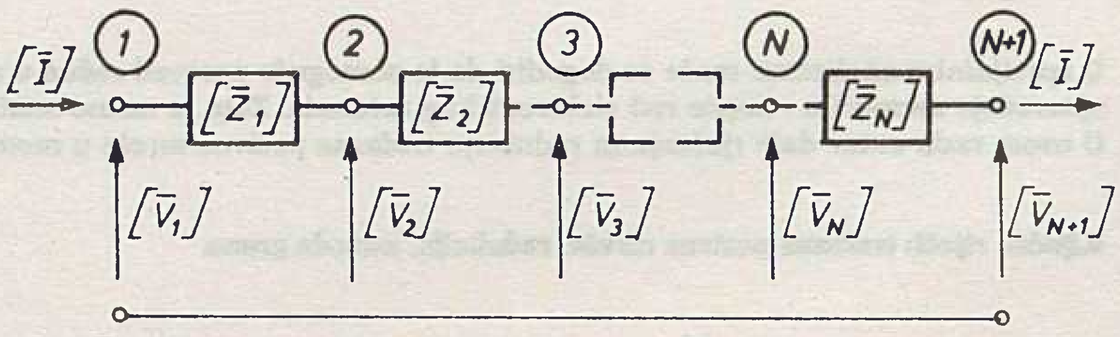
Sl. 3. Fizikalna interpretacija višefaznih elementarnih četveropola

U daljnjem tekstu pod matricom $[\bar{Z}]$ odnosno $[\bar{Y}]$ razumijevaju se matrice $[\bar{Z}^{abc..n}]$ odnosno $[\bar{Y}^{abc..n}]$, a u ekvivalentnim shemama sa slike 1.b i c matrično označavanje pokazat će da se radi o višefaznim četveropolima.

Trofazne i ostale višefazne ekvivalentne sheme pasivnih slemenata elektroenergetskog sistema mogu se sastaviti od elementarnih višefaznih četveropola sa slike 2. Generatorska shema mora sadržavati elektromotorne sile faza, a transformatorska shema idealne transformatore ako mreža nije svedena na jedan naponski nivo.

Višefazna Π-shema voda, koja se pojavljuje kao kombinacija triju elementarnih višefaznih četveropola, rezultat je primjene Carsonovih formula. Carsonove formule oslobađaju povratni vodič (zemlju) vlastitih i međusobnih impedancija.

Serijski spoj višefaznih elementarnih četveropola vidimo na slici 4.



Sl. 4. Serijski spoj višefaznih elementarnih četveropola

Postavljamo N jednadžbi za serijski spoj N elementarnih četveropola:

$$[\bar{V}_1] - [\bar{V}_2] = [\bar{Z}_1]\ [\bar{I}] \qquad (5a)$$

$$[\bar{V}_2] - [\bar{V}_3] = [\bar{Z}_2]\ [\bar{I}] \qquad (b)$$

$$\ldots\ldots\ldots$$

$$[\bar{V}_N] - [\bar{V}_{N+1}] = [\bar{Z}_N]\ [\bar{I}] \qquad (N)$$

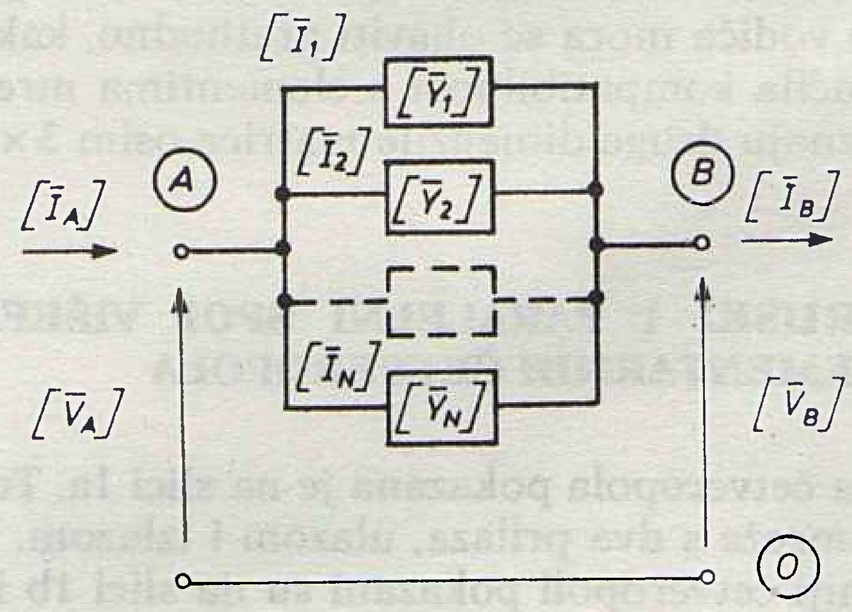
Zbroj jednadžbi (5a. . .N) daje:

$$[\bar{V}_1] - [\bar{V}_{N+1}] = ([\bar{Z}_1] + [\bar{Z}_2] + \ldots + [\bar{Z}_N])\ [\bar{I}] \qquad (6)$$

te je prema tome:

$$[\bar{Z}] = [\bar{Z}_1] + [\bar{Z}_2] + \ldots + [\bar{Z}_N] \qquad (7)$$

Serijski spoj elementarnih četveropola izvodimo u impedantnom obliku.



Sl. 5. Paralelni spoj višefaznih elementarnih četveropola

Paralelni spoj višefaznih elementarnih četveropola vidimo na slici 5. Postavljamo N + 1 jednadžbu za paralelni spoj N elementarnih četveropola:

$$[\bar{I}_1] = [\bar{Y}_1]\ ([\bar{V}_A] - [\bar{V}_B]) \qquad (8a)$$

$$[\bar{I}_2] = [\bar{Y}_2]\ ([\bar{V}_A] - [\bar{V}_B]) \qquad (b)$$

. . . . . .

$$[\bar{I}_N] = [\bar{Y}_N]\ ([\bar{V}_A] - [\bar{V}_B]) \qquad (N)$$

$$[\bar{I}_A] = [\bar{I}_B] = [\bar{I}_1] + [\bar{I}_2] + \ldots + [\bar{I}_N] = [\bar{I}] \qquad (N+1)$$

Zbrojimo jednadžbe (8a. .N) i uvažimo jednadžbu (8_{N+1}). To daje:

$$[\bar{I}] = [\bar{Y}]\ ([\bar{V}_A] - [\bar{V}_B]) \qquad (9)$$

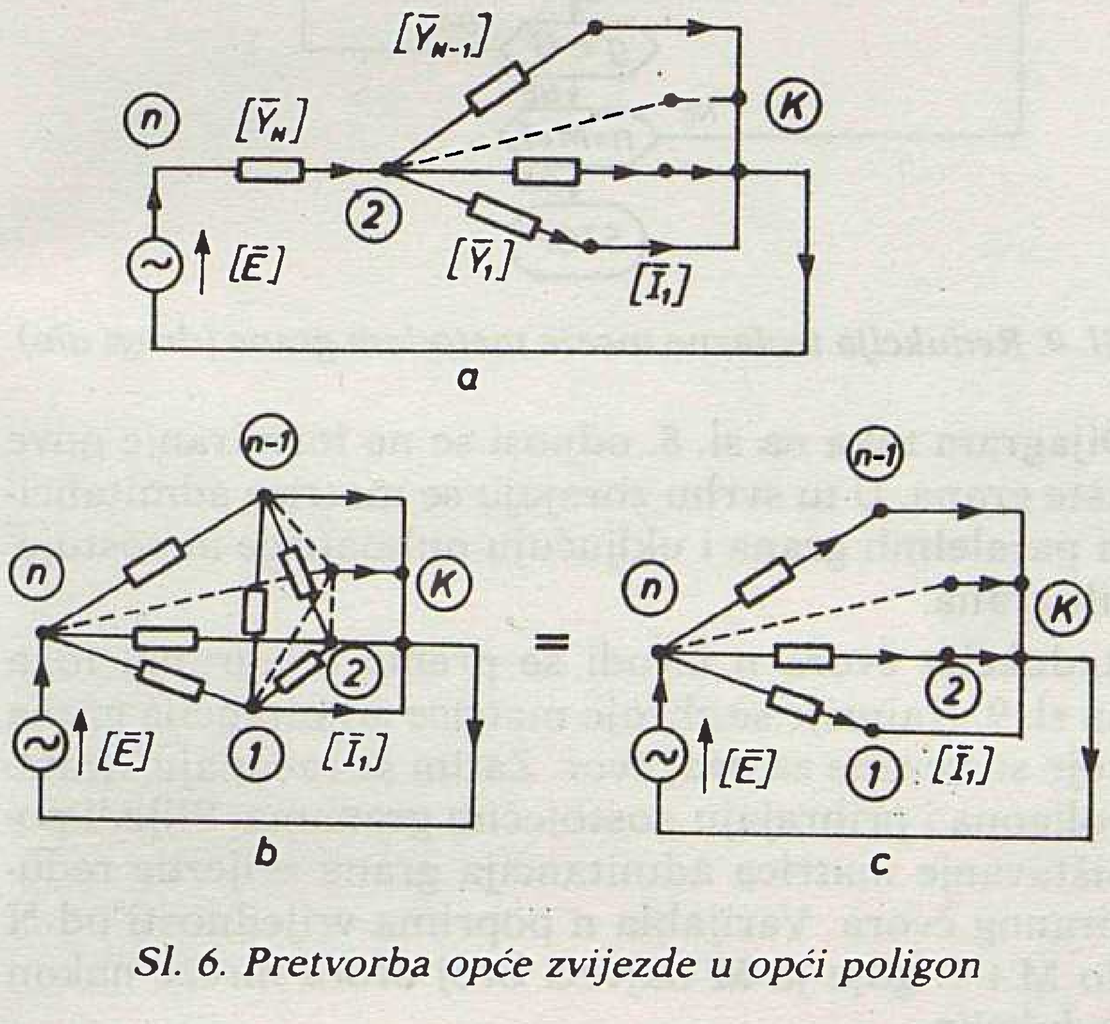
u kojoj je:

$$[\bar{Y}] = [\bar{Y}_1] + [\bar{Y}_2] + \ldots + [\bar{Y}_N] \qquad (10)$$

Paralelni spoj četveropola izvodimo u admitantnom obliku.

3. PRETVORBA VIŠEFAZNE OPĆE ZVIJEZDE U OPĆI POLIGON

Slijedit ćemo klasičnu pretvorbu opće zvijezde u opći poligon (sl. 6). Pri tome pretpostavljamo da je zvijezda sastavljena od višefaznih elementarnih četveropola u admitantnom obliku. Struja $[\bar{I}_1]$ u (6a) jednaka je struji$[\bar{I}_1]$ u (6c).



Sl. 6. Pretvorba opće zvijezde u opći poligon

U (6a):

$$[\bar{I}_N] = (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])\ ([\bar{V}_z] - [\bar{V}_k]) \qquad (11)$$

$$[\bar{I}_1] = [\bar{Y}_1]\ ([\bar{V}_2] - [\bar{V}_k] \qquad (12)$$

$$[\bar{V}_Z] - [\bar{V}_k] = (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])^{-1}[\bar{I}_N] \qquad (13)$$

$$[\bar{I}_1] = [\bar{Y}_1]\ (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])^{-1}\ [\bar{I}_N] \qquad (14)$$

Kako je:

$$[\bar{I}_N] = \{[\bar{Y}_N]^{-1} + (\sum^{N-1} [\bar{Y}])^{-1}\}^{-1}\ [\bar{E}] \qquad (15)$$

slijedi da je:

$$[\bar{I}_1] = [\bar{Y}_1] \sum^{N-1} [\bar{Y}])^{-1} \{[\bar{Y}_N]^{-1} + (\sum^{N-1} [\bar{Y}])^{-1}\}^{-1}\ [\bar{E}] =$$

$$= [\bar{Y}_1]\ [\bar{Y}_N]\ [\bar{Y}_N]^{-1} (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])^{-1} \{[\bar{Y}_N]^{-1} +$$

$$+ (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])^{-1}\}^{-1} [\bar{E}] =$$

$$[\bar{Y}_1]\ [\bar{Y}_N] \{([\bar{Y}_N]^{-1} +$$

$$+ (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])^{-1})\ (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])\ [\bar{Y}_N]\}^{-1}\ [\bar{E}] =$$

$$= [\bar{Y}_1]\ [\bar{Y}_N] \{[\bar{Y}_N]^{-1} (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])\ [\bar{Y}_N] + [\bar{Y}_N]\}^{-1}\ [\bar{E}] =$$

$$= [\bar{Y}_1]\ [\bar{Y}_N] \{[\bar{Y}_N]^{-1} (\sum_1^{N-1} [\bar{Y}])\ [\bar{Y}_N] + [\bar{Y}_N]^{-1}$$

$$[\bar{Y}_N]\ [\bar{Y}_N]\}^{-1}\ [\bar{E}] =$$

$$= [\bar{Y}_1]\ ([\bar{Y}_N]^{-1} \{[\bar{Y}_N]^{-1} \sum_1^{N} [\bar{Y}])\ [\bar{Y}_N]^{-1}\}^{-1}\ [\bar{E}] =$$

$$= [\bar{Y}_1]\ \{[\bar{Y}_N]^{-1} (\sum_1^{N} [\bar{Y}])\}\ [\bar{Y}] =$$

$$= [\bar{Y}_1]\ (\sum_1^{N} [\bar{Y}])^{-1}\ [\bar{Y}_N]\ [\bar{E}] \qquad (16)$$

Na slici 6.c:

$$[\bar{I}_1] = [\bar{Y}_{1N}]\ [\bar{E}] \qquad (17)$$

Izjednačimo $[\bar{I}_1]$ sa slike 6.a i $[\bar{I}_1]$ sa slike 6.b

$$[\bar{Y}_{1N}]\ [\bar{E}] = [\bar{Y}_1]\ (\sum_1^{N} [\bar{Y}])^{-1}\ [\bar{Y}_N]\ [\bar{E}] \qquad (18)$$

što daje:

$$[\bar{Y}_{1N}] = [\bar{Y}_1]\ (\sum_1^{N} [\bar{Y}_1])^{-1}\ [\bar{Y}_N] \qquad (19)$$

I općenito:

$$[\bar{Y}_{ik}] = [\bar{Y}_i]\ (\sum_1^{N} [\bar{Y}])^{-1}\ [\bar{Y}_k] \qquad (20)$$

gdje je: $[\bar{Y}_i], [\bar{Y}_k]$ = matrice admitancija krakova zvijezde vezanih za čvor i, odnosno k

$\sum_1^N [\bar{Y}]$ = zbroj matrica admitancija svih krakova zvijezde

$[\bar{Y}_{ik}]$ = matrica admitancija grane poligona između čvora i i k.

4. METODA GRANE ZA REDUKCIJU TROFAZNE PASIVNE MREŽE

Metoda grana za redukciju trofazne pasivne mreže temelji se na formuli (20).

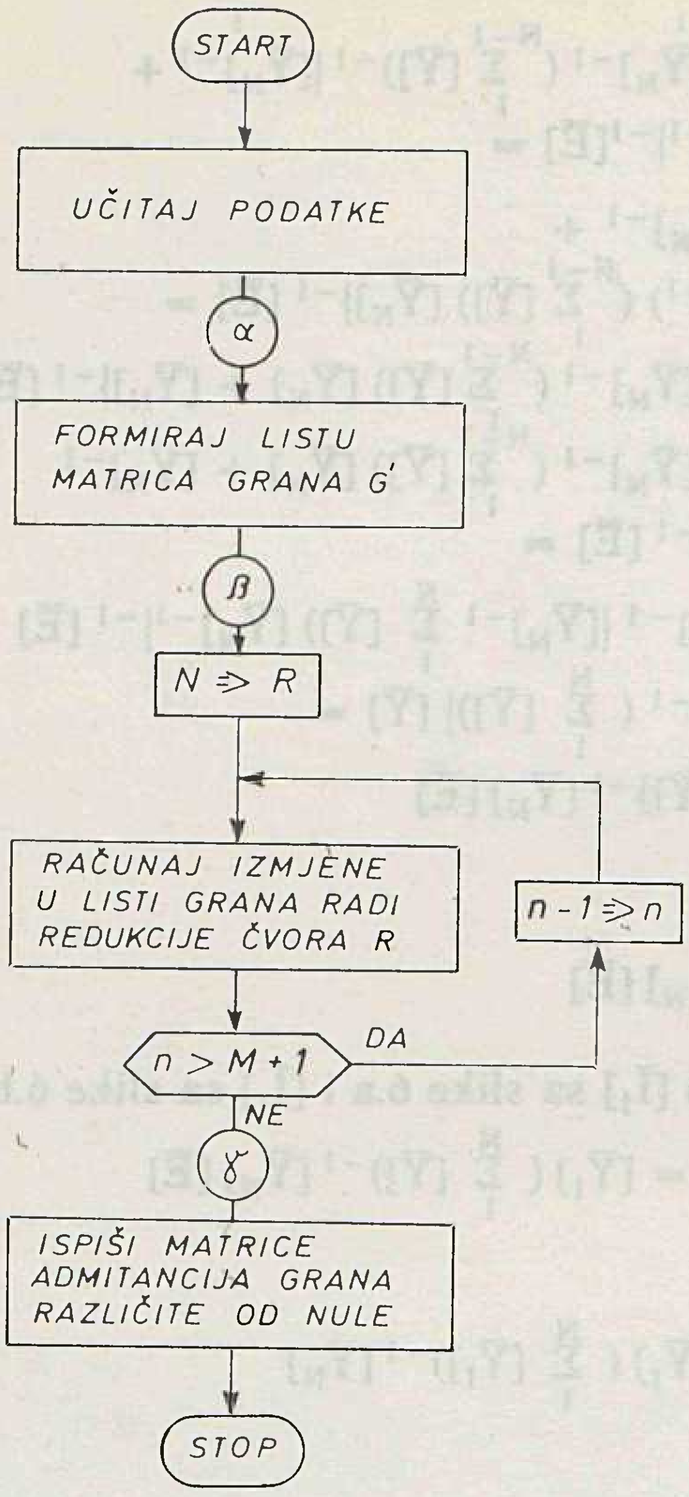
Redukciju provodimo čvor po čvor. Međusobne veze preostalih čvorova tokom redukcije ne znamo unaprijed. Zato se rezervira prostor za mrežu u kojoj su svi čvorovi međusobno povezani jednom granom. Najveći broj ovih grana ima mreža koju upravo treba reducirati. Broj grana iznosi:

$$g' = N\,(N+1)\,/\,2 \qquad (21)$$

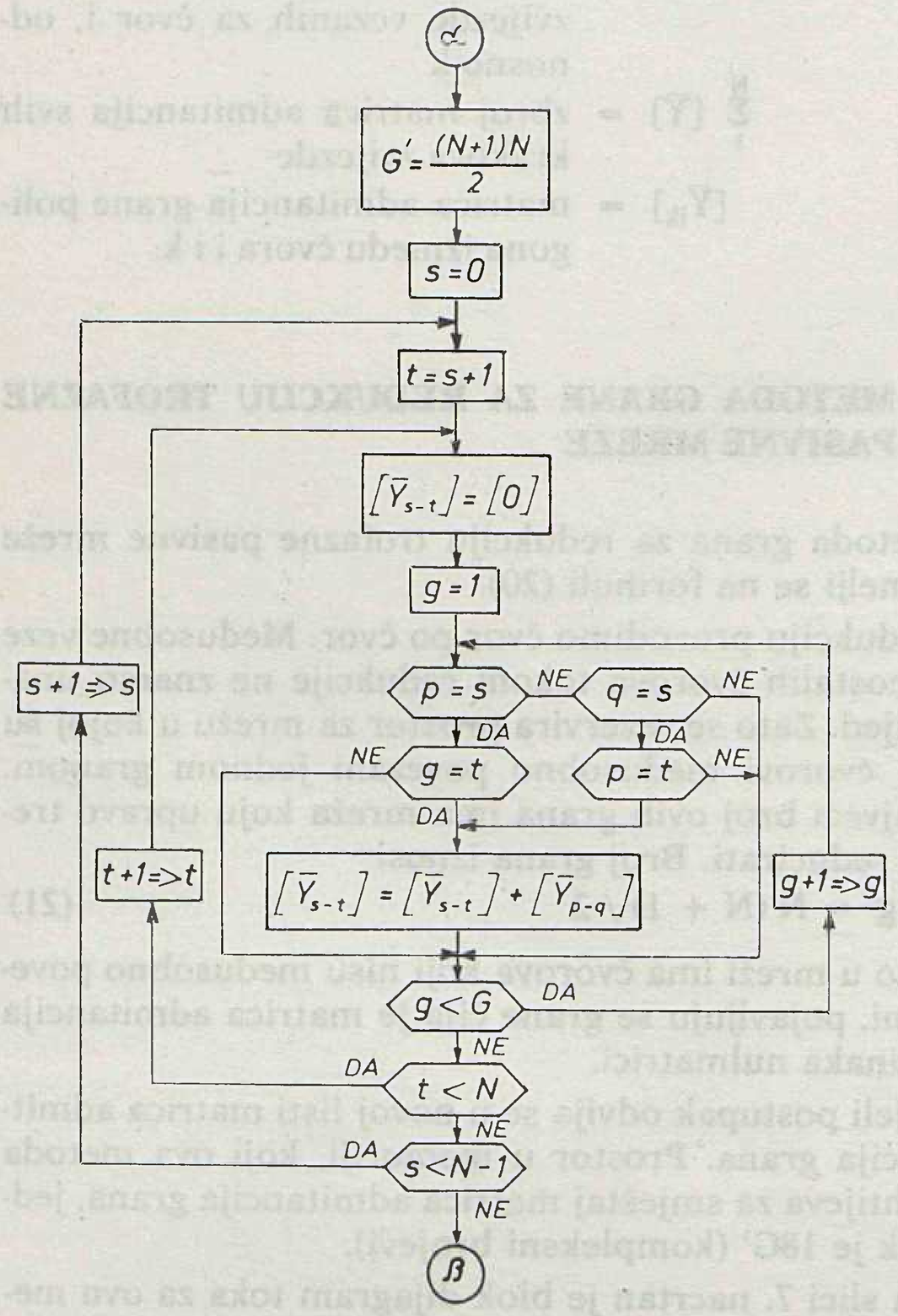
Ako u mreži ima čvorova koji nisu međusobno povezani, pojavljuju se grane čija je matrica admitancija jednaka nulmatrici.

Cijeli postupak odvija se u novoj listi matrica admitancija grana. Prostor u memoriji, koji ova metoda zahtijeva za smještaj matrica admitancija grana, jednak je 18G' (kompleksni brojevi).

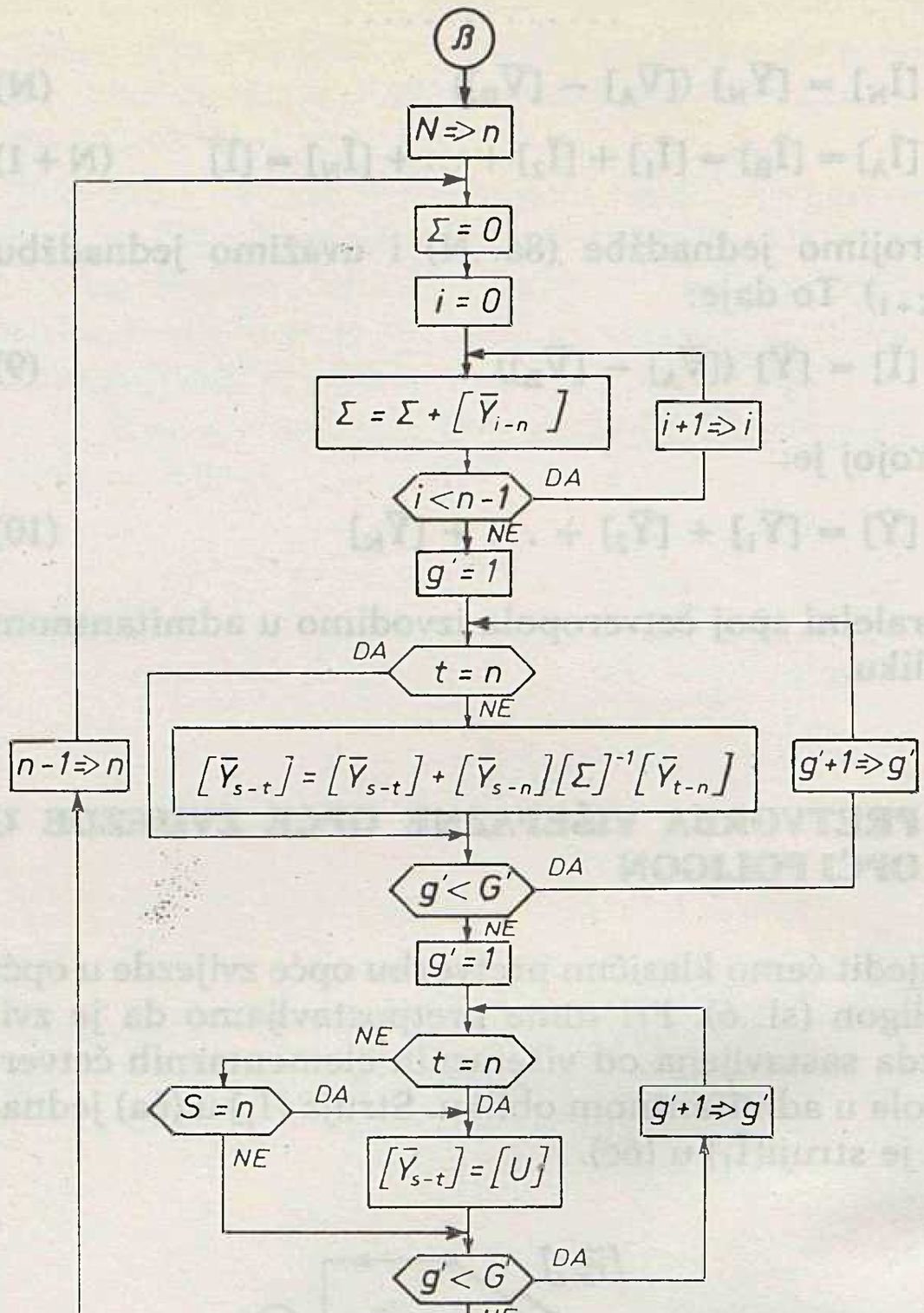
Na slici 7. nacrtan je blok dijagram toka za ovu metodu, a na slikama 8. i 9. detaljni dijagram toka.



Sl. 7. Redukcija trofazne mreže metodom grane



Sl. 8. Redukcija trofazne mreže metodom grane (prvi dio)



Sl. 9. Redukcija trofazne mreže metodom grane (drugi dio)

Dijagram toka na sl. 8. odnosi se na formiranje nove liste grana. U tu svrhu zbrajaju se matrice admitancija paralelnih grana i uključuju nulmatrice nepostojećih grana.

Redukcija čvora n izvodi se prema dijagramu toka na sl. 9. Najprije se zbroje matrice admitancija grana koje su vezane za ovaj čvor. Zatim se računaju strane poligona i pribrajaju postojećim granama. Slijedi poništavanje matrica admitancija grana zvijezde reduciranog čvora. Varijabla n poprima vrijednosti od N do M + 1. gdje je M najveći broj čvora mreže nakon redukcije.

Nakon završetka redukcije ispisuje se lista matrica admitancija grana reducirane mreže.

U svim transformacijama je:

$$[\bar{Y}_{s-7}] = [\bar{Y}_{t-s}] \tag{22a}$$

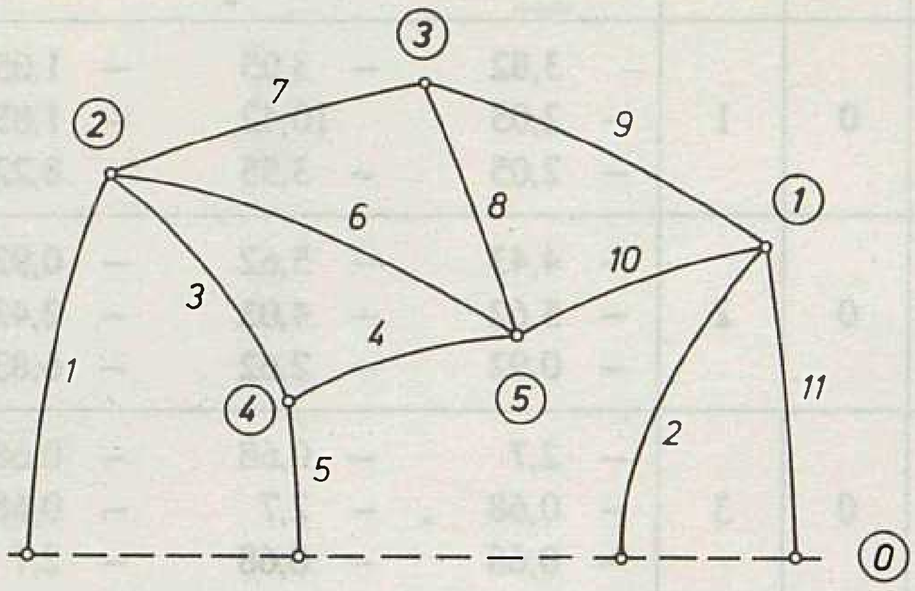
$$[\bar{Y}_{s-n}] = [\bar{Y}_{n-s}] \tag{b}$$

$$[\bar{Y}_{t-n}] = [\bar{Y}_{n-t}] \tag{c}$$

5. PRIMJER

Zadana je trofazna pasivna mreža. Graf na slici 10. pokazuje topologiju mreže, a podaci grana nalaze se u listi matrica admitancija grana. Potrebno je reducirati čvorove 5 i 4.

Odvijanje redukcije pokazano je kroz proširene liste matrica admitancija grana za svaki reducirani čvor.



Slika 10. Topologija zadane mreže

Lista grana zadane mreže

x j

g	p	q	$[\bar{Y}^{abc}_{p-q}]$		
1	0	2	13,8	− 6,2	− 1,5
			−6,2	14,2	− 3,0
			−1,5	− 3,2	11,3
2	0	1	3,5	− 1,5	− 0,5
			− 1,5	10,1	− 0,3
			− 0,5	− 0,3	7,9
3	2	4	− 4,5	1,5	1,5
			1,5	− 4,5	1,5
			1,5	1,5	− 4,5
4	4	5	− 2,8	0,5	0,5
			0,5	− 2,8	0,5
			0,5	0,5	− 2,8
5	0	4	10,5	− 3,5	− 3,5
			− 3,5	10,5	− 3,5
			− 3,5	− 3,5	10,5
6	2	5	− 6,7	0,9	0,9
			0,9	− 6,7	0,9
			0,9	0,9	− 6,7
7	2	3	− 4,2	− 0,2	0,5
			1,5	− 4,2	− 1,2
			0,1	− 1,4	− 1,2
8	3	5	− 5,2	0,7	0,7
			0,7	− 5,2	0,7
			0,7	0,7	− 5,2
9	1	3	− 10,5	2,4	2,4
			2,4	− 10,5	− 2,4
			2,4	2,4	− 10,5
10	1	5	− 7,1	2,0	2,0
			2,0	− 7,1	2,0
			2,0	2,0	− 7,1
11	0	1	3,5	− 1,5	− 0,5
			− 0,5	3,5	− 1,5
			− 1,5	− 0,5	3,5

N = 5
G = 11

Rezultati redukcije pokazani su u listi matrica admitancija grana reducirane mreže, a na slici 11. .nacrtan je graf reducirane mreže.

Proširena lista grana mreže prije redukcije

xj

g'	s	t	$[\bar{Y}^{abc}_{s-t}]$		
1	0	1	7,0	− 3,0	− 1,0
			− 2,0	13,6	− 1,8
			− 2,0	− 3,5	11,4
2	0	2	13,8	− 6,2	− 1,5
			− 6,2	14,2	− 3,0
			− 1,5	− 3,2	11,3
3	0	3	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
4	0	4	10,5	3,5	− 3,5
			− 3,5	10,5	− 3,5
			− 3,5	− 3,5	10,5
5	0	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
6	1	2	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
7	1	3	− 10,5	2,4	2,4
			2,4	− 10,5	2,4
			2,4	2,4	− 10,5
8	1	4	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
9	1	5	− 7,1	2,0	2,0
			2,0	− 7,1	2,0
			2,0	2,0	− 7,1
10	2	3	− 4,2	− 0,2	0,5
			1,5	− 4,2	− 1,2
			0,1	− 1,4	− 1,2
11	2	4	− 4,5	1,5	1,5
			1,5	− 4,5	1,5
			1,5	1,5	− 4,5
12	2	5	− 6,7	0,9	0,9
			0,9	− 6,7	0,9
			0,9	0,9	− 6,7
13	3	4	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
14	3	5	− 5,2	0,7	0,7
			0,7	− 5,2	0,7
			0,7	0,7	− 5,2
15	4	5	− 2,8	0,5	0,5
			0,5	− 2,8	0,5
			0,5	0,5	− 2,8

N = 5
G' = 15
n = 5

Proširena lista grana mreže nakon redukcije čvora 5

x j

g'	s	t	$[Y^{abc}_{s-t}]$		
1	0	1	7,0	– 3,0	– 1,0
			– 2,0	13,6	– 1,8
			– 2,0	– 3,5	11,4
2	0	2	13,8	– 6,2	– 1,5
			– 6,2	14,2	– 3,0
			– 1,5	– 3,2	11,3
3	0	3	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
4	0	4	10,5	– 3,5	– 3,5
			– 3,5	10,5	– 3,5
			– 3,5	– 3,5	10,5
5	0	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
6	1	2	– 2,15	0,51	0,51
			0,51	– 2,15	0,51
			0,51	0,51	2,15
7	1	3	– 13,95	3,48	3,48
			3,48	– 13,95	3,48
			3,48	3,48	– 13,95
8	1	4	0,91	0,25	0,25
			0,25	– 0,9	0,25
			0,25	0,25	– 0,91
9	1	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
10	2	3	– 5,81	– 0,08	0,62
			1,62	– 5,81	– 1,08
			0,22	– 1,28	– 2,8
11	2	4	– 5,36	1,61	1,61
			1,61	– 5,36	1,61
			1,61	1,61	– 5,36
12	2	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
13	3	4	– 0,67	0,08	0,08
			0,08	– 0,67	0,08
			0,08	0,08	– 0,67
14	3	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
15	4	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0

N = 5
G' = 15
n = 4

Proširena lista grana mreže nakon redukcije čvora 4

x j

g'	s	t	$[Y^{abc}_{s-t}]$		
1	0	1	3,82	– 3,05	– 1,05
			– 2,05	10,42	– 1,85
			– 2,05	– 3,55	8,22
2	0	2	– 4,43	– 5,62	– 0,92
			– 5,62	– 4,03	– 2,42
			– 0,92	– 2,62	– 6,83
3	0	3	– 2,7	– 0,68	– 0,68
			– 0,68	– 2,7	– 0,68
			– 0,68	– 0,68	– 2,7
4	0	4	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
5	0	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
6	1	2	– 0,39	0,65	0,65
			0,65	– 0,39	0,65
			0,65	0,65	– 0,39
7	1	3	– 13,6	3,58	3,58
			3,58	– 13,6	3,58
			3,58	3,58	– 13,6
8	1	4	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
9	1	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
10	2	3	– 4,46	1,0	1,7
			2,7	– 4,46	0
			1,3	– 0,2	– 1,45
11	2	4	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
12	2	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
13	3	4	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
14	3	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0
15	4	5	0	0	0
			0	0	0
			0	0	0

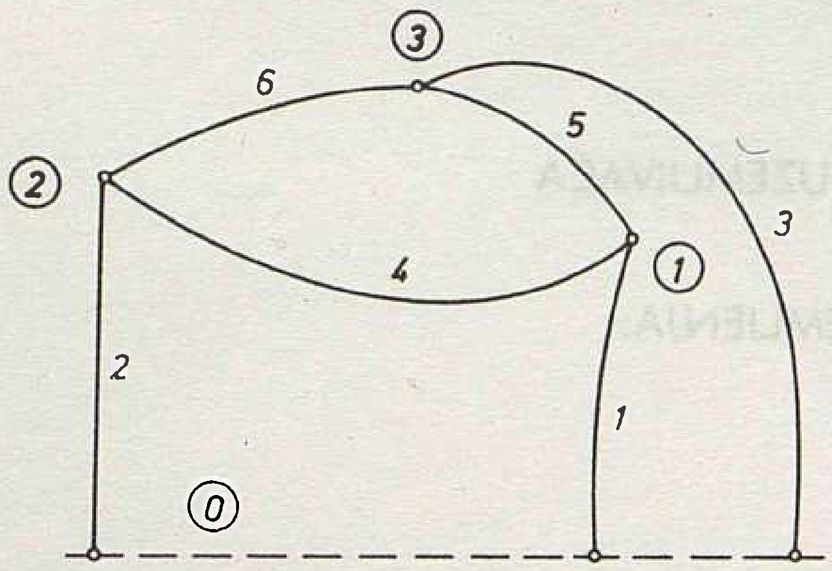
N = 5
G' = 15
n = 3

Lista grana reducirane mreže

x j

g''	s	t	$[Y^{abc}_{s-t}]$		
1	0	1	3,82	– 3,05	– 1,05
			– 2,05	10,42	– 1,85
			– 2,05	– 3,55	8,22
2	0	2	– 4,43	– 5,62	– 0,92
			– 5,62	– 4,03	– 2,42
			– 0,92	– 2,62	– 6,83
3	0	3	– 2,7	– 0,68	– 0,68
			– 0,68	– 2,7	– 0,68
			– 0,68	– 0,68	– 2,7
4	1	2	– 0,39	0,65	0,65
			0,65	– 0,39	0,65
			0,65	0,65	– 0,39
5	1	3	– 13,6	3,58	3,58
			3,58	– 13,6	3,58
			3,58	3,58	– 13,6
6	2	3	– 4,46	1,0	1,7
			2,7	– 4,46	0
			1,3	– 0,2	– 1,45

N = 3
G = 6



Slika 11. Graf reducirane mreže

6. ZAKLJUČAK

Redukcija pasivne mreže metodom grane pruža i u trofaznom obliku jednostavnost, preglednost i brzinu. Programersko rješenje može koristiti dodatne mogućnosti s nulmatricama, simetričnim matricama i sl. i time skratiti vrijeme rada stroja.

LITERATURA

Ožegović Marija i Karlo: *Električne mreže III*, udžbenik-skripta, Split 1982. godine.

REDUCTION OF THREE PHASE PASSIVE NETWORK IN METHOD OF BRANCHES

In special analyses can happen that a calculation in system of components is impossible. In that case three phase calculation in only solution, but that results in greater requirement for memory and processor operation. Due to that, analysed network should be reduced to smaller number of three phase elements. In the article is described a solution for reduction and a flow diagram and numerical example is presented.

REDUKTION DES PASSIVEN DREIPHASENNETZES IN DER METHODE DES ZWEIGES

In den speziellen Analysen kann vorkommen, daß es unmöglich ist die Rechnung in den Komponentensystemen durchzuführen. Es bleibt eine Dreiphasen Berechnung als einzige Lösung, was mehfach die Speicherung belastet und die EDV — Rechenanlage überhaupt. Deshalb ist es notwending das analysierte. Netz auf die niedrigste Zeit der dreiphasen Elemente zu bringen. In dieser Arbeit gibt der Autor Lösungen für die Reduktion des passiven Dreiphasennetzes in der Methode des Zweiges. Ebenfalls wurde ein Diagramm des Ablaufes und ein numerisches Beispiel beigefügt.

СОКРАЩЕНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ПАССИВНОЙ СЕТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ВЕТВИ

При проведении специальных анализов может оказаться невозможным выполнить расчет в системах составляющих, и трехфазный расчет остается единственным решением, а это многосложно загружает запоминающее устройство и вообще работу ЭВМ. Поэтому анализируемую сеть необходимо свести на меньшее количество трехфазных элементов.
В настоящей работе автор приводит решение сокращения трехфазной пассивной сети по методу ветви. Предлагается также график процесса и численный пример.

Naslov pisca:

Prof. dr Marija Ožegović
Fakultet elektrotehnike,
strojarstva i brodogradnje
58000 Split, Rudera Boškovića bb

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 04 – 02

SAVJETOVANJE O SUVREMENOJ PROBLEMATICI UZEMLJENJA

Organizator: Časopis ELEKTROTEHNIKA

Termin: Proljeće 1984.

U skladu s koncepcijom i već ustaljenom praksom časopis ELEKTROTEHNIKA priprema za proljeće 1984. godine novo savjetovanje na temu **SUVREMENA PROBLEMATIKA UZEMLJENJA.** Cilj je savjetovanja da se sustavno i na nov način obrađuju aktualne teme s područja elektrotehnike, uz specifičan pristup i što širu suradnju svih zainteresiranih stručnjaka.

U sklopu takve obrade pojedine teme stručnjaci pišu članke s dotičnog područja. Takve članke časopis ELEKTROTEHNIKA počinje objavljivati prije održavanja savjetovanja, što omogućuje prethodno upoznavanje zainteresiranih s problematikom, pristupima, rješenjima i sl. Autori članaka kasnije sudjeluju na savjetovanju kao referenti, a savjetovanja imaju izrazito radni i diskusioni karakter.

Ovim putom časopis ELEKTROTEHNIKA poziva na suradnju sve zainteresirane stručnjake koji smatraju da mogu dati doprinos obradi teme ovog savjetovanja. Inicijativna grupa za pripremu savjetovanja razradila je zasad okvirni program i podgrupe. Od zainteresiranih stručnjaka očekuje se uključivanje pisanjem članaka, ali i sugestije u pogledu daljnje razrade programa novih tema i sl.

Okviran program savjetovanja je sljedeći:

GRUPA A: NAČINI I METODE PRORAČUNA I OPTIMIZIRANJA UZEMLJIVAČA

GRUPA B: UTJECAJ UZEMLJIVAČA NA OKOLICU I SUSTAVI UZEMLJENJA:

- zahtjevi na uzemljivač
- struja kroz uzemljivač
- problemi iznošenja / unošenja potencijala
- područje utjecaja potencijalnog lijevka na bliske metalne mase u zemlji
- industrijski uzemljivači

GRUPA C: TEHNIČKA REGULATIVA I METODE MJERENJA

- domaća tehnička regulativa s područja uzemljenja i njena usklađenost sa suvremenim zahtjevima i razvojem elektroenergetskih sustava
- način i metode mjerenja karakterističnih veličina na uzemljivaču i sustavima uzemljenja
- praksa i iskustva

U skladu s navedenim časopis ELEKTROTEHNIKA poziva na suradnju sve zainteresirane stručnjake, posebno u pogledu davanja sugestija, razrade sadržaja, obrade tema i sl.

Sve ostale obavijesti i upute mogu se dobiti u Uredništvu časopisa ELEKTROTEHNIKA, Berislavićeva 6/I, 41000 ZAGREB ili na telefon (041) 422-943 (radnim danom od 10 do 12 sati).

OPRAVDANOST UVOĐENJA ZAŠTITE SABIRNICA U GRADSKIM TS 110/20 (10) kV

mr Božidar Filipović-Grčić i mr Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.314.2
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Rješavan je problem zaštite sabirnica na konkretnom primjeru zagrebačke distributivne mreže. Prilikom razmatranja tog problema analizirana su vremena iskapčanja zaštite s obzirom na napone dodira kao i specifičnosti SF_6 postrojenja.

Ključne riječi: zaštita sabirnica, naponi dodira, iznošenje potencijala, SF_6 postrojenja.

1. UVOD

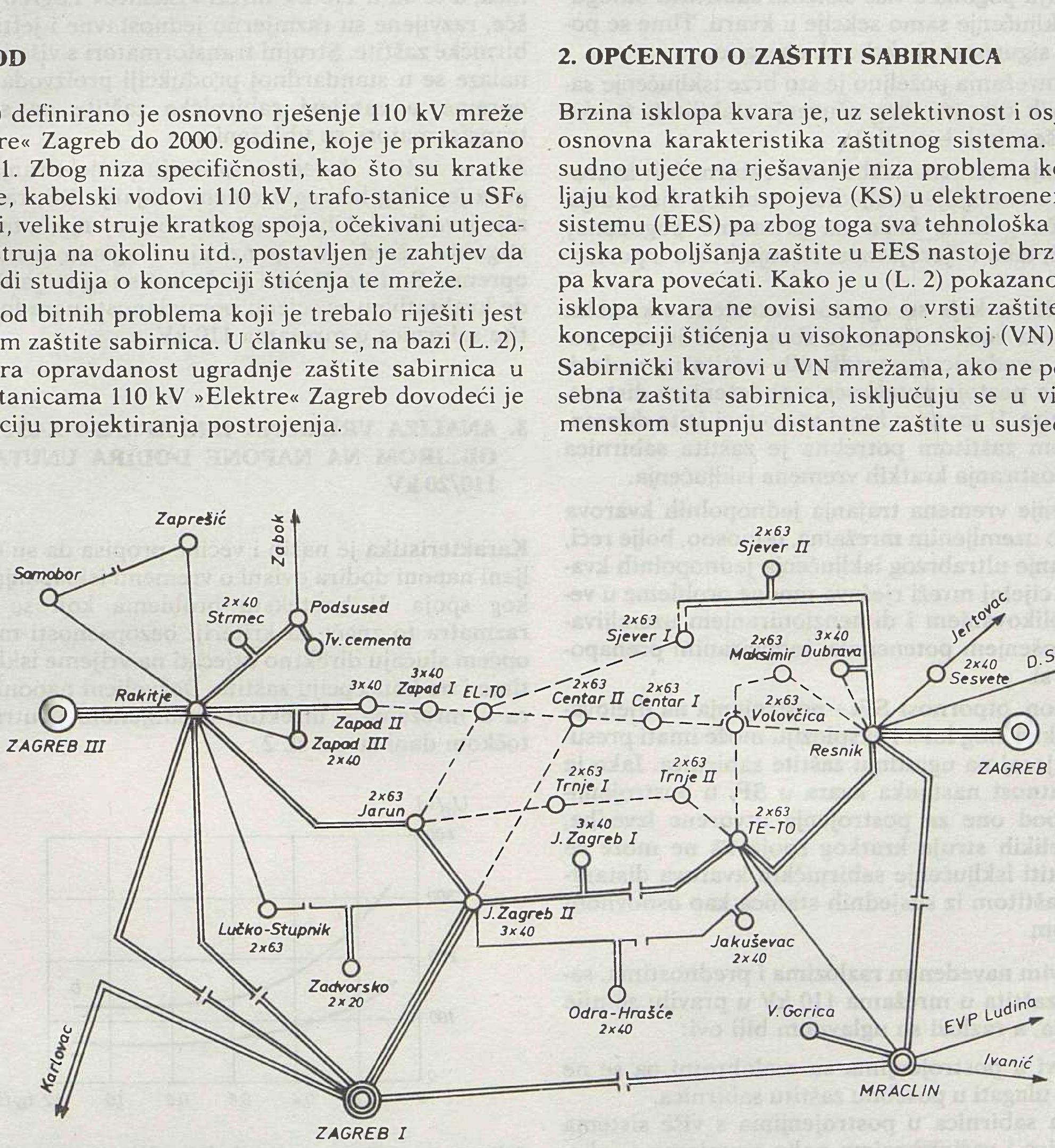
U (l. 1) definirano je osnovno rješenje 110 kV mreže »Elektre« Zagreb do 2000. godine, koje je prikazano na sl. 1. Zbog niza specifičnosti, kao što su kratke dionice, kabelski vodovi 110 kV, trafo-stanice u SF_6 izvedbi, velike struje kratkog spoja, očekivani utjecaji tih struja na okolinu itd., postavljen je zahtjev da se izradi studija o koncepciji štićenja te mreže.

Jedan od bitnih problema koji je trebalo riješiti jest problem zaštite sabirnica. U članku se, na bazi (L. 2), analizira opravdanost ugradnje zaštite sabirnica u trafo-stanicama 110 kV »Elektre« Zagreb dovodeći je u funkciju projektiranja postrojenja.

2. OPĆENITO O ZAŠTITI SABIRNICA

Brzina isklopa kvara je, uz selektivnost i osjetljivost, osnovna karakteristika zaštitnog sistema. Ona presudno utječe na rješavanje niza problema koji se javljaju kod kratkih spojeva (KS) u elektroenergetskom sistemu (EES) pa zbog toga sva tehnološka i koncepcijska poboljšanja zaštite u EES nastoje brzinu isklopa kvara povećati. Kako je u (L. 2) pokazano, vrijeme isklopa kvara ne ovisi samo o vrsti zaštite, već i o koncepciji štićenja u visokonaponskoj (VN) mreži.

Sabirnički kvarovi u VN mrežama, ako ne postoji posebna zaštita sabirnica, isključuju se u višem vremenskom stupnju distantne zaštite u susjednim sta-



Slika 1. Shema mreže 110 kV na području ZAGREBA u 2000. godini.

nicama ili lokalnom zaštitom izvoda usmjerenom u pravcu sabirnica. Distantna zaštita, zbog plana stupnjevanja, isključuje kvarove na susjednim sabirnicama isključivo u višem vremenskom stupnju (2. stupanj 0,35 – 0,7 s, a uz nepovoljne uvjete međunapajanja i višem). Ugradnjom zaštite sabirnica postiže se isključenje kvarova u VN postrojenju u tzv. osnovnom vremenu koje iznosi 0,07 – 0,09 s u što je uključeno i vrijeme prekidača. Na osnovi dugogodišnje statistike kvarova i pogonskih događaja dolazimo do brojke od 0,2 do 1 kvara na sabirnicama — svedeno na 1 godinu i 100 izvoda. Iako je broj sabirničkih kvarova u odnosu prema ukupnom broju kvarova u mreži relativno malen, takav kvar, ako se brzo i selektivno ne isključi, redovito izaziva velike štete i ima teške posljedice i za sistem u cjelini.

Već prema strukturi mreže, naponskom nivou, veličini snaga KS i tretmana zvjezdišta, može se govoriti o različitim razlozima za ugradnju zaštite sabirnica:

— U slučaju pogona s više sistema sabirnica omogućuje isključenje samo sekcije u kvaru. Time se povećava sigurnost opskrbe el. energije;
— U VN mrežama poželjno je što brže isključenje sabirničkih kvarova zbog očuvanja stabiliteta (u slučaju višepolnih kvarova).
— Skraćenje vremena isključenja sabirničkih kvarova bitno smanjuje posljedice razornog djelovanja električnog luka, kako na primarno pogođenoj opremi, tako i vjerojatnost širenja kvara u postrojenju.
— U mrežama koje su »gusto« uzamčene s kratkim dužinama vodova često je zbog selektivnosti potrebno uvođenje usporedbenih zaštita na vodovima gdje postoje poteškoće s podešenjem distantne zaštite. U mreži u kojoj se vodovi štite diferencijalnom zaštitom potrebna je zaštita sabirnica zbog postizanja kratkih vremena isključenja.
— Skraćenje vremena trajanja jednopolnih kvarova u kruto uzemljenim mrežama, odnosno, bolje reći, postizanje ultrabrzog isključenja jednopolnih kvarova u cijeloj mreži rješava mnoge probleme u vezi s oblikovanjem i dimenzioniranjem uzemljivača, iznošenjem potencijala, induciranim prenaponima i sl.
— Napokon, otpornost SF_6 – postrojenja na djelovanje električnog luka i eksploziju može imati presudan utjecaj na ugradnju zaštite sabirnica. Iako je vjerojatnost nastanka kvara u SF_6 u postrojenjima ispod one za postrojenja otvorene izvedbe, kod velikih struja kratkog spoja ks ne može se prihvatiti isključenje sabirničkih kvarova distantnom zaštitom iz susjednih stanica kao osnovnom zaštitom.

Unatoč svim navedenim razlozima i prednostima, sabirnička zaštita u mrežama 110 kV u pravilu se nije ugrađivala, a razlozi su uglavnom bili ovi:

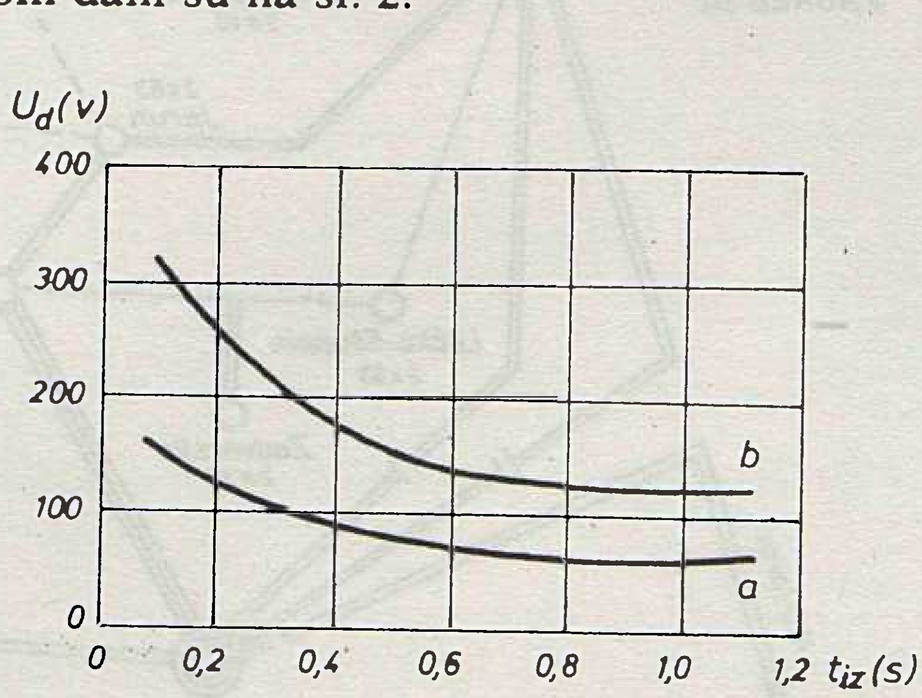
— Kvarovi u postrojenjima su malobrojni pa se ne isplati ulagati u posebnu zaštitu sabirnica.
— Zaštita sabirnica u postrojenjima s više sistema sabirnica i većim brojem polja razmjerno je skupa.
— Problemi stabilnosti u našim VN mrežama nisu doskora bili izraženi.
— Pojedine vrste sabirničke zaštite postavljale su određene zahtjeve na strujne transformatore koji su poskupljivali njihovu izvedbu (posebna jezgra, jednaki prijenosni omjeri u svim poljima, niski otpor sekundarnog namota itd.).
— Smatralo se da se problemi prouzrokovani velikim strujama kratkog spoja i vremenom trajanja mogu jednostavnije i jeftinije rješavati na drugi način.

Ovdje treba naglasiti, iako je to samo po sebi jasno, da se oprema postrojenja mora dimenzionirati za veličinu i trajanje struje KS kod kvara unutar postrojenja, bez obzira na to što su ti kvarovi malobrojni. Ako se problem postavi na taj način, onda argument da zaštitu sabirnica ne treba ugrađivati jer je broj sabirničkih kvarova malen dosta gubi na težini. S druge strane, za trafo-stanice s jednim sistemom sabirnica, a te su u 110 kV mreži »Elektre« Zagreb najčešće, razvijene su razmjerno jednostavne i jeftine sabirničke zaštite. Strujni transformatori s više jezgara nalaze se u standardnoj produkciji proizvođača VN opreme, a zahtjevi sabirničke zaštite na strujne transformatore su ublaženi.

Ako se zaštita dovede u funkciju projektiranja, moguća je, zbog kraćeg vremena trajanja KS, racionalnija izvedba nekih elemenata postrojenja, a tako postignute uštede kompenziraju ulaganja u zaštitnu opremu. Smisao članka je da baš s tog stajališta dade kvalitativnu procjenu opravdanosti ugradnje zaštite sabirnica u mrežama 110 kV.

3. ANALIZA VREMENA ISKLAPANJA ZAŠTITE S OBZIROM NA NAPONE DODIRA UNUTAR TS 110/20 kV

Karakteristika je naših i većine propisa da su dozvoljeni naponi dodira ovisni o vremenu isklapanja kratkog spoja. U kontekstu problema koji se ovdje razmatra to znači da kriteriji bezopasnosti mogu u općem slučaju direktno utjecati na vrijeme isklopa, a time i na koncepciju zaštite. Dozvoljeni naponi dodira u mrežama s direktno uzemljenom neutralnom točkom dani su na sl. 2.



Slika 2. Dozvoljeni naponi dodira: a) izvan postrojenja, b) unutar postrojenja

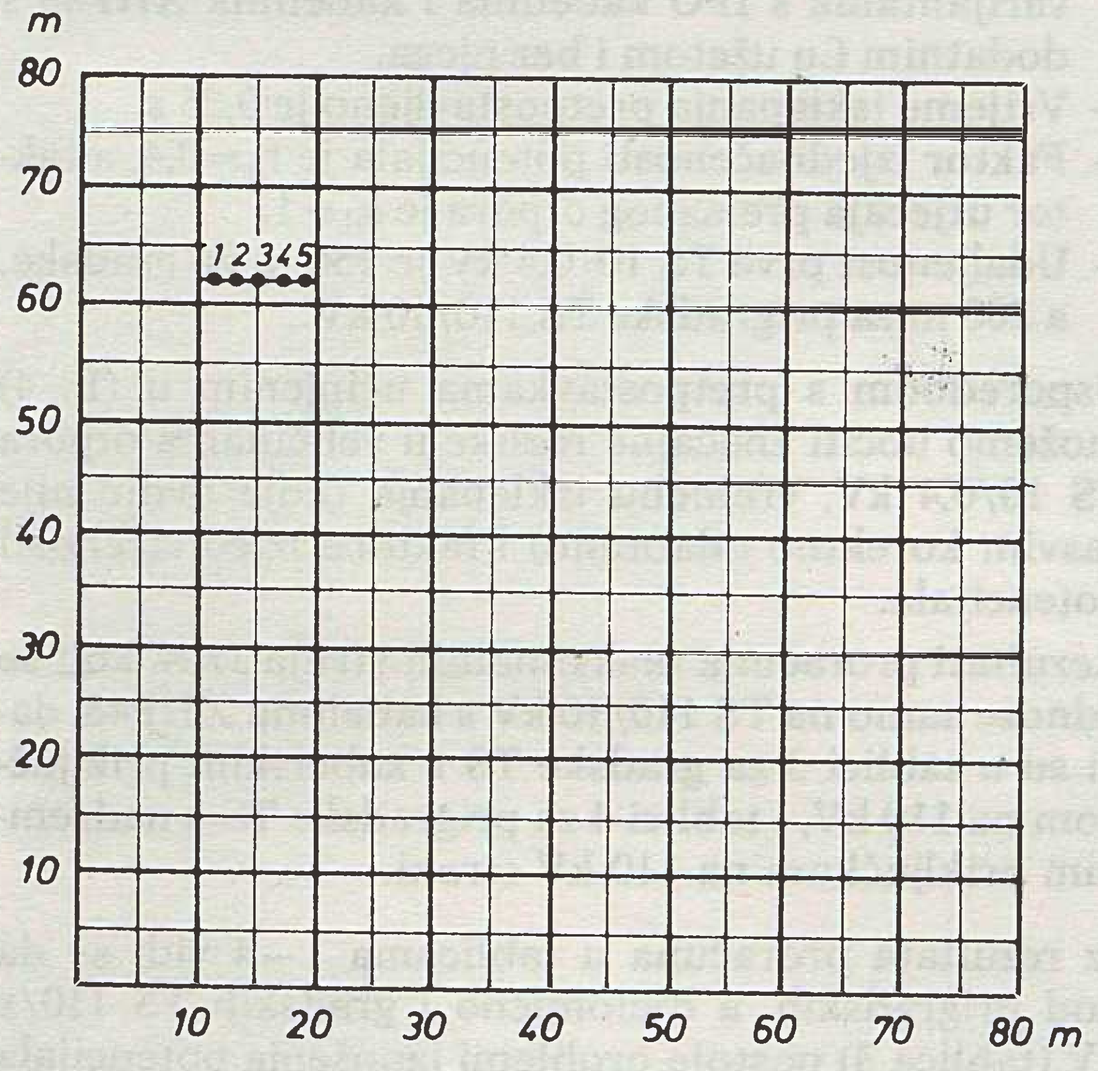
Kraća vremena trajanja kvara odnosno veći dozvoljeni napon dodira omogućuju:

— racionalnije projektiranje uzemljivača i velike uštede posebno kod većih trafo-stanica
— u teškim uvjetima za uzemljivače (velike struje JKS, veliki specifični otpor tla, male dimenzije postrojenja) izvedbu uzemljivača koji zadovoljavaju kriterije sigurnosti.

Koristeći se programom za optimiranje velikih složenih uzemljivača na računalu razvijenom u (L. 3), pokazat ćemo na primjeru kolike se uštede mogu postići ako se skrati vrijeme trajanja kvara.

Na sl. 3. prikazan je model uzemljivača dimenzija 80×80 m položenog u tlo s $\rho = 100\ \Omega \cdot m$ preko kojeg teče struja $I_k = 4$ kA. Proračun je izveden uz pretpostavku da okno uzemljivača iznosi 5 odnosno 10 m, a dobiveni su sljedeći rezultati:

	Varijanta A (okno 5 m)	Varijanta B (okno 10 m)
Otpor rasprostiranja:	0,563 Ω	0,594 Ω
Potencijal uzemljivača:	2252 V	2375 V
Maksimalni napon dodira u zadanim točkama:	128 V	277 V
Ukupna dužina uzemljivača:	2720 m	1440 m
Dozvoljeno vrijeme trajanja kvara s obzirom na izračunati napon dodira (sl. 1 b):	0,7 s	0,18 s



Slika 3. Model uzemljivača 80× 80 m s dimenzijama okna a) 5 m; b) 10 m (debelo izvučena linija). Brojevima su označene točke u kojima je računat napon dodira.

Usporedimo li rezultate proračuna, vidimo da skraćenje vremena trajanja kvara od 0,7s na 0,18s omogućuje da se dužina uzemljivača smanji na pola. Ako bismo vrijeme trajanja kvara skratili na 0,1s (zaštita sabirnica), potrebna dužina uzemljivača iznosila bi 1 200 m.

Iz rezultata proračuna vidi se da je reduciranje dužine mreže za 50 % izazvalo neznatno povećanje (cca 5 %) potencijala uzemljivača, pa je porast napona dodira izvan trafo-stanice, zbog iznošenja potencijala ili utjecaja naponskog lijevka, zanemariv. Skraćenje vremena trajanja kvara od 0,7s na 0,1s povećava dozvoljene napone dodira i izvan postrojenja (krivulja a na sl. 2) od 65 V na 150 V.

Korisni efekti skraćenja vremena trajanja kvara su evidentni čak i u slučaju da promatramo samo prilike unutar TS, jer je cijena uzemljivača oko 2 000 dinara/m (radovi plus Cu-uže). Ti efekti u dobroj mjeri kompenziraju troškove investiranja u zaštitu, što se može provjeriti za svaku konkretnu TS.

4. ANALIZA VREMENA ISKLAPANJA ZAŠTITE S OBZIROM NA IZNOŠENJE POTENCIJALA IZ TS 110/20 kV

Problemi iznošenja potencijala analogni su onima kod napona dodira unutar TS. Radi se zapravo o naponima dodira izvan postrojenja koji su prouzrokovani potencijalom uzemljivača trafo-stanice u kojoj je došlo do kratkog spoja. Međutim, određivanje nivoa iznesenog potencijala znatno je složenije jer se u proračunima pojavljuje niz parametara koji nisu točno poznati, a bitno utječu na rezultate. Ovdje je dakako, nemoguće ulaziti u sve detalje te problematike, pa ćemo se u cijelosti osloniti na (L. 4), a djelomično ćemo se koristiti i rezultatima iz (L. 5).

Korisno se na početku razmatranja podsjetiti na propise, (L. 6) koji se odnose na zaštitu od previsokog napona dodira u niskonaponskim (NN) mrežama i pripadajućim trafo-stanicama. Vrijednosti dozvoljenog napona dodira u tim mrežama identične su onima na sl. 2. Potencijal na uzemljivačima TS 20/0,4 kV i u NN mreži može biti prouzrokovan strujom JKS, ako je neutralna točka SN mreže uzemljena, ili prenesen iz TS 110/20 kV preko ekrana kabela 20 kV. U prvom slučaju nivo potencijala na TS 20/0,4 kV, za kojega propisi pretpostavljaju da se u cijelosti prenosi u NN mrežu ako je izvedeno združeno uzemljenje, možemo ograničiti izborom struje JKS. Vrijeme isklopa JKS na izvodima 20 kV može se odabrati oko 0,2 s.

U drugom slučaju potencijal na uzemljivačima TS 20/0,4 kV možemo sniziti tako da smanjimo struje JKS u TS 110/20 kV ili impedanciju sustava uzemljenja TS 110/20 kV. Za dozvoljeni nivo potencijala mjerodavan je isklop kvara na strani 110 kV.

Dozvoljeni potencijali na uzemljivačima TS 20/0,4 kV definirani su krivuljom a) na sl. 2 ako je u NN mreži primijenjeno nulovanje ili uzemljenje pomoću zajedničkog uzemljivača. Krivulja b) vrijedi u slučajevima kada je u NN mreži primijenjen neki drugi sistem zaštite od previsokog napona dodira. Analize iznošenja potencijala provedene su za vrijednosti definirane krivuljom a). Detaljni komentari propisa vezani uz ovu problematiku dani su u (L. 7).

Prilikom procjene nivoa iznesenog potencijala za zagrebačke TS, u (L. 4), gdje je taj problem vrlo detaljno i seriozno obrađen, učinjene su ove pretpostavke:

— Struja JKS uzeta je iz proračuna za tzv. djelomično uzamčenu mrežu (L. 1).
— Redukcijski faktori kabela su 0,15 a, DV-a 0,7.
— Specifični otpor je $\rho_s = 100\,\Omega \cdot m$, otpor rasprostiranja uzemljivača TS 110/20 kV je $R_s = 0{,}58\,\Omega$, a otpor trafo-stanice 20/0,4 kV je $Z_{nn} = 0{,}3\,\Omega$.
— Uzete su u obzir etape priključka kabela XHP (10, 15, 20 kabela).
— Pretpostavljeno je vrijeme trajanja kratkog spoja 0,7 s. To vrijeme ograničava izneseni potencijal na 65 V.
— Računato je s faktorom izjednačenosti potencijala $f_d = 0{,}72$ i s faktorom koji uzima u obzir smanjenje napona dodira zbog prelaznog otpora tla $s_d = 1{,}78$.
— Prosječna dužina kabelske dionice uzeta je 1,5 km.

Na osnovi pretpostavki određene su granične vrijednosti sustava uzemljenja TS 110/20 kV pomoću izraza:

$$Z_s \frac{241}{\sum_{i=1}^{N} k_i \, I_{lki}} \qquad (1)$$

gdje su k_i — redukcijski faktor i-tog voda;
I_{lki} — udio pojedinih vodova u struji JKS;
N — ukupni broj vodova u TS.

Komentirat ćemo ukratko pretpostave i rezultate proračuna. Pretpostavka da će perspektivna mreža raditi u djelomično uzamčenom pogonu diskutabilna je s obzirom da zahtjeva isklapanje većeg broja prijenosnih i distributivnih vodova 110 kV. Vjerojatniji je pogon mreže samo s otvorenim kabelima jer dozvoljeni nivo rasklopnih snaga nije prekoračen. U tom slučaju struje kratkog spoja u trafo-stanicama s nadzemnim priključkom znatno su veće, pa su uvjeti koji se postavljaju na iznošenje potencijala teži.

Pretpostavka da otpor TS 20/0,4 kV iznosi 0,3 Ω u gradskim TS a kabelskim priključcima na SN i NN strani, uz uvjet da je u NN mreži primijenjeno nulovanje, realna je zbog velike gustoće podzemnih instalacija, utjecaja temeljnih uzemljivača zgrada u sl. U prigradskim TS taj otpor je vjerojatno veći, a posebno je veći ako NN mreža nije nulovana.

Ako nema zaštite sabirnica, kvar u TS 110/20 kV isklapa se u drugom stupnju distantne zaštite. Za elektromehaničke releje to iznosi 0,7s, a za statičke, koji za buduće TS jedino i dolaze u obzir, vrijeme isklopa drugog stupnja iznosi 0,35s, što je znatno povoljnije.

Faktori izjednačenja potencijala f_d i utjecaja prijelaznog otpora stajališta s_d predstavljaju fizikalne činjenice i zbog toga se sve češće uvode u proračune. Problem je, međutim, u tome što se ti faktori, prema (L. 8), mijenjaju u vrlo širokim granicama, pa ih postojeći propisi ne uzimaju u obzir, već računaju s najnepovoljnijim mogućim slučajem ($f_d = 1$, $s_d = 1$).

Rezultati proračuna dani su u tablici 1. Vidi se da veliki broj TS, u pravilu s nadzemnim priključkom na 110 kV, ne zadovoljava postavljene uvjete, pa su provedena dodatna razmatranja da se utvrde minimalne dužine kabela 20 kV kod kojih izneseni potencijal ne prelazi dozvoljene vrijednosti. Izračunate granične dužine određene, dakako uz već navedene pretpostavke, znatno su veće od stvarnih uobičajenih udaljenosti prvih TS 20/0,4 od TS 110/20 kV, što znači da je izneseni potencijal bio nedozvoljeno visok.

Zbog toga je u (L. 4) predloženo da se u kabelske trase postavi Cu–uže i tako smanje impedancije, odnosno potencijali uzemljivača na dozvoljene vrijednosti. Uz pretpostavku da je u prvoj etapi $Z_s = 0{,}1\,\Omega$ određene su maksimalne vrijednosti struja JKS (tablica) kod kojih izneseni potencijal, bez obzira na dužine kabelskih dionica, ne bi prelazio dozvoljene vrijednosti.

Dakako da su ovo strogi zahtjevi i da dozvoljene struje rastu s povećanjem dužine najkraćih kabelskih dionica, što je u (L. 4) i pokazano. No taj porast ipak nije toliko brz pa je nužno sniženje impedancije Z_s.

Slične analize provedene su u (L. 5) ali uz sljedeće pretpostavke:

— Redukcijski faktor kabela je 0,3, a DV-a 0,7.
— Uzeti su u obzir specifični otpori 20 Ω·m i 100 Ω·m. Uvažene su različite varijante uzemljivača TS 110/20 kV (horizontalni, temeljni i vertikalni uzemljivači). Otpor TS 10/0,4 pretpostavljen je 0,5 Ω za nulovanu, i 4 Ω za nenulovanu mrežu 0,4 kV.
— Računato je s etapnošću izgradnje mreže 10 kV u varijantama s IPO kabelima i kabelima XHP48 s dodatnim Cu užetom i bez njega.
— Vrijeme isklapanja pretpostavljeno je 0,25 s.
— Faktor izjednačenosti potencijala je $f_d = 0{,}4$, a faktor utjecaja prelaznog otpora je $s_d = 1$.
— Udaljenost prve TS 10/0,4 kV je 150 m za gradske, a 200 m za prigradske TS 110/10 kV.

Usporedbom s pretpostavkama učinjenim u (L. 4) možemo uočiti značajne razlike u veličinama otpora TS 10/0,4 kV, vremenu isklapanja (koje ovdje nije sasvim korektno odabrano) i faktoru izjednačenosti potencijala.

Rezultati proračuna maksimalnih struja JKS, koji se odnose samo na TS 110/10 kV s kabelima XHP48, dani su u tablici 3 za gradske TS s kabelskim priključkom na 110 kV, i tablici 4 za prigradske TS s nadzemnim priključkom na 110 kV strani.

Iz rezultata proračuna u tablicama 1–4 vidi se da kod prigradskih, a djelomično i gradskih TS 110/x kV (tablica 3) postoje problemi iznošenja potencijala i pored činjenice da su uvaženi svi relevantni utjecaji. Za obje vrste TS posebno je kritična situacija neposredno nakon ulaska u pogon kada mreža SN nije dovoljno razvijena. Zbog toga se u (L. 4) i (L. 5) predlaže da se uz kabele XHP48 položi Cu-uže i tako smanji impedancija sustava uzemljenja TS 110/x kV.

Ukupna dužina Cu-užeta, odnosno troškovi poduzimanja takve mjere mogu se odrediti samo za konkretnu TS.

Orijentacijski možemo računati s polaganjem 400 m u 5 kabelskih trasa koje idu u različitim smjerovima,

Tablica 1. Dopuštene impedancije uzemljenja TS 110/20 kV koje bi zadovoljile sve dužine srednjonaponskih kabelskih trasa

R. br.	Naziv TS 110/20 kV	1980.					1985.					2000.				
		Jednopolna struja kvara sa strane 110 kV kabela I_{kl_e} (Ka)	Jednopolna struja kvara sa strane 110 kV zrač. vodova I_{kl_z} (kA)	Granična vrijednost impedancije uzemljenja TS 110/20 kV $Z_s' \leq$ (Ω)	Primjedba		Jednopolna struja kvara sa strane 110 kV kabela $I_{k\text{-}l_e}$ (kA)	Jednopolna struja kvara sa strane 110 kV zrač. vodova I_{kl_z} (kA)	Granična vrijednost impedancije uzemljenja TS 110/20 kV $Z_s' \leq$ (Ω)	Primjedba		Jednopolna struja kvara sa strane 110 kV zrač. vodova I_{kl_z} (kA)	Jednopolna struja kvara sa strane 110 kV kabela $I_{k\text{-}l_e}$ (kA)	Granična vrijednost impedancije uzemljenja TS 110/20 kV Z_s' (Ω)	Primjedba	
					Zadovoljava $Z_s \leq Z_s'$	Ne zadovoljava $Z_s > Z_s'$				Zadovoljava $Z_s \leq Z_s'$	Ne zadovoljava $Z_s > Z_s'$				Zadovoljava $Z_s \leq Z_s'$	Ne zadovoljava $Z_s > Z_s'$
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10		11	12	13	14	
1	Južni Zagreb II		17,97	0,019	ne			22,11	0,0155	ne		0,49	23,22	0,014	ne	
2	Samobor (P)		7,67	0,045	ne			7,82	0,044	ne			9,35	0,037	ne	
3	Zapad II (P)		10,92	0,03	ne			11,21	0,03	ne		0,51	16,9	0,02	ne	
4	Južni Zagreb I (P)		14,07	0,024	ne			15,43	0,022	ne			10,80	0,032	ne	
5	Dubrava		10,23	0,033	ne			10,40	0,033	ne		22,44	0,69	0,062		da
6	V. Gorica (P)		10,66	0,032	ne			10,75	0,032	ne			10,44	0,033	ne	
7	EL-TO						16,05		0,1		da	19,6		0,082		da
8	Centar I						17,31		0,093		da	12,26		0,088		da
9	Odra-Hrašće												9,07	0,038	ne	
10	Jakuševac												8,1	0,0425	ne	
11	Volovčica											14,7		0,11		da
12	Maksimir											18,06		0,089		da
13	Sesvete												15,17	0,022	ne	
14	Centar II											18,85		0,085		da
15	Trnje I											18,83		0,085		da
16	Trnje II											15,51		0,1		da
17	Zapad III												18,64	0,018	ne	
18	Lučko-Stupnik												9,48	0,036	ne	
19	Zapad I											16,34	10,85	0,098		da
20	Zadvorsko												18,98	0,031	ne	
21	Strmec												7,4	0,018	ne	
22	Sjever 2													0,045	ne	

– U koloni primjedbe označavamo da li je neka TS 110/20 kV zadovoljila s obzirom na pretpostavljene etapne impedancije $Z_s = 0{,}1\ \Omega$ (1980), $Z_s = 0{,}08\ \Omega$ (1985) i $Z_s = 0{,}06\ \Omega$ (2000. god.); to se odnosi na TS 110/20 kV pod rednim brojem 1 do 6. Za ostale, pod rednim brojem 7 do 22 u trenutku puštanja u pogon računato je za $Z_s = 0{,}1\ \Omega$.
(P) – postojeće trafo-stanice.

što daje ukupno 2000 m Cu-užeta po cijeni 1000 d/m. Za točke 3 i 4zajedno možemo zaključiti:

a) Visina dozvoljenih napona unutar TS i dozvoljenog nivoa iznesenog potencijala ovisni su o vremenu isklopa kvara. U nekim situacijama upravo ta dva kriterija mogu utjecati na izbor vremena isklopa, a time i na koncepciju zaštite.

b) Analizom napona dodira na modelu uzemljivača pokazano je da se sa skraćenjem vremena trajanja JKS može znatno reducirati ukupna dužina uzemljivača. Uštede na tome mogu kompenzirati

Tablica 2. Dozvoljene struje JKS bez udjela struje transformatora u TS 110/20 kV uz pretpostavku $Z_s = 0{,}1\ \Omega$

t_{iz} (s)	TS s nadzemnim vodovima 110 kV I_1 (kA)	TS s kabelskim vodom 110 kV I_1 (kA)
0,7	3,44	16,05
0,5	4,24	19,77
0,3	5,3	24,73
0,25	6,3	29,68
0,1	7,94	36,9

Tablica 3. Maksimalne struje JKS prema (L. 5) za gradske TS kod kojih iznesen potencijal ne prelazi dozvoljene vrijednosti

Br.	ρ Ω · m	Uzemljivač TS 110/x			Mreža 0,4 kV nulovana		Kabeli 10 kV			I_l (kA)	Kritična veličina	Primjedba
		T	T+V	PL	da	ne	IP 013	XHP 48	broj			
1	20	+				+		+	5	6,36	U_i	
2	20		+			+		+	5	7,11	U_i	
3	20	+				+		+	5	18,0	U_i	P.1
4	20	+			+			+	5	20,6	U_i	P.1
5	20	+				+		+	5+15	30,2	U_i	P.1
6	100	+				+		+	5	7,05	U_i	P.1
7	100	+				+		+	5+15	19,7	U_i	P.1

T — temeljni uzemljivač; T+V — temeljni uzemljivač — vertikalne sonde; U_i — izneseni potencijal;
P.1 — u 5 kabelskih dionica postavljeno Cu-uže.

Tablica 4. Maksimalne struje JKS prema L. 5 za prigradske TS kod kojih izneseni potencijal ne prelazi dozvoljene vrijednosti

Br.	ρ Ω·m	Uzemljivač TS 110/x			TS		Z. uže DV-a 110 kV		Mreža 0,4 kV nulovana		Kabeli 10 kV			I_1 (kA)	Kritična veličina	Prim-jedba
		H	H+V	2H	kraj-nja	pro-lazna	Če	Al-Če	da	ne	IPO13	XHP	broj			
1	100	+			+			+		+		+	3	4,84	U_i	
2	100	+				+	+			+		+	3	3,17	U_i	
3	100	+				+		+		+		+	3	5,75	U_i	
4	100	+			+		+		+			+	3	6,13	U_i	
5	100	+			+			+	+			+	3	9,49	U_i	
6	100	+			+	+	+		+			+	3	6,38	U_i	
7	100	+			+	+		+	+			+	3	10,64	U_i	
8	100	+			+		+			+		+	3	3,92	U_i	P.1
9	100	+			+			+		+		+	3	6,19	U_i	P.1
10	100	+				+		+		+		+	3	7,14	U_i	P.1
11	100	+			+		+		+			+	3	6,18	U_i	P.1
12	100	+			+			+	+			+	3	9,17	U_i	P.1
13	100	+				+		+	+			+	3	10,08	U_i	P.1

H — horizontalni uzemljivač; Ostale oznake kao uz tablicu 3.

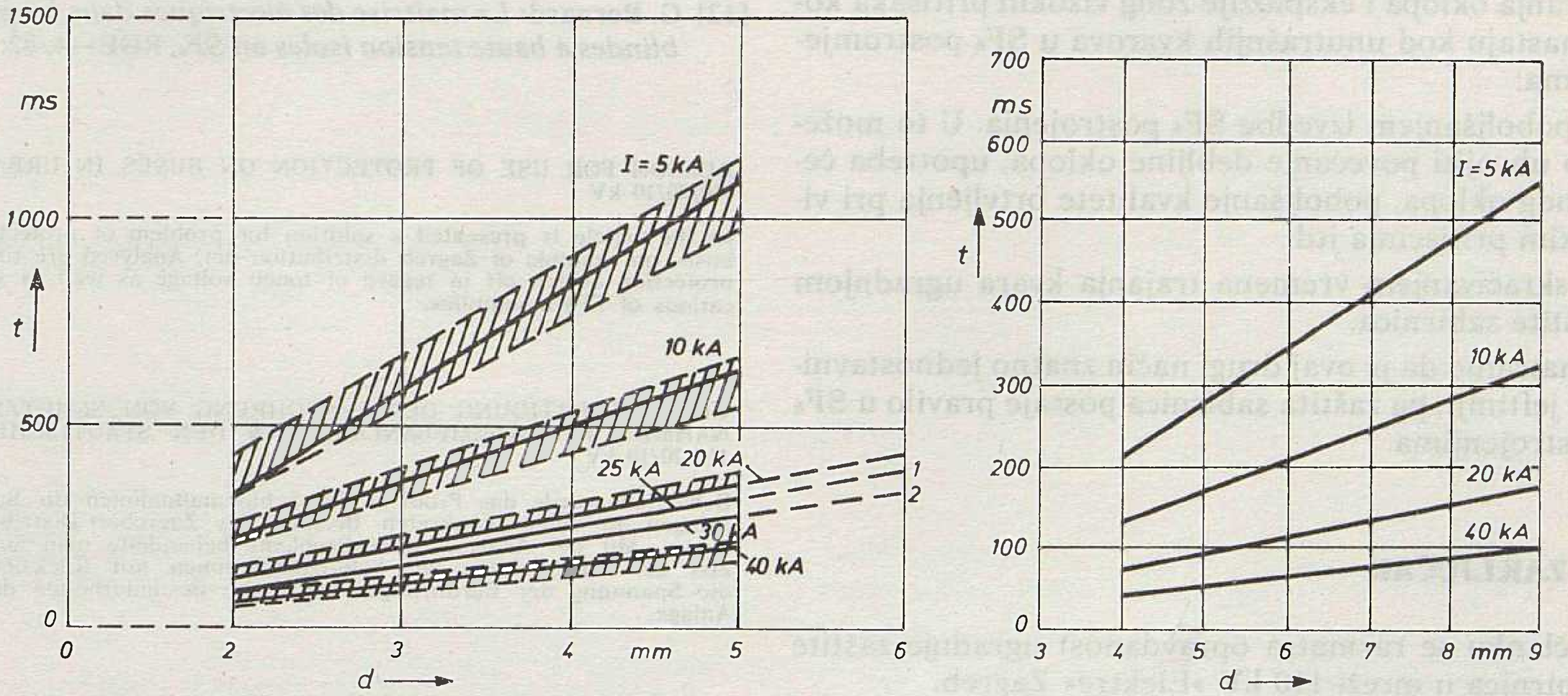
ulaganje u zaštitu sabirnica koja je za postrojenja s malim brojem 110 kV polja i jednostavnom shemom relativno jeftina i jednostavna.

c) iznošenje potencijala iz TS 110/20 (10) kV jedan je od najvažnijih problema uzrokovan strujama kratkog spoja u mrežama s direktnom transformacijom. Iz komparativne analize dviju studija koje obrađuju iznošenje potencijala proizlazi da unatoč znatnog sniženja impedancije sustava uzemljenja, uzimajući u obzir utjecaj kabela i dalekovoda na VN strani te kabela i NN mreže na SN strani, i uvođenja u proračune faktora f_d i s_d, problemi iznošenja potencijala ostaju. U obje spomenute studije predlaže se, kao dodatna mjera, polaganje Cu-užadi u kabelske trase. To rješenje ima, dakako, svoju cijenu, pa je u recenziji studije (L. 5) predloženo da se obavi tehno-ekonomska usporedba između polaganja Cu-užadi i ugradnje zaštite sabirnica, što je ovdje i urađeno.

d) Korisni efekti povećavanja dužine uzemljivača (gusta mreža, dodatna Cu-užad) ograničeni su samo na napone dodira, odnosno izneseni potencijal. Naprotiv, skraćenjem vremena kvara na 0,1s ugradnjom zaštite sabirnica, osim spomenutih efekata postižu se i drugi vezani uz termičko dimenzioniranje, utjecaje struje JKS na susjedne vodove, smanjenje oštećenja opreme i sl. Jasno je, dakle, da rješenje treba tražiti u tom pravcu.

5. ANALIZA VREMANA ISKLAPANJA KVARA U SF_6 POSTROJENJIMA

Od samog početka eksploatacije SF_6 tehnike središnja pitanja bila su sigurnost osoblja i pogonska sigurnost tih postrojenja. U usporedbi s klasičnim, SF_6 postrojenja imaju prednost da je kod kvara osoblje zaštićeno od djelovanja luka, dakako uz uvjet da ne dođe do progaranja kućišta i nekontroliranog lutanja luka po postrojenju. Vrijeme progaranja kućišta ovisno je o veličini i vremenu trajanja struje kratkog spoja te o materijalu kućišta. Ta ovisnost, prema (L. 9), dana je na sl. 4, a slični podaci dani su i u (L. 10). Vidi se da čelična kućišta imaju znatno duža vremena prograranja pa prema tome i veću sigurnost.



Slika 4. Vrijeme proboja kućišta za ravne elektrode. Pune linije označavaju izračunate vrijednosti a crtkane izmjerene

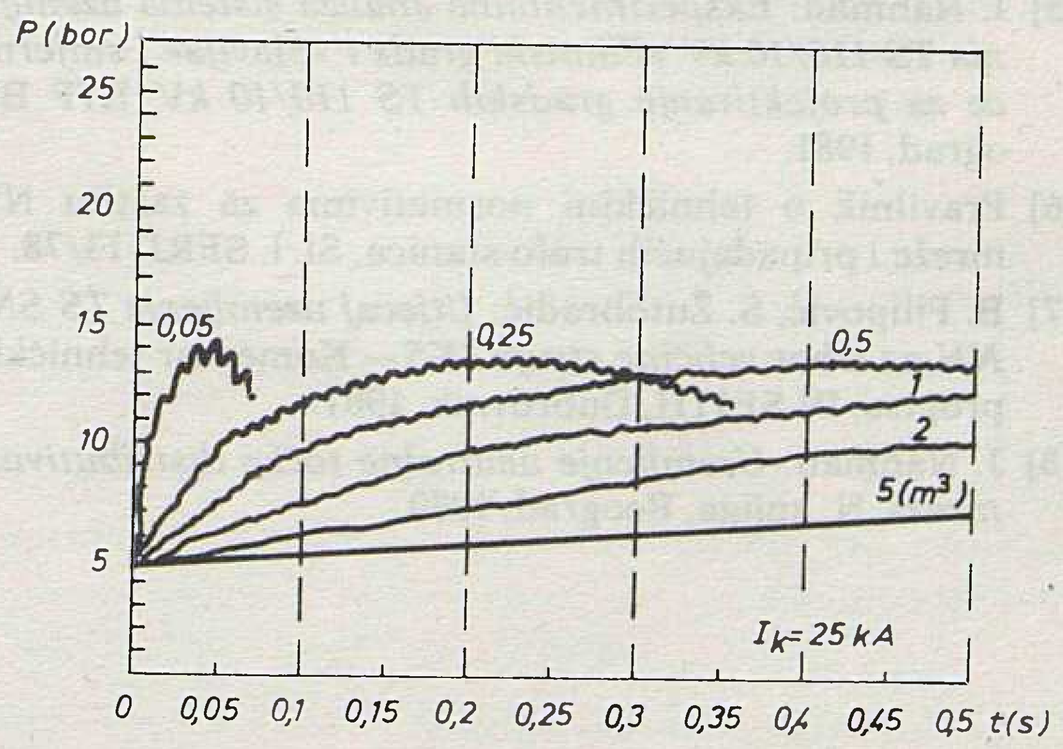
a) čelik St 37-L *b) aluminij AlMg 3*

SF_6 postrojenje proizvodnje »RK« — »SIEMENS« montirano u TS Sjever I ima čelično kućište debljine 6 mm. Ako bi se ta debljina interpolirala u dijagram na sl. 4, dobili bi za 25 kA (5 000 MVA) vrijeme progaranja 0,4 s. Međutim, prema informaciji dobivenoj od proizvođača, postrojenje tipa SJEVER I izdrži bez progaranja čak 31 kA za vrijeme 1,2s što je neusporedivo više. To se može objasniti time što se za razliku od ispitivanja koja se provode sa stabiliziranim lukom luk teško stabilizira sa stijenki, što dakako produžuje vrijeme progaranja. Ako su navedeni podaci točni, nije problem postići isklapanje KS prije progaranja kućišta.

Drugi podatak, bitan za sigurnost jest izdržljivost na pritisak. Plin SF_6 nalazi se u komorama pod pritiskom koji ovisno o veličini i pogonskom naponu iznosi od 1,3 ⌈ 4 bara. Kod kvara preko električnog luka pritisak u pojedinim odvojenim komorama može, u ovisnosti o vremenu isklopa i struji kvara, znatno porasti. Da bi se izbjegla eksplozija kućišta, moguća su dva načina rasterećenja: Prvi, koji prema (L. 10) koristi BBC, jest tzv. unutrašnje rasterećenje, kod kojega dolazi do pucanja pregrada koje razdvajaju pojedine volumene unutar kućišta i do sniženja pritiska. Ako se kvar isklapa do 0,1s, moguće je oštećenje ograničiti samo na komoru u kojoj je došlo do kvara. Drugi princip, koji prema (L. 11) primjenjuje SIEMENS, predviđa posebne membrane na kućištu na kojima (zbog pritiska) dolazi do proboja i rasterećenja, ali i oslobađanja plina SF_6.

U (L. 12) provedena su opsežna teorijska i praktična ispitivanja otpornosti na pritisak postrojenja svih napona i struja kratkog spoja u mreži EdF koja također koriste princip sigurnosnih membrana. Na sl. 5. dani su dijagrami pritisak — vrijeme za struju KS od 25 kA za različite volumene koji postoje u opremi SF_6 postrojenja.

Iz dijagrama se vidi da je moguće izbjeći pucanje sigurnosnih membrana u svim slučajevima osim onda kada je do JKS došlo u volumenima manjim od 0,25 m^3. Uvjet je da se kvar iskopča u vremenu od 0,08 s.



Slika 5. Promjena pritiska plina SF_6 unutar pojedinih volumena za struju KS
I_K = 25 kA

To vrijeme može se postići jedino ugradnjom zaštite sabirnica (vrijeme reagiranja zaštite 10 – 20 ms + vrijeme isklopa prekidača 50 – 60 ms).

Za SF_6 postrojenja »RK« – SIEMENS najmanji volumen je 0,5 m^3, a pucanje membrana nastupa kod pritiska oko 10 bara. Moguće je, dakle, ugradnjom zaštite sabirnica eliminirati pucanje membrana.

Dvije su, dakle, mogućnosti rješavanja problema progaranja oklopa i eksplozije zbog visokih pritisaka koji nastaju kod unutrašnjih kvarova u SF_6 postromjenjima:

— poboljšanjem izvedbe SF_6 postrojenja. U to možemo ubrojiti povećanje debljine oklopa, upotreba čeličnog oklopa, poboljšanje kvalitete brtvljenja pri visokim pritiscima itd.

— skraćivanjem vremena trajanja kvara ugradnjom zaštite sabirnica.

Smatramo da je ovaj drugi način znatno jednostavniji i jeftiniji, pa zaštita sabirnica postaje pravilo u SF_6 postrojenjima.

6. ZAKLJUČAK

U članku se razmatra opravdanost ugradnje zaštite sabirnica u mreži 110 kV »Elektre« Zagreb.

Na osnovi kvalitativne analize nekih utjecajnih parametara, koju je sasvim jednostavno kvantificirati na svako postrojenje i mrežu u cjelini, proizlazi da je ugradnja zaštite sabirnica tehnički i ekonomski opravdana.

LITERATURA

[1] R. Schenner: *Osnovno rješenje elektrodistributivne mreže 110 i 30 kV grada Zagreba,* IE Zagreb, 1980.

[2] B. Filipović: *Relejna zaštita električne mreže 110 i 20 kV grada Zagreba,* IE Zagreb, 1983.

[3] S. Žutobradić: *Optimiranje složenih uzemljivača,* IE Zagreb, 1981.

[4] Z. Novoselac: *Problem iznošenja potencijala iz TS 110/20 kV u Zagrebu,* EI »RK« Zagreb, 1981.

[5] J. Nahman: *Eksperimentalna analiza sistema uzemljenja TS 110/10 kV »Filimski grad« i »Slavija« i smjernice za projektiranje gradskih TS 110/10 kV,* ETF Beograd, 1981.

[6] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu NN mreže i pripadajućih trafo-stanica, Sl. l. SFRJ, 13/78.

[7] B. Filipović, S. Žutobradić: *Utjecaj uzemljenja TS SN/NN na izbor veličine struje JKS* — Komentar tehničkih propisa, IV SEITH, Dubrovnik, 1981.

[8] J. Nahman: *Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža,* N. knjiga, Beograd, 1980.

[9] W. Kolbe: *Durchschmeltzen von ebenen Metallplatten-elektroden durch Hochstromlichtbögen in SF_6,* ETZ-a Bd. 96 (1976) H. 12.

[10] A. Krenicky: *Lichtbogenfehler in SF_6 izolierten gekapselten Hochspannungs-Schaltenlagen,* BBC Mitt. 4 – 74.

[11] F. Rimpp: *Betriebstehrungen mit metallgekapselten SF_6 izolierten Hochspannungs-Schaltenlagen und Rohrleitungen,* Siemens Zeichr. Jg. 60 (1976) H 15.

[12] G. Bernard: *La maîtrise des électriques dans les postes blindes à haute tension isoles an SF_6,* RGE – 4/82.

REASON FOR USE OF PROTECTION ON BUSES IN URBAN TS 110/20/10 kV

In the article is presented a solution for problem of protection of buses on example of Zagreb distribution net. Analysed are times of protection switch off in regard of touch voltage as well as specifications of SF6 assemblies.

GERECHTFERTIGUNG DER EINFÜHRUNG VON SCHUTZMA: NAHMEN FÜR SAMMELANLAGEN IN DEN STÄDTISCHEN TS 110/20/10 kV

Behandelt wurde das Problem der Schutzmaßnahmen für Sammelanlagen an einem konkreten Beispiel des Zagreber Distributionsnetzes. Mit der Analyse diese Problems behandelte man auch die Zeit der Ausschaltung der Schutzmaßnahmen mit Rücksicht auf die Spannung der Berührungen sowie die Besonderheiten der SF6 Anlage.

ОПРАВДАННОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЗАЩИТЫ ШИН НА ГОРОДСКИХ ТП 110/20(10) кВ

Вопрос защиты шин решался на конкретном примере загребской распределительной сети. При рассмотрении указанного вопроса анализировалось время срабатывания защиты, учитывая напряжение прикосновения и специфику элегазовых установок.

Naslov pisaca:

mr Filipović-Grčić Božidar, dipl. ing.

mr Žutobradić Srđan, dipl. ing.

Institut za elektroprivredu

41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 06 – 02

ANALIZA ELEKTROENERGETSKOG KONZUMA NA PODRUČJU ELEKTROPRIVREDE ZAGREB POMOĆU ELEKTRONIČKOG RAČUNALA UNIVAC 1100

Dr Zdravko Hebel — Miroslav Mesić, Zagreb

UDK 621.31:681.31

PREGLEDNI RAD

Prikazan je način upotrebe elektroničkog računala pri sređivanju podataka o opterećenju izlaza na transformatoskim stanicama Elektroprivrede Zagreb. Podaci su tako sređeni da je omogućena brza i pregledna analiza opterećenja za različita vremenska razdoblja.

Ključne riječi: analiza konzuma, dijagrami opterećenja, datoteka energetskih podataka, upotreba kompjutora u elektroprivredi.

UVOD

U svakodnevnoj tehničkoj praksi u elektroprivredi sve više je izražena potreba za kvalitetnim podacima o opterećenjima elektroenergetskog konzuma.

Planiranje objekata prijenosne mreže, energetska obrazloženja kod izrade tehničke dokumentacije proširenja postojećih i izgradnje novih transformatorskih stanica, kvalitetna procjena opterećenja energetskih transformatora, procjena dinamike porasta elektroenergetskog konzuma s mogućnošću jednostavne prognoze potrošnje električne energije i uopće raspolaganje kvalitetnim podacima o opterećenju za zadani vremenski interval i odabrani segment elektroenergetskog konzuma samo su mali isječak iz ove domene.

Dosadašnji način analize opterećenja provodio se pregledom i procjenom dnevnih lista opterećenja pojedinih transformatorskih stanica (očitanja s mjernih instrumenata), a na osnovi raspoloživih podataka i iskustva mogli su se procijeniti godišnji maksimumi opterećenja.

Ovakav način analize opterećenja zahtijeva dosta vremena, razultati analize su ograničeni na samo jednu transformatorsku stanicu, pa je na osnovi njih teško procijeniti ponašanje jednog ili više segmenata konzuma tijekom odabranog vremenskog intervala, za što postoje realne potrebe i interesi.

Na pragu distributivne mreže Elektroprivrede Zagreb mjere se i na maksiprint-trake zapisuju 15-minutni protoci električne energije (za sva postojeća mjerna mjesta radne snage, za dio mjernih mjesta i jalove snage)

Prag distributivne mreže je u pravilu srednjonaponski nivo 35, 30, 20 i 10 kV, a izuzetno naponski nivo 110 kV.

Posebnim uređajem podaci s maksiprint-traka snimaju se na odgovarajuće arhivske trake koje služe kao ulazni podaci za obračun električne energije pomoću elektroničkog računala UNIVAC 1100.

Konfiguracija podataka na arhivskim trakama za područje Elektroprivrede Zagreb nije pogodna za energetske analize s obzirom na organizaciju rasporeda i upisa podataka, te mjesečni princip organizacije podataka unutar jedne grupe transformatorskih stanica.

Stalna potreba za kvalitetnim podacima o opterećenjima elektroenergetskog konzuma i postojanje arhivskih podataka o 15-minutnim prosjecima opterećenja u svim transformatorskim stanicama 110/x kV na području Elektroprivrede Zagreb rezultirali su idejom da se arhivski podaci odgovarajuće prestrukturirani i složeni mogu iskoristiti za formiranje datoteke podataka organizirane na način da omogućuje analize karakteristika elektroenergetskog konzuma pomoću elektroničkog računala u terminalskom režimu rada.

2. DATOTEKE ENERGETSKIH PODATAKA ZA PODRUČJE ELEKTROPRIVREDE ZAGREB

Potreba provođenja godišnjih analiza opterećenja konzuma diktirala je izbor, konfiguraciju i organizaciju odgovarajuće datoteke energetskih podataka.

Raspoloživi podaci o 15-minutnim protocima električne energije na arhivskim trakama za sva mjerna mjesta, odgovarajućim programskim i komunikacijskim sistemom upisuju se u prikladno projektirane datoteke organizirane na godišnjem principu (magnetske trake 2400 feeta).

Na takav način kreirane su i formirane datoteke energetskih podataka za područje Elektroprivrede Zagreb za 1980, 1981, 1982 i 1983. godinu za slijedeći opseg elektroenergetskog konzuma:

— distributivni konzum (radna i djelomično jalova snaga)
— direktne potrošače (radna i djelomično jalova snaga)
— ŽTP izmjenično (radna i djelomično jalova snaga)
— ŽTP istosmjerno.

Aktualiziranje datoteka (upis novih podataka za protekli mjesec) obavlja se svakomjesečno odgovarajućim komunikacijskim algoritmom u terminalskom režimu rada.

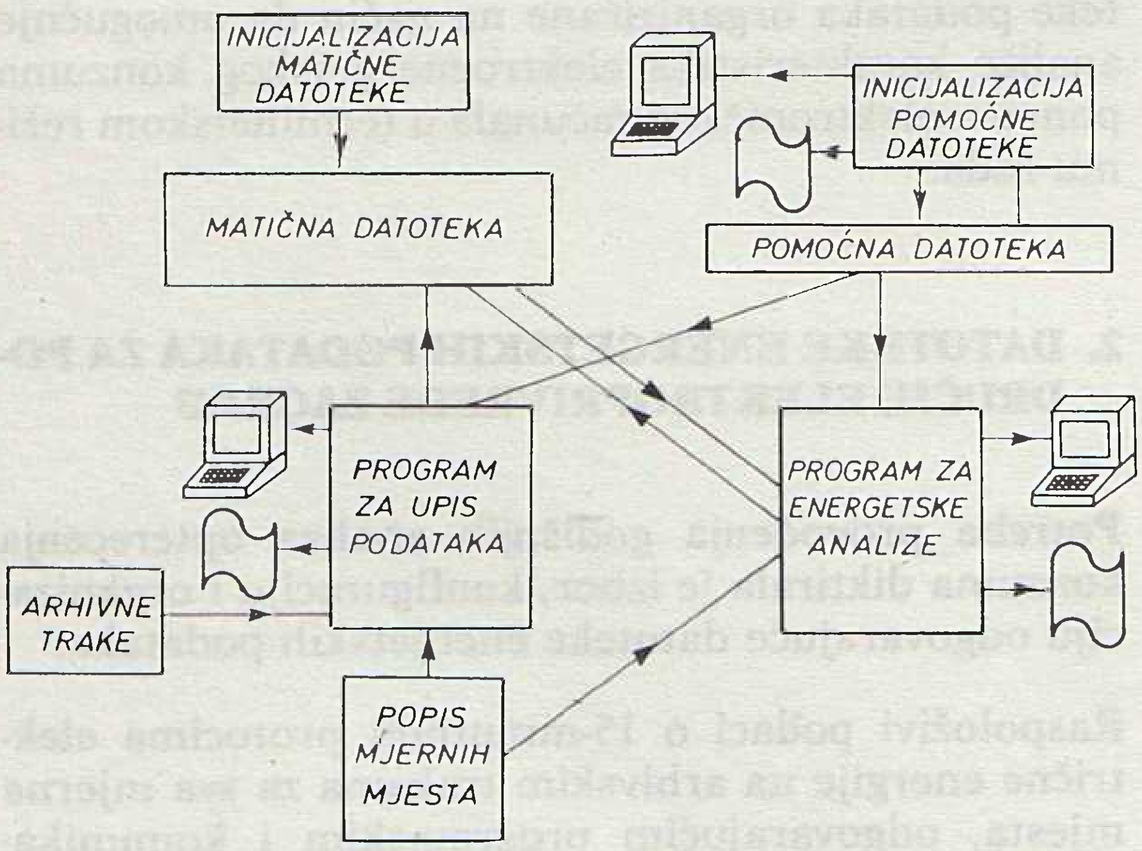
Datoteke su projektirane na principu prethodnog adresiranja svih podataka jedne godine (pomoćna datoteka) i odgovarajućeg smještaja svih podataka po mjernim mjestima i adresama uz mogućnost dodavanja novih mjernih mjesta u tekućoj godini (matična datoteka).

Datoteke energetskih podataka projektirane na opisani način i sa sadržajem svih 15-minutnih prosjeka opterećenja svih mjernih mjesta na području Elektroprivrede Zagreb u razmatranoj godini omogućuju raznovrsne energetske analize.

3. ANALIZA ELEKTROENERGETSKOG KONZUMA NA PODRUČJU ELEKTROPRIVREDE ZAGREB

Datoteke s energetskim podacima elektroenergetskog konzuma Elektroprivrde Zagreb za 1980, 1981, 1982 i 1983. godinu predstavljaju ulazne podatke za izvođenje energetskih analiza.

Na osnovi tehničkih zahtjeva korisnika razvijen je pripadajući sistem programa koji daje široke mogućnosti analiza opterećenja elektroenergetskog konzuma u terminalskom režimu rada. Na slici 1. prikazana je shema sistema za energetske analize.



Slika 1. Shema sistema za energetske analize

Program za energetske analize za bilo koji dio elektroenergetskog konzuma Elektroprivrede Zagreb (najmanje jedno mjerno mjesto, najviše sva mjerna mjesta) i bilo koji vremenski interval (najmanje jedan dan, najviše jedna godina) izvođenjem odgovarajućih linearnih kombinacija daje ove izlazne rezultate:

— P_{max} (MW) s vremenom nastupa — datum, dan i sat
— P_{min} (MW) s vremenom nastupa — datum, dan i sat
— P_{sred} (MW) za zadani vremenski interval
— participacija pojedinih mjernih mjesta u P_{max} odabranog segmenta ili cijelog konzuma.

Izlazne rezultate moguće je dobiti u detaljnom ispisu na izlaznim listama (podaci o satnim opterećenjima za cijeli vremenski interval — po danima) i u normalnom — skraćenom ispisu s rekapituliranim podacima (P_{max}, P_{min}, P_{sred}, participacija).

Grupiranje transformatorskih stanica na osnovi kojeg se izvode linearne kombinacije može se definirati bilo kojim kriterijem (energetski, geografski, organizacioni i sl.), a prilikom izvođenja programa za energetske analize sumiraju se opterećenja transformatorskih stanica za svakih 15 minuta odabranog vremenskog intervala s napomenom da izlazni rezultati sadrže istaknute karakteristične vrijednosti i satna opterećenja po svim danima.

Sve datoteke i pripadajući programi prilagođeni su terminalskom režimu rada, na elektroničkom računalu UNIVAC 1100 SRC-a u Zagrebu, pri čemu korisnik komunikacijskih algoritama obavlja svakomjesečni upis podataka i tražene energetske analize. Opseg izlaznih rezultata određen je na osnovi sugestija svih potencijalnih korisnika, a po potrebi se može smanjivati i povećavati.

4. PRIMJENE PROGRAMA ZA MJESEČNE I GODIŠNJE ANALIZE

Datoteke kreirane i formirane na način opisan u točki 2. i programski sistem opisan u točki 3. primijenjeni su za mjesečne i godišnje analize elektroenergetskog konzuma Elektroprivrede Zagreb. Početkom svakog mjeseca obavlja se upis novih podataka i energetska anliza za protekli mjesec.

Elektroenergetski konzum podijeljen je na: distributivni konzum direktne potrošače i elektrovučne podstanice ŽTP-a.

Distributivni konzum podijeljen je na segmente određene energetskim i geografskim kriterijima. Izlazni rezultati sadrže podatke u detaljnom, ili normalnom ispisu:

— P_{max}, P_{min}, P_{sred} i participaciju grupa u P_{max} prema karakteru potrošnje za ukupni elektroenergetski konzum
— P_{max}, P_{min}, P_{sred} i participaciju energetskih segmenata u P_{max} distributivnog konzuma
— P_{max}, P_{min}, P_{sred} i participaciju elemenata energetskog regmenta u P_{max} energetskog segmenta
— P_{max}, P_{min}, P_{sred} za svaku transformatorsku stanicu.

Za svaku od navedenih grupa i energetskih segmenata moguće je u detaljnom ispisu dobiti podatke o

prosječnim satnim opterećenjima u toku mjeseca s istaknutim dnevnim karakterističnim vrijednostima (P_{max}, P_{min} s vremenom nastupanja, te P_{sred}).

U mjesečnom energetskom izvještaju daju se podaci karakterističnih vrijednosti energetske analize za svaku od navedenih grupa i energetskih segmenata (P_{max}, P_{min} s danom i vremenom nastupanja i P_{sred}), kao i karakteristične vrijednosti energetske analize za prom. dan (1. srijeda poslije 15. u mjesecu) Na osnovi raspoloživih podataka moguće je dobiti dijagrame kretanja dnevnih maksimuma u mjesecu, kao i dnevne dijagrame satnih opterećenja za bilo koji dan u mjesecu.

Na slici 2. prikazana je izlazna lista karakterističnih vrijednosti energetske analize ukupnog elektroenergetskog konzuma Elektroprivrede Zagreb za listopad 1983. godine.

KONBINACIJA ELEMENATA JE OD 1.10.1983. DO 31.10.1983. GODINE

KARAKTERISTIČNE VRIJEDNOSTI :

MIN.	337.70	PONEDJELJAK	17.10.1983.	U	04.00 SATI
SRED	523.76				
MAX.	731.60	SRIJEDA	26.10.1983.	U	20.15 SATI

UDJELI ELEMENATA U MAKSIMALNOJ SNAZI

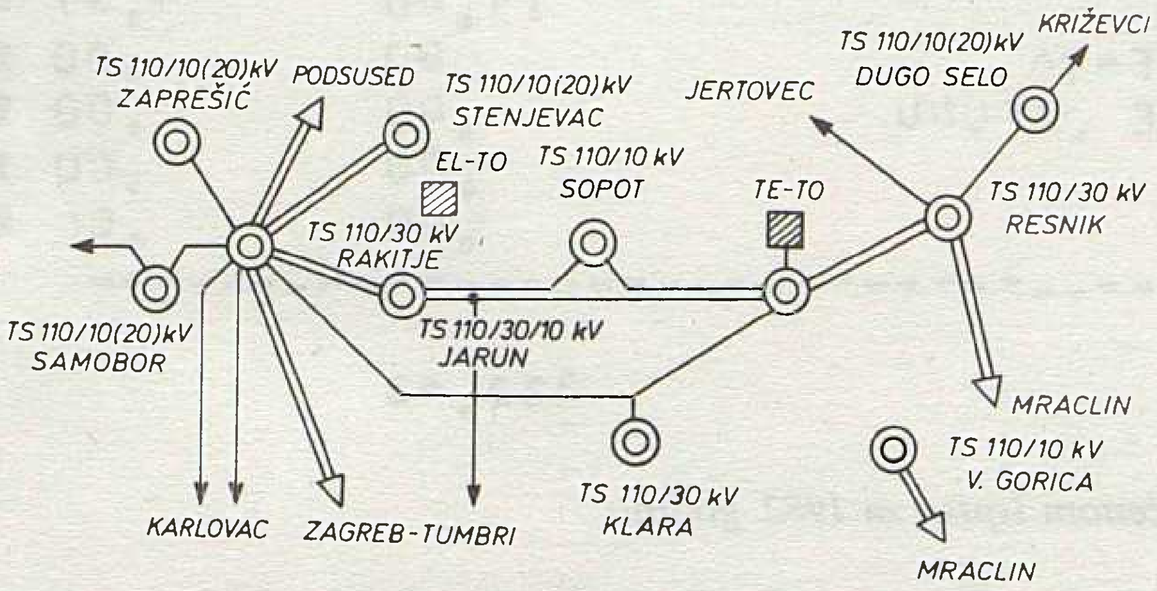
UKUPNO	(1)	665.85	91.01 %
UKUPNO	(2)	40.70	5.56 %
UKUPNO	(3)	25.05	3.42 %
UKUPNO	(4)	731.60	

Slika 2. Izlazna lista karakterističnih vrijednosti

Sve što je navedeno za mjesečne energetske analize moguće je primijeniti i za godišnje energetske analize, s napomenom da se opseg izlazih rezultata može odrediti prema potrebama korisnika.

5. PRIMJER KORIŠTENJA SISTEMA ZA ENERGETSKU ANALIZU

Odabrani segment elektroenergetskog konzuma obuhvaća sve transformatorske stanice 110/x kV na širem području Zagreba i EL-TO vezanu na distributivnu mrežu Zagreba (sl. 3). Vremenski interval 1. 7-31. 10 za 1982. i 1983. godinu odabran je proizvoljno.



Slika 3. Shema mreže 110 kV na području Zagreba

Karakteristične vrijednosti energetske analize s participacijom pojedinih transformatorskih stanica u maksimalnom opterećenju razmatranog područja i zadanog vremenskog intervala u 1982. god. prikazane su kao primjer izlazne liste u skraćenom ispisu na slici 4.

Budući da su raspoloživi podaci o satnim prosječnim opterećenjima za svaki dan odabranog vremenskog intervala promatraju se podaci za 1982. i 1983. godinu prema zadanim kriterijima.

Na slikama 5. i 6. prikazani su dijagrami kretanja dnevnih maksimuma opterećenja za rujan i listopad 1982. i 1983. godine

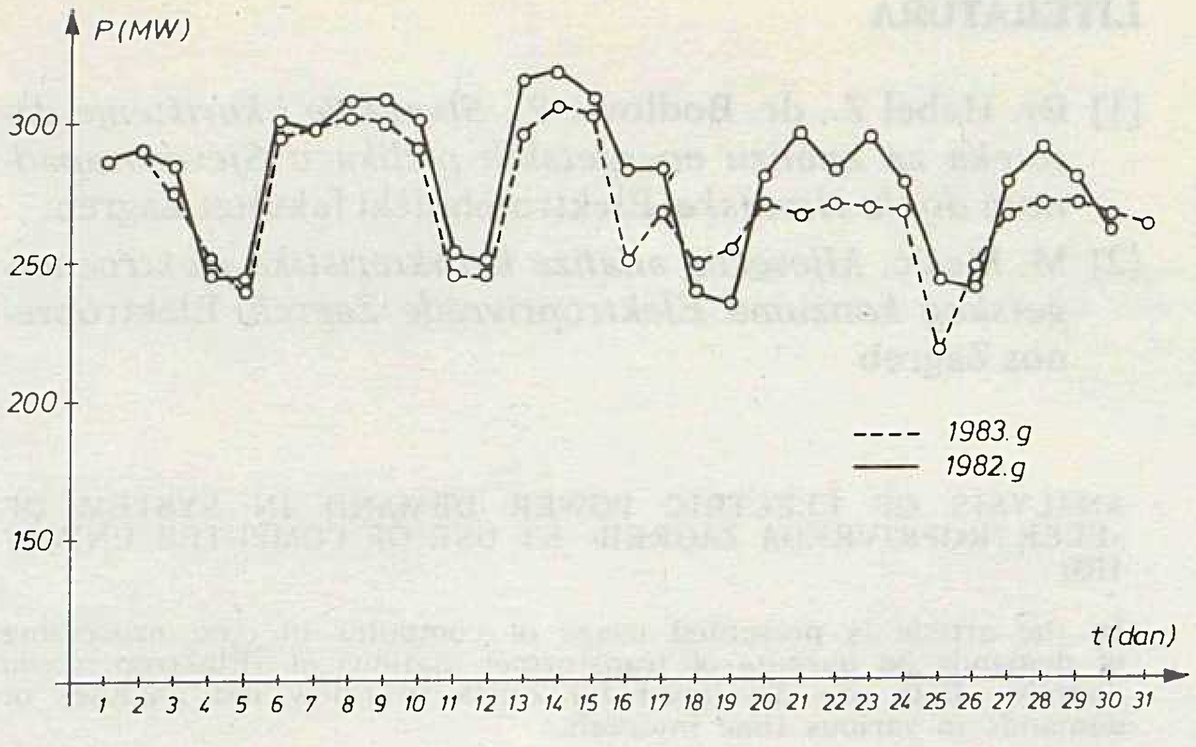
Dijagram kretanja dnevnih maksimuma za rujan 1982. i 1983 godine pokazuje približno slično kretanje dnevnih maksimuma u prvoj polovici mjeseca. U drugoj polovici rujna elektroenergetski konzum reduciran je svakog dana za približno trećinu u trajanju od 14 do 23 sata. Iz dijagrama se može uočiti razlika prema istom razdoblju 1982. godine kada konzum nije bio reduciran.

Dijagram za listopad pokazuje približno slično kretanje dnevnih maksimuma u 1982. i 1983. godini, s napomenom da je konzum u listopadu 1983. godine bio također reduciran.

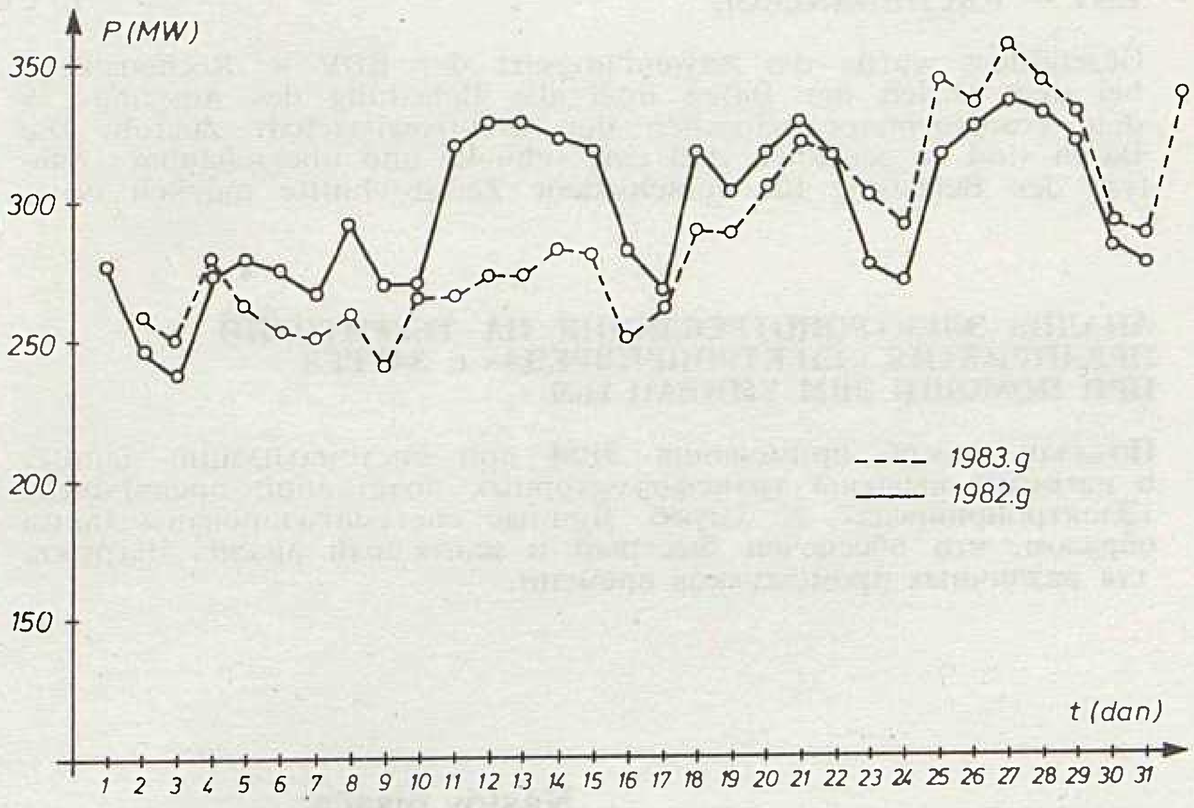
Pri tome treba napomenuti da je vrijeme redukcije u drugoj polovini listopada bilo od 14 do 20 sati.

```
LINEARNA KOMBINACIJA ELEMENATA  ZAGREB-MAKPO SUMA

+    1.00 *(ZAGPFB   ( 1) + ZAGREB   ( 2) )
+    1.00 *(ZAGPFB   ( 4) + ZAGREB   ( 5) + ZAGREB   ( 6) + ZAGREB   ( 7) )

+    1.00 *(ZAGREB   ( 9) )
+    1.00 *(ZAGPFB   (11) + ZAGREB   (12) )
+    1.00 *(ZAGPFB   (14) + ZAGREB   (15) + ZAGREB   (16) + ZAGREB   (17) )

+   -1.00 *(ZAGREB   ( 3) )
+   -1.00 *(ZAGPFB   ( 8) + ZAGREB   (10) )
+   -1.00 *(ZAGPFB   (13) )

KOMBINACIJA ELEMENATA JE OD  1.7 .1982. DO 31.10.1982. GODINE


KARAKTERISTICNE VRIJEDNOSTI :

MIN.      93,41  NEDJELJA      22. 8.1982.  U  05.30 SATI
SRED     202,39
MAX.     332,43  SRIJEDA       27.10.1982.  U  19.15 SATI


UDJELI ELEMENATA U MAKSIMALNOJ SNAZI

ZAGREB   ( 1)   11011  RESNIK                          82,60   24,85 %
ZAGREB   ( 2)   11021  TE-TO ZGB                       75,60   22,74 %
ZAGREB   ( 4)   11101  J. ZGB PRIMA TE-TO              19,60    5,90 %
ZAGREB   ( 5)   11031  KLAPA                            9,50    2,86 %
ZAGREB   ( 6)   11051  JARUN I                         43,30   13,02 %
ZAGREB   ( 7)   11061  JARUN II                        24,02    7,23 %
ZAGREB   ( 9)   11121  J. ZGB I PRIMA OD JARUNA           ,00      ,00 %
ZAGREB   (11)   11291  ELTOII DAJE                       ,00      ,00 %
ZAGREB   (12)   11071  ELTOZG DAJE                      7,12    2,14 %
ZAGREB   (14)   11041  RAKITJE                         27,80    8,36 %
ZAGREB   (15)   11351  RAKITJE-DV ZAGREB ZAPAD         19,48    5,86 %
ZAGREB   (16)   11341  SAMOBOR                          8,80    2,65 %
ZAGREB   (17)   11131  V.GORICA                        14,60    4,39 %
ZAGREB   ( 3)   11092  J. ZGB DAJE TE-TO                 ,00      ,00 %
ZAGREB   ( 8)   11112  J. ZGB I, DAJE JARUNU              ,00      ,00 %
ZAGREB   (10)   11302  ELTOII PRIMA                      ,00      ,00 %
ZAGREB   (13)   11082  ELTOZG PRIMA                      ,00      ,00 %
-------------------------------------------------------------------------

         ( 0)                                          332,43
```

Slika 4. Izlazna lista u skraćenom ispisu za 1982. godinu



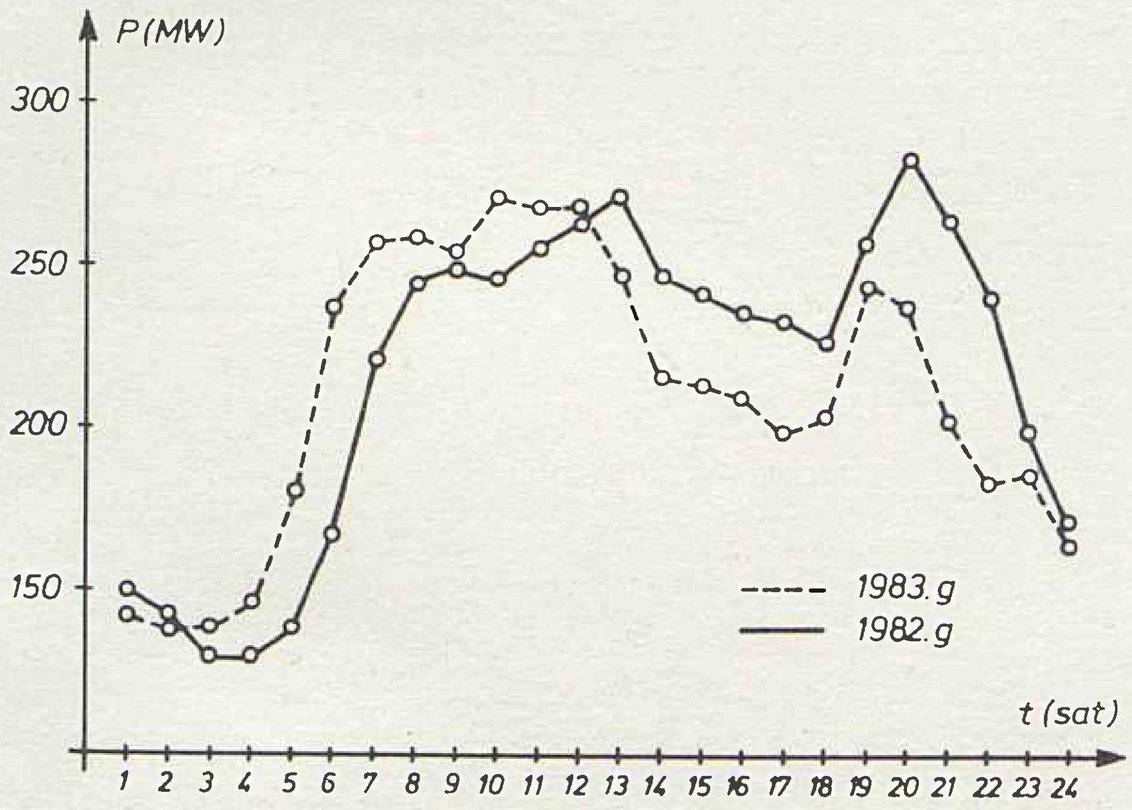
Slika 5. Dijagram kretanja dnevnih maksimuma za rujan



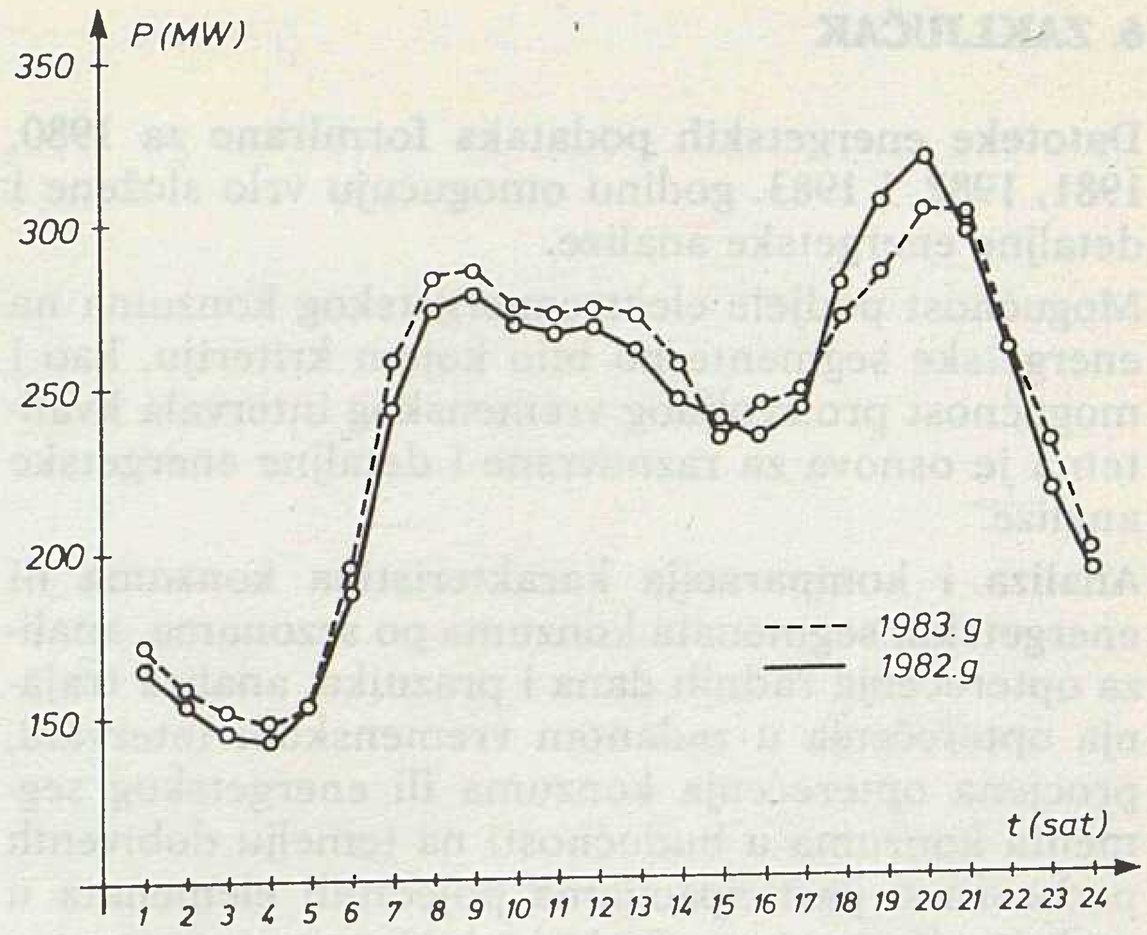
Slika 6. Dijagram kretanja dnevnih maksimuma za listopad

U vrijeme reduciranja konzuma dnevni maksimumi opterećenja nastupali su ponekad i u prijepodnevnim satima.

Na slikama 7. i 8. prikazani su dnevni dijagrami opterećenja za karakteristične srijede rujna i listopada u 1982. i 1983. godini.



Slika 7. Dnevni dijagram opterećenja karakteristine srijede u rujnu



Slika 8. Dnevni dijagram opterećenja karakteristične srijede listopadu

Dnevni dijagram opterećenja za karakterističnu srijedu u rujnu 1982. i 1983. godine pokazuje približno slično ponašanje konzuma u intervalu 1 — 14 sati, dok je za interval 14 — 23 sati vidljiv utjecaj redukcije u 1983. godini.

Dnevni dijagram opterećenja za karakterističnu srijedu u listopadu 1982. i 1983. godine pokazuje slične karakteristike konzuma kao da nema redukcije.

Dnevni dijagram opterećenja za vrijeme reduciranja konzuma pokazuje specifično ponašanje konzuma: porast opterećenja u prijepodnevnim satima, neubičajeno vrijeme nastupanja dnevnog maksimuma, mali porast opterećenja nakon ponovnog uključivanja reduciranog dijela konzuma.

Kod eventualne procjene efekata reduciranja konzuma potrebno je uvažiti očekivani porast opterećenja u 1983. godini, kao i utjecaj temperature.

Potrošnja električne energije razmatranog energetskog segmenta (Zagreb — Makro Suma) može se procijeniti na temelju podataka o mjesečnim srednjim snagama i pripadajućim mjesečnim energijama za odabrani vremenski interval (sl. 9).

		VII	VIII	IX	X
P_s (MW)	1982. god.	183,02	180,62	203,05	209,75
W (MWh)	1982. god.	136 166,88	134 181,28	146 196,0	156 054,0
P_s (MW)	1983. god.	186,05	189,93	204,19	221,70
W (MWh)	1983. god.	138 421,2	141 307,92	147 016,8	159 624,0
ΔP		1,6 %	5,1 %	0,6 %	5,7 %

Slika 9. Tablica karakterističnih vrijednosti

Osim prikazanih komparacija karakteristika elektroenergetskog konzuma za zadani energetski segment i zadani vremenski interval moguće su i komparacije drugog tipa prema zadanim uvjetima i kriterijima.

Energija, god. 33 (1984) 2, 115 – 120

6. ZAKLJUČAK

Datoteke energetskih podataka formirane za 1980, 1981, 1982. i 1983. godinu omogućuju vrlo složene i detaljne energetske analize.

Mogućnost podjele elektroenergetskog konzuma na energetske segmente po bilo kojem kriteriju, kao i mogućnost proizvoljnog vremenskog intervala kvalitetna je osnova za raznovrsne i detaljne energetske analize.

Analiza i komparacija karakteristika konzuma ili energetskih segmenata konzuma po sezonama, analiza opterećenja radnih dana i praznika, analiza trajanja opterećenja u zadanom vremenskom intervalu, procjena opterećenja konzuma ili energetskog segmenta konzuma u budućnosti na temelju dobivenih podataka o participacijama pojedinih elemenata u maksimalnom opterećenju i očekivanog porasta potrošnje električne energije (jednostavna prognoza potrošnje) samo su dio mogućnosti detaljnih energetskih analiza.

Raspoložive datoteke podataka sadrže i kvalitetne statističke podatke na osnovi kojih se može razmatrati i pouzdanost elemenata prijenosne mreže (podaci o broju i trajanju kvarova),

Prilikom svakomjesečnog ažuriranja datoteka i izvođenja energetskih analiza jednostavnog tipa procjenom kvalitete i točnosti podataka dobija se indirektno i uvid o ispravnosti mjerne opreme (maksiprinti) u pojedinim transformatorskim stanicama.

Proširenje energetskih analiza na jalove snage predstavlja također jednu od budućih primjena, iako je broj postojećih mjernih mjesta jalove snage u transformatorskim stanicama prilično mali.

Iskustva stečena prilikom razvijanja prikazanog sistema energetskih analiza i sugestije potencijalnih korisnika izlaznih rezultata poslužit će kao solidna osnova u razvijanju detaljnih i složenih energetskih analiza elektroenergetskog konzuma Elektroprivrede Zagreb pomoću elektroničkog računala.

LITERATURA

[1] Dr. Hebel Z., dr. Bodlović P., *Stvaranje i korištenje datoteka za analizu energetskih prilika u Sjeverozapadnom dijelu Hrvatske,* Elektrotehnički fakultet Zagreb.

[2] M. Mesić, *Mjesečna analiza karakteristika elektroenergetskog konzuma Elektroprivrede Zagreb,* Elektroprenos Zagreb

ANALYSIS OF ELECTRIC POWER DEMAND IN SYSTEM OF »ELEKTROPRIVREDA ZAGREB« BY USE OF COMPUTER UNIVAC 1100

In the article is presented usage of computer in data processing of demands on outputs of transformer stations of »Elektroprivreda Zagreb«. Data are developed for quick overview ind analyses of demands in various time intervals.

ANALYSE DES ELEKTROMAGNETISCHEN KONSUMS AUF DEM GEBIET DER ELEKTROWIRTSCHAFT ZAGREB MIT HILFE DER EDV — RECHENANLAGE

Geschildert wurde die Anwendungsart der EDV — Rechenanlage bei dem Orden der Daten über die Belastung des Ausgangs in den Transformator häuschen der Elektrowirtschaft Zagreb. Die Daten sind so geordnet, daß eine schnelle und überschaubare Analyse der Belastung für verschiedene Zeitabschnitte möglich ist.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ПРЕДПРИЯТИЯ »ЭЛЕКТРОПРИВРЕДА« г. ЗАГРЕБ ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ УНИВАЦ 1100

Показан способ применения ЭВМ при систематизации данных о нагрузке выводов трансформаторных подстанций предприятия »Электроприврела«, г. Загреб. Данные систематизированы таким образом, что обеспечен быстрый и наглядный анализ нагрузок для различных промежутков времени.

Naslov pisaca:

Dr Zdravko Hebel, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet,
41000 Zagreb, Unska 17
Miroslav Mesić, dipl. ing.
Elektroprenos, 41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983-11-20

BITNE OPĆE ZNAČAJKE LOKACIJSKE DOZVOLE ZA NUKLEARNE ELEKTRANE

mr Damir Subašić, Zagreb

UDK 621.039.5

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Dan je pregled uloge lokacijske dozvole u zakonski propisanom postupku za izdavanje svih dozvola potrebnih za izgradnju i rad nuklearnih elektrana. Obuhvaćeni su propisani postupci i praksa nekih zemalja s razvijenom nuklearnom energetikom. Analiza upućuje na opće i bitne značajke koje lokacijska dozvola ima, bez obzira na specifičnosti zemlje u kojoj se izdaje.

Ključne riječi: nuklearna elektrana, pravna regulativa, odobrenje lokacije.

1. UVOD

Da bi se moglo raspravljati o lokacijskoj dozvoli za nuklearne elektrane koje će se kod nas graditi, potrebno je najprije odgovoriti na osnovno pitanje: »Što je to uopće lokacijska dozvola?« Tek pošto se postigne suglasnost u odgovoru na to i druga pridružena pitanja, može se započeti rasprava o našim propisima koji reguliraju izdavanje lokacijske dozvole. Treba odmah napomenuti da je takva rasprava neizbježna i nužna u prvom redu zbog toga što je naša regulativa iz ovog područja tek u razvoju i zbog toga nedovoljna i neprecizna. Kako ona zadovoljava tek najosnovnije potrebe, to su mam još uvijek korisna iskustva drugih. Zbog toga je potrebno prije nego što se utvrdi općenit odgovor na navedeno pitanje sagledati i analizirati lokacijsku dozvolu u praksi drugih zemalja.

Sve zemlje koje grade nuklearne elektrane možemo po njihovoj praksi u vezi s lokacijskom dozvolom podijeliti u tri grupe (1). Prvu čine zemlje u kojima lokacijska dozvola za nuklearne elektrane kao posebni dokument uopće ne postoji. Treba odmah reći da je to najbrojnija grupa zemalja. Drugu grupu čine zemlje u kojim apostoji lokacijska dozvola kao akt upravnog tijela. Treću grupu čine zemlje u kojima lokacijska dozvola formalno ne postoji, ali se ona ipak neformalno u praksi javlja, jer postoji mogućnost da se investitor u ranoj fazi projekta nuklearne elektrane obrati upravnom tijelu i zatraži mišljenje o predloženoj lokaciji (SAD) (2). Takvo mišljenje i u njegovu formiranju doneseni zaključci pomažu investitoru da pripremi kvalitetnije podloge uz zahtjev za građevinsku dozvolu, iako mišljenje i zaključci nisu formalni i obavezivajući za upravno tijelo.

U zemljama u kojima postoji lokacijska dozvola njezina uloga i forma ovise bitno o zakonodavstvu i administrativnom uređenju te zemlje. Zbog toga svako pojednostavljeno interpretiranje ili prihvaćenje prakse neke zemlje nije moguće. Lokacijska dozvola, tamo gdje postoji, ne može se promatrati izdvojeno, već šire, to jest u njenu pravno-administrativnom sistemu. Kako takvo široko promatranje može biti vrlo komplicirano i nepregledni, moramo se ograničiti samo na dio toga sistema. Zbog toga treba lokacijsku dozvolu promatrati barem unutar cjeline procesa suradnje upravnog tijela i investitora tijekom trajanja pripreme i izgradnje nuklearne elektrane. Samo u takvom sagledavanju moguće je iz nečije prakse izvući opće karakteristike tog dokumenta. Drugi važan razlog što lokacijsku dozvolu treba proučavati u njezinu prirodnom redoslijedu jest u činjenici da je mnoge zemlje nemaju. Da bismo se koristili i praksom tih zemalja, treba vidjeti što je u takvoj organiziranosti upravnog postupka zamjenjuje. Dakako da je ovdje u prvom redu od interesa samo lokacijska dozvola, pa i u takvom sagledavanju valja biti umjeren da se ne bi izgubila preglednost i jasnoća. Zbog toga ovdje uopće neće biti pokušaja ulaska u pravno administrativni sistem neke zemlje. Definirajmo kao prvo cjelinu procesa suradnje upravnog tijela i investitora u pripremi i izgradnji nuklearnih elektrana.

2. SISTEM IZDAVANJA DOZVOLA ZA NUKLEARNE ELEKTRANE

Da bismo mogli uočiti glavne aktivnosti u procesu ishođenja i izdavanja dozvola, u nastavku će biti u najkraćem mogućem obliku prikazani glavni koraci tog procesa za nekoliko zemalja. O sistemu izdavanja dozvola napisano je mnogo materijala, pa se za detaljniju analizu mogu koristiti navedene reference.

2.1. SR Njemačka

Proces ishođenja dozvola za PWR elektranu u SR Njemačkoj razbijen je u pet glavnih dijelova (1,2). Ishođenjem prve parcijalne dozvole ovlašćuje se sljedeće:

1. lokacija i osnovna koncepcija nuklearne elektrane,
2. radovi na temeljima i izolaciji od podzemne vode,
3. izgradnja reaktorske zgrade do određenog nivoa,
4. izgradnja pomoćne zgrade do određenog nivoa,
5. izgradnja postolja za kontejnment,
6. podizanje prvih pet zona kontejnmenta.

Ishođenjem drugih parcijalnih četiri dozvola ovlašćuju se druge aktivnosti, i to redom i ukratko kako slijedi. Drugom parcijalnom dozvolom dovršenje započetih i izgradnja nezapočetih zgrada i sistema, uglavnom građevinski poslovi. Trećom parcijalnom dozvolom ovlašćuje se ugradnja primarnih i sekundarnih sistema te sistema kranova i dizalica, uglavnom montaža komponenata velikih sistema u izgrađene zgrade. Četvrtom parcijalnom dozvolom ovlašćuje se ugradnja zaštitnih i kontrolnih sistema, testiranje i ulaganje goriva. Peta parcijalna dozvola ovlašćuje testiranja na različitim snagama i probni pogon do određenog odgora (burn-up). Kao što se vidi, dozvole su formirane po stručnim osnovama (građevinarstvo, montaža, testiranje bez i na snazi). Dakako da su ovdje nabrojane samo glavne dozvole, a nikako sve.

2.2. Japan

Izdavanje dozvola za nuklearne elektrane u Japanu (1,2) počinje zahtjevom investitora za izdavanjem dozvole za osnivanje (utemeljenje). Ta dozvola sadrži osnovne suglasnosti za sve stadije projekta nuklearne elektrane, uključujući lokaciju, izgradnju, probni pogon i pogon. Pošto pribavi takvu dozvolu za utemeljenje, investitor mora ishoditi ovlaštenje za svaki pojedini stadij projekta, kako po toku projekta postaje potrebno. Dakle, u Japanu se najprije ishodi jedna sveopća načelna dozvola, a onda se za svaku pojedinu fazu izdaje posebna dozvola.

2.3. Francuska

I u Francuskoj je potrebno ishoditi ovlaštenje za osnivanje (utvrđenje) nuklearne elektrane (1,2). Za razliku od Japana ovdje se radi o dokumentu koji je baziran na nekoliko parcijalnih dokumenata koji su doneseni u iscrpnim konzultacijama. Jednom izdano ovlaštenje znači prestanak daljnjih konzltacija s npr. javnošću, administrativnim sistemom, upravnim tijelom nadležnim za zdravstvo itd. Dakle, na neki način obratno od Japana.

2.4. Engleska

U Engleskoj prvi i glavni korak u procesu ishođenja dozvola za nuklearne elektrane jest lokacijska dozvola (1,2). Izdaje se investitoru u ranoj fazi projekta i sadrži samo vrlo šturi opis lokacije i elektrane koju invetitor namjerava graditi. U lokacijskim uvjetima sadrži također obavezu da se betoniranje temelja (početak građenja) ne može započeti bez posebnog ovlaštenja, za koje je potreban, kao podloga uz zahtjev, predgradbeni sigurnosni izvještaj. Tek kada je predgradbeni sigurnosni izvještaj pregledan i prihvaćen, lokacijska dozvola dobiva još jedan dodatak u kojem se definiraju uvjeti izgradnje elektrane i uvjeti koji se odnose na probni rad nuklearne elektrane. Dokle, imamo tri glavna koraka u procesu ishođenja dozvola vezana uz tri faze odobrenja: 1. za lokaciju, 2. za izgradnju i probni pogon i 3. za rad nuklearne elektrane.

2.5. NE Krško

Može izgledati neprikladnim da u slijedu nabrajanja nakon nekih zemalja govorimo o praksi sa NE Krško, ali zbog našeg uređenja nije ni moguće govoriti o jedinstvenim glavnim koracima u procesu ishođenja dozvole za nuklearne elektrane. Zbog toga što se NE Krško nalazi u SR Sloveniji, ovo je zapravo praksa te republike, uz napomenu da je takva bila u vremenu u kojem su se glavni koraci definirali. Naime, treba imati na umu važnu činjenicu da su se neki naši propisi donosili za vrijeme izgradnje NE Krško. Zapravo, prava istina je da je izgradnja NE Krško isforsirala donošenje tih propisa. Bez obzira na ovu specifičnost, kao i na činjenicu da je građevinska dozvola izdana parcijalno po nostrificiranim paketima projektne dokumentacije (3), ipak je u ovakvom pregledu nužno uključiti naša prva iskustva. Po njima u prijektu NE Krško razlikujemo sljedeće dozvole: lokacijsku (4), čitav niz građevinskih (3), za ulagnje goriva (5), za prvu kritičnost (6) za sinhronizaciju (7) i niz dozvola za rad na određenim snagama (8). Još bi trebala biti ishođena dozvola za rad. Ako ih grupiramo, imamo u stvari četiri glavna koraka, odnosno četiri glavne dozvole, i to lokacijsku, građevinsku, za probni rad i za rad. Inače vidimo da je proces razbijen na mnogo parcijalnih aktivnosti, što olakšava rad i smanjuje rizik pogreške, a upravno tijelo kontinuirano drži zaokupiranim problemom, to jest nadzorom.

2.6. MAAE

Da bi pomogla zemljama koje su na početku izgradnje elektrana, Međunarodna agencija za atomsku energiju (MAAE) izdaje niz publikacja u kojima daje upute za rješavanje najčešćih problema uvođenja korištenja nuklearne energije. U nekim od tih publikacija daju se i upute za stvaranje procesa za ishođenje dozvola. Tako su kao glavni koraci procesa ishođenja dozvola utvrđeni činovi izdavanja ovlaštenja za lociranje, izgradnju, probni rad, rad i raspremanje nuklearne elektrane (9). Ovih pet glavnih koraka definirano je na osnovu sagledavanja prakse svih zemalja. Važno je naglasiti da to nisu koraci uvjetovani izme-

đu ostalog i pravno-administrtivnim sistemom, nego su oni definirani isključivo na osnovi zahtjeva struke. Zbog toga ovako definiranih pet glavnih koraka ima veliku specifičnu težinu te predstavlja zapravo pravu cjelinu u kojoj treba promatrati lokacijsku dozvolu.

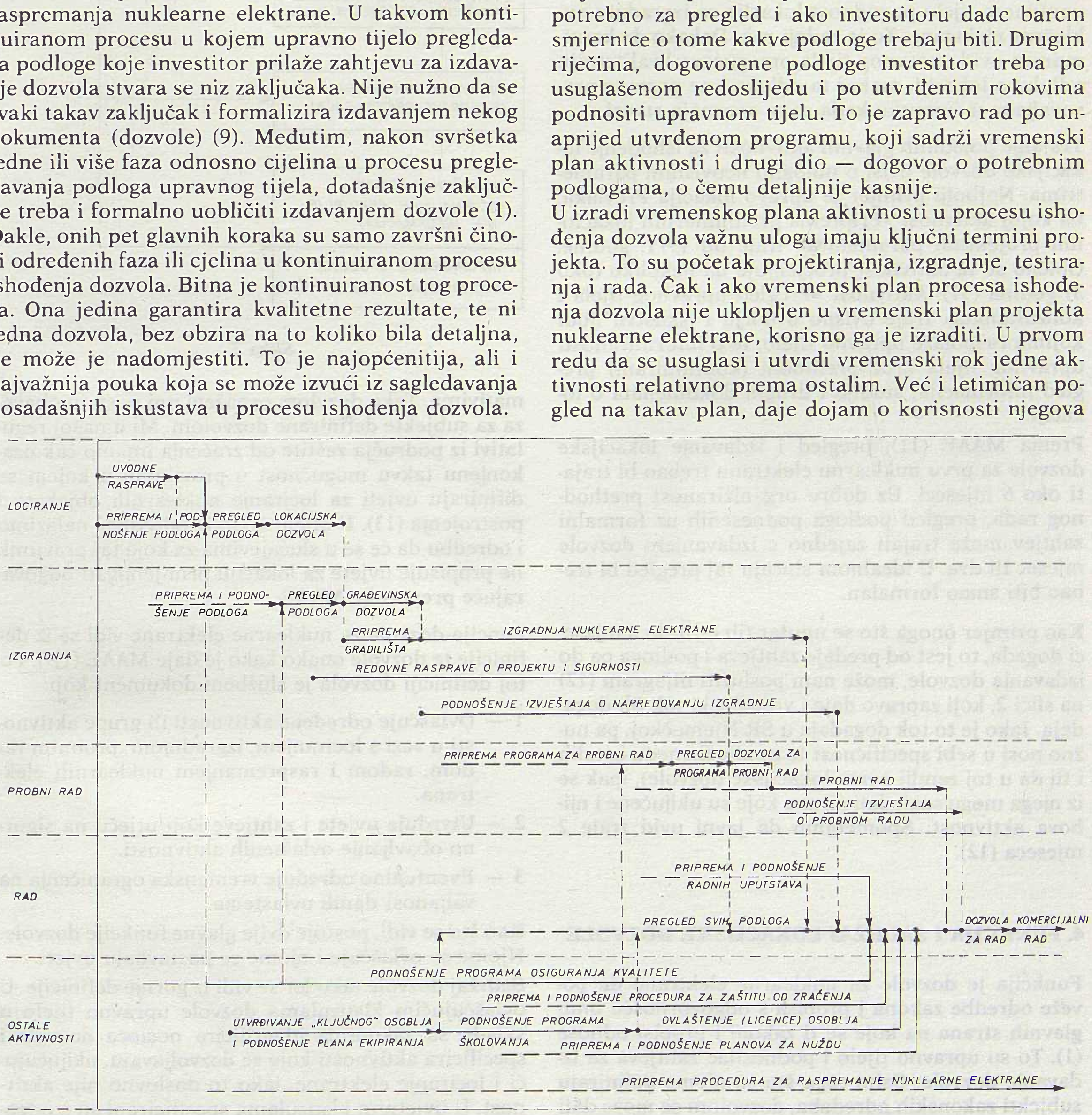
Ovdje treba istaći još jednu važnu činjenicu koja samo donekle proistječe iz savjetodavne uloge MAAE, a mnogo više predstavlja pravi stav prema procesu ishođenja dozvola. Naime, MAAE ne nameće svojih pet glavnih koraka, već se zalaže da te korake svaka zemlja definira prema okolnostima te zemlje. Međutim, u gotovo svim preporukama iz ovog područja (1, 9, 10) MAAE naglašava i upozorava da je aktivnost upravnog tijela i njegova suradnja s investitorom **kontinuirani proces** od selekcije makrolokacija pa do raspremanja nuklearne elektrane. U takvom kontinuiranom procesu u kojem upravno tijelo pregledava podloge koje investitor prilaže zahtjevu za izdavanje dozvola stvara se niz zaključaka. Nije nužno da se svaki takav zaključak i formalizira izdavanjem nekog dokumenta (dozvole) (9). Međutim, nakon svršetka jedne ili više faza odnosno cijelina u procesu pregledavanja podloga upravnog tijela, dotadašnje zaključke treba i formalno uobličiti izdavanjem dozvole (1). Dakle, onih pet glavnih koraka su samo završni činovi određenih faza ili cjelina u kontinuiranom procesu ishođenja dozvola. Bitna je kontinuiranost tog procesa. Ona jedina garantira kvalitetne rezultate, te ni jedna dozvola, bez obzira na to koliko bila detaljna, ne može je nadomjestiti. To je najopćenitija, ali i najvažnija pouka koja se može izvući iz sagledavanja dosadašnjih iskustava u procesu ishođenja dozvola.

3. VREMENSKI PLAN GLAVNIH AKTIVNOSTI

Da bi kontinuirani proces pregleda i ocjene potrebnih podloga mogao teći bez zastoja, a time i zakašnjenja, potrebno je, kao prvo, da investitor podnosi adekvatne kvalitetne podloge. Čak i onda ako ima takve podloge, upravno tijelo može zapasti u probleme, te može zatrebati pomoć u obliku dodatnih domaćih ili vanjskih ekspertiza ili u nekom drugom obliku. U svakom slučaju može se vrlo lako dogoditi da pregled i ocjena dobrih podloga traju duže nego što se to na početku mislilo. Ako se pokaže da podloge nisu adekvatne, produženje pregleda postaje vrlo vrlo dugo.

Ovakva neželjena produženja procesa moguće je izbjeći ako upravno tijelo realno procijeni vrijeme potrebno za pregled i ako investitoru dade barem smjernice o tome kakve podloge trebaju biti. Drugim riječima, dogovorene podloge investitor treba po usuglašenom redoslijedu i po utvrđenim rokovima podnositi upravnom tijelu. To je zapravo rad po unaprijed utvrđenom programu, koji sadrži vremenski plan aktivnosti i drugi dio — dogovor o potrebnim podlogama, o čemu detaljnije kasnije.

U izradi vremenskog plana aktivnosti u procesu ishođenja dozvola važnu ulogu imaju ključni termini projekta. To su početak projektiranja, izgradnje, testiranja i rada. Čak i ako vremenski plan procesa ishođenja dozvola nije uklopljen u vremenski plan projekta nuklearne elektrane, korisno ga je izraditi. U prvom redu da se usuglasi i utvrdi vremenski rok jedne aktivnosti relativno prema ostalim. Već i letimičan pogled na takav plan, daje dojam o korisnosti njegova



Slika 1.

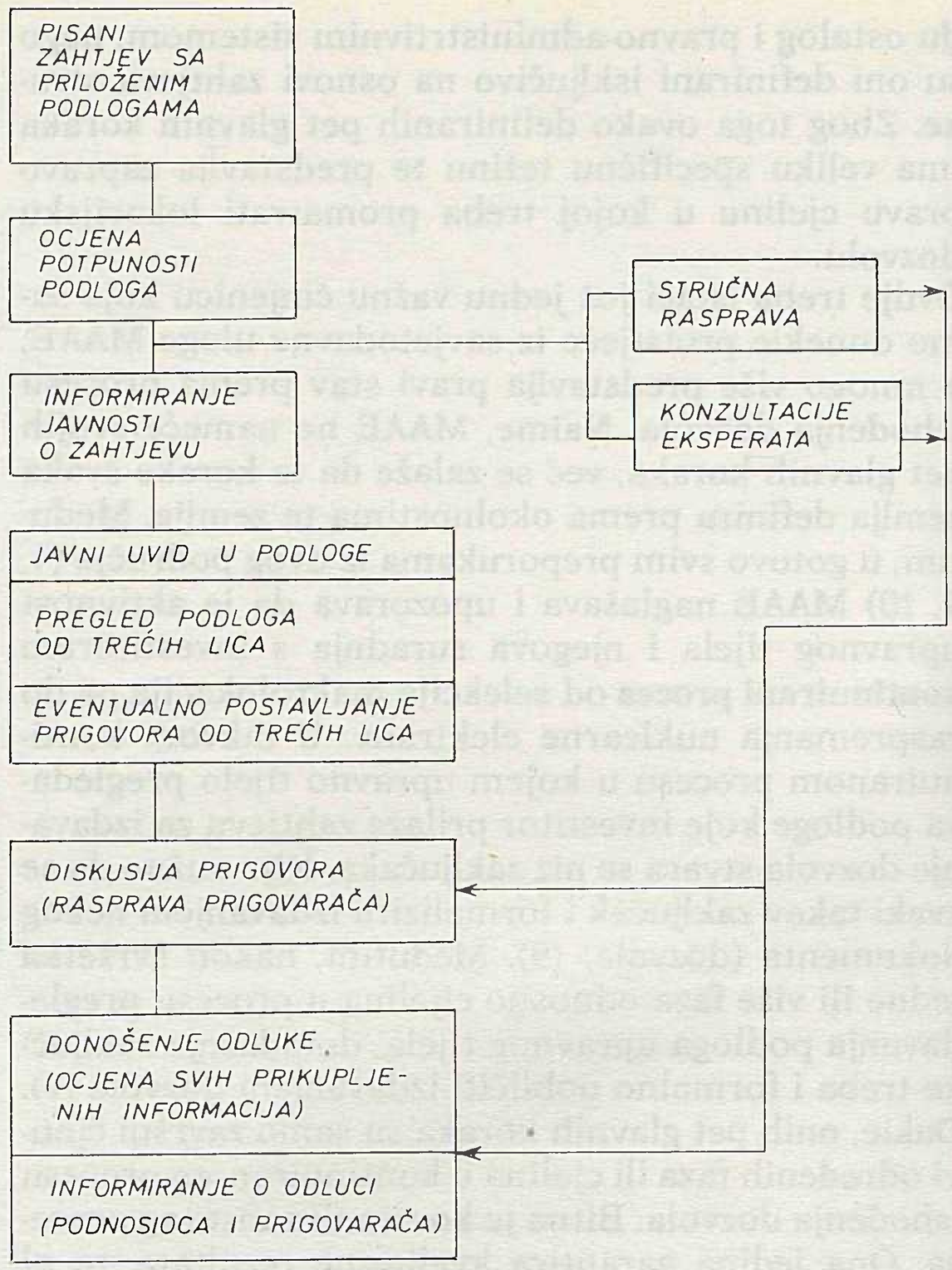
postojanja i o pomoći koji takav plan predstavlja i upravnom tijelu i investitoru. Jedan takav plan prikazan je na slici 1.

Kako je ovdje od interesa u prvom redu lokacijska dozvola, treba utvrditi vremenski plan aktivnosti za tu dozvolu relativno prema svim drugim aktivnostima. Odmah treba reći da je u primjeru plana danom na slici 1. lokacijska dozvola odnosno odobrenje nacrtano najviše moguće udesno, što znači izdavanje lokacijske dozvole u najkasnijem mogućem trenutku, to jest neposredno uoči početak pripreme gradilišta. Sve aktivnosti pod »Lociranje« mogu se, a zbog mnogih se razloga i trebaju odvijati ranije. I prema MAAE (10), bez obzira na to postoji li dozvola za lokaciju ili ne, najkasnije prije izdavanja građevinske dozvole investitor bi trebao biti zatražen da dokaže upravnom tijelu pogodnost lokacije za izgradnju nuklearne elektrane. To je zadnji rok. Dakako da kontinuirani uvid upravnog tijela omogućava kvalitetniju odluku o lokaciji, makar ta odluka i ne postane pravovaljana u trenutku kada se ta spoznaja stvori.

Trajanje pojedinih glavnih aktivnosti za ishođenje lokacijske dozvole ovisi o mnogim neovisnim parametrima. Najbolji primjer je upravo lokacija Prevlaka, na kojoj aktivnost »Priprema preliminarnih lokacionih projektnih parametara« traje od 1971. godine. Obično se ta aktivnost procjenjuje na nekoliko (oko 3) godina (11). Aktivnost »Pregled upravnog tijela i konzultanata« traje ovisno o borju i iskustvu ljudi kojima raspolaže upravno tijelo, te o informiranosti upravnog tijela kroz prethodni (kontinuirani) pregled informacija, studija i drugih dokumenata o lokaciji.

Prema MAAE (11), pregled i izdavanje lokacijske dozvole za prvu nuklearnu elektranu trebao bi trajati oko 6 mjeseci. Uz dobru organiziranost prethodnog rada, pregled podloga podnesenih uz formalni zahtjev može trajati zajedno s izdavanjem dozvole mjesec ili dva. U idealnom slučaju taj pregled bi trebao biti smao formalan.

Kao primjer onoga što se unutar tih od 1 do 6 mjeseci događa, to jest od predaje zahtjeva i podloga pa do izdavanja dozvole, može nam poslužiti dijagram (12) na slici 2, koji zapravo daje i vremenski tok tih događaja. Iako je to tok događaja u SR Njemačkoj, pa nužno nosi u sebi specifičnost te zemlje (između ostalih i tu da u toj zemlji nema lokacijske dozvole), ipak se iz njega mogu sagledati strane koje su uključene i njihova aktivnost. Spomenimo da javni uvid traje 2 mjeseca (12).



Slika 2.

4. FUNKCIJA I SADRŽAJ LOKACIJSKE DOZVOLE

Funkcija je dozvole za nuklearne elektrane da poveže odredbe zakona i propisa s odgovornošću onih glavnih strana na koje se ti zakoni i propisi odnose (1). To su upravno tijelo i podnosilac zahtjeva za izdavanje dozvole. Osim toga što se njome definiraju subjekti zakonskih odredaba, dozvolom se može dati i obavezujuća snaga nekim uputama i tehničkim normativima. Tako dozvlom osnaženi oni postaju obaveza za subjekte definirane dozvolom. Mi u našoj regulativi iz područja zaštite od zračenja imamo čak ozakonjenu takvu mogućnost u pravilniku u kojem se difiniraju uvjeti za lociranje nuklearnih objekata i postrojenja (13). U dijelu »Ostale odredbe« nalazimo i odredbu da će se u slučajevima za koje taj pravilnik ne propisuje uvjete za lokaciju primjenjivati odgovarajuće preporuke MAAE.

Funcija dozvola za nuklearne elektrane vidi se iz definicije te dozvole onako kako je daje MAAE (1,9). Po toj definiciji dozvola je službeni dokument koji:

1 — Ovlašćuje određene aktivnosti ili grupe aktivnosti u vezi s lociranjem, izgradnjom, probnim radom, radom i raspremanjem nuklearnih elektrana.
2 — Utvrđuje uvjete i zahtjeve koji utječu na sigurno obavljanje ovlaštenih aktivnosti.
3 — Eventualno određuje vremenska ograničenja na valjanost danih ovlaštenja.

Kao što se vidi, postoje dvije glavne funkcije dozvole. Njome se ovlašćuje i njome se postavljaju uvjeti.

Sadržaj dozvole također se vidi iz gornje definicije. U ovlašćujućim klauzulama dozvole upravno tijelo u skladu sa zakonima identificira nosioca dozvole i specificira aktivnosti koje se dozvoljavaju, uključujući i lociranje elektrane, iako to doslovno nije aktivnost. U uvjetnim klauzulama specificirani su s odgovarajućim detaljima razni zahtjevi koji trebaju omo-

gućiti sigurnost u lociranju, izgradnji i radu te trebaju osigurati efektivnu kontrolu upravnog tijela nad obavljanjem ovlaštenih aktivnosti. Što se tiče sigurnostnih zahtjeva, oni uključuju važne aspekte nuklearne sigurnosti, kao što su projektni zahtjevi, zahtjevi zaštite od zračenja, zahtjevi za postupak u slučaju nužde, zahtjevi osiguranja kvalitete, radna ograničenja itd. Prema MAAE (1) postoje neki uvjeti koji se javljaju u svim dozvolama. To su oni uvjeti i zahtjevi koji osiguravaju efektivan nadzor upravnom tijelu. Između ostalih, tako svaka dozvola obavezuje nosioca da:

- osigura pristup predstavnicima upravnog tijela svojim ljudima, objektima i dokumentaciji
- stalno informira upravno tijelo
- ne premašuju dobivena ovlaštenja
- novelira, arhivira i čuva dokumentaciju
- obavlja aktivnosti u skladu s programom osiguranja kvalitete
- izvještava upravno tijelo o svim nenormalnim događajima.

Format dozvole veoma ovisi o sadržaju ovlaštenja i uvjeta, te o proceduri izdavanja. Zbog toga se nešto bitno općenito o formatu ne može ni reći. Format dozvole može u istom sistemu biti potpuno drukčiji. Naše vlastito iskustvo sa NE Krško to potvrđuje.

Sve što je dosada napisano o funkciji, sadržaju i formi, vrijedi općenito za sve dozvole. Što je posebno za lokacijsku dozvolu? Prema definiciji MAAE (1) lokacijska dozvola je odobrenje lokacije ili formalni pristanak upravnog tijela na prijedlog lokacije. Izdaje se onda kada upravno tijelo dođe do spoznaje o prihvatljivosti lokacije s aspekta nuklearne sigurnosti, i to pošto su pregledane i ocijenjene informacije o samoj lokaciji i preliminarne informacije o nuklearnoj elektrani i njezinu utjecaju na lokaciju (9). Posebnost lokacijske dozvole u sadržaju jest u tome što je ovlašćujućih klauzula malo ili ih nema, dok uvjetne klauzule dominiraju. Ako lokacijska dozvola sadrži i ovlaštenje za pripremu lokacije za izgradnju, onda sadrži obavezno i jasnu granicu između radova pripreme i početka izgradnje, za koje treba druga dozvola.

Treba naglasiti da je lokacijska dozvola ipak na stanovit način posebna. Kao prvo, mnoge zemlje je nemaju, pa iz toga slijedi i pitanje da li je ona uopće glavni korak — aktivnost u sistemu izdavanja dozvola. Takvo pitanje ne stoji npr. za građevinsku dozvolu, dozvolu za probni rad ili rad. Kao drugo, lokacijskom dozvolom obično se ne ovlašćuju nikakve aktivnosti na tlu ili objektima za razliku od drugih dozvola. Ona samo predstavlja suglasnost s prijedlogom da se sa aspekta nuklearne sigurnosti na nekoj lokaciji uopće može graditi nuklearna elektrana. U publikacijama MAAE (1) lokacijska dozvola se čak i naziva drukčije od ostalih. Za nju se upotrebljava izraz odobrenje (approval), a za druge izraz ovlaštenje (authorization).

5. PODLOGE ZA LOKACIJSKU DOZVOLU

Da bi upravno tijelo i investitor postigli dogovoreni cilj definiran u programu ishođenja dozvola za nuklearnu elektranu, potrebno je da investitor podnosi odgovarajuće podloge uz zahtjev za izdavanje dozvola. Naravno da je to prilaganje podloga samo jedno od zaokruživanja i grupiranja informacija koje upravno tijelo prima od investitora i da su to samo posebne točke u kontinuiranom toku informacija. Da bi se u takvom velikom toku informacija zadržala poželjna sistematičnost, potrebno je da se podnošenje informacija uredi, i to u sadržaju, formatu i po redoslijedu. Također je potrebno da se definiraju i kanali kojima će te informacije i podloge biti podnošene upravnom tijelu. Ako se svi ovi dogovori postignu unaprijed, onda je uklonjen niz glavnih ili najčešćih uzroka zakašnjenja u procesu ishođenja dozvola.

Sadržaj informacija ili podloga uz zahtjev za izdavanje neke dozvole ovisi o dozvoli koja se zahtijeva. Ovdje će biti samo ukratko spomenuti tipovi podloga koje se prilažu za neku od dozvola. To su informacije o lokaciji, o projektu, o osnovnom pristupu nuklearnoj sigurnosti, o sigurnosnim analizama, o organizaciji probnog i redovnog rada, o probnom radu, o radu, o zaštiti od zračenja i monitoringu, o kontroli i čuvanju radioaktivnog otpada, o planovima za nuždu, o osiguranju kvalitete, o fizičkoj zaštiti, o raspremanju nuklearne elektrane i još neke druge. Detaljniji sadržaj informacija može se naći u uputama MAAE (10). Neke zemlje zadale su vrlo detaljni sadržaj izvještaja o sigurnosnim analizama (14) ili kontrolne liste (checklist) obaveznog sadržaja tog izvještaja (15). Ove upute i liste čine konačan sadržaj podloga koje se obično, kako projekt napreduje, podnose u više uzastopnih verzija. Svaka sljedeća verzija sve više gubi preliminarni karakter prethodne i poprima sve više konačni karakter, te se tako postupno, kako projekt napreduje, zadovoljavaju spomenuti zadani sadržaji.

Sve već spomenute informacije mogu se klasificirati prema značaju za izdavanje dozvole, prema načinu pregleda i vremenu podnošenja na tri osnovne grupe podloga. To su osnovni dokumenti, dodatni dokumenti i referentni dokumenti. Osnovni dokumenti se predaju prvi i njihov pregled započinje prvi. Oni obično imaju zadan format i predaju se uz zahtjev za dozvolu. Jedan od najčešćih formata baznih dokumenata jest takozvani sigurnosni izvještaj. U većini zemalja to je i najvažnija podloga. Dodatni dokumenti se podnose naknadno, bilo po prethodnom dogovoru ili na zahtjev upravnog tijela postavljen za vrijeme pregleda osnovnih dokumenata. Oni obično predstavljaju razradu informacija iz osnovnog dokumenta, izvještaje o aktivnostima koje su u toku i slično. Referentni dokumenti se podnose u pravilu samo na zahtjev upravnog tijela i predstavljaju uglavnom informacije iz studija, analiza i izvještaja o istraživanju i razvoju iz područja primjene nuklearne energije.

Format je obično zadan samo za osnovne dokumente. Premda pridržavanje zadanog formata nije oba-

vezno, ipak je vrlo korisno i za investitora i za upravno tijelo. Ako ništa drugo, zadani format olakšava preglednost dokumenta i olakšava snalaženje i njegovo korištenje. Naime, treba imati na umu da je takav osnovni dokument često vrlo opsežan i sastoji se od nekoliko tisuća stranica. Lijep primjer zadanog formata predstavljaju upute za izradu osnovnog dokumenta (sigurnosnog izvještaja) u SAD (14). Druge zemlje također imaju ili tek razvijaju takve zadane formate, na primjer SR Njemačka (15).

Za lokacijsku dozvolu podloge trebaju, prema MAAE (10), sadržavati informacije o samoj lokaciji, i to primarno one informacije koje su važne s aspekta nuklearne sigurnosti. Zatim po važnosti slijede karakteristike lokacije koje mogu utjecati na projektiranje i rad nuklearne elektrane. Kao treće po važnosti, i to ne obavezno, podloge za lokacijsku dozvolu sadrže informacije o međudjelovanju nuklearne elektrane i okolice (environment), uključujući preliminarne postavke o radiološkom utjecaju na stanovništvo. Što se tiče ostalih »nelokacijskih« podloga lokacijskoj dozvoli, one sadrže preliminarne informacije o neuklearnoj elektrani koja se namjerava graditi i informacije o koncepciji nuklearne sigurnosti koja će biti primijenjena. Tu se misli na osnovne principe, kriterije, standarde i analize koji se primjenjuju. Podloge za lokacijsku dozvolu treba da sadrže takve informacije koje će omogućiti upravnom tijelu da: 1. donese odluku da li je predložena lokacija podobna ili ne i 2. utvrdi moguće fundamentalne poteškoće koje se trebaju razriješiti u sljedećim koracima ishođenja drugih dozvola (10).

Neke od informacija ne moraju, niti je moguće da budu konačne. To su između ostalih već spomenute informacije o utjecaju elektrane na okolicu. Međutim, sve informacije bitno značajne za sigurnost (nuklearnu) elektrane moraju biti konačne. To isto, iako u nešto blažem obliku, vrijedi i za informacije koje utječu na projektiranje i rad elektrane.

Mogućnost precizne i detaljne definicije podloga za lokacijsku dozvolu pruža nam publikacija MAAE (16) i njoj pridružena serija uputa za provođenje istražnih radova na lokaciji.

Druge zemlje također imaju definirane slične upute. Tako na primjer SAD imaju seriju uputa o lociranju i istraživanju okoliša (17).

Interesantan je primjer iz SR Njemačke, u kojoj lokacijska dozvola kao samostalna dozvola ne postoji, ali postoji popis (18) svih podloga o lokaciji koje su potrebne za sve faze procesa ishođenja dozvola. Ovaj popis zanimljiv je i zbog toga što nije ograničen na aspekte nuklearne sigurnosti, nego uključuje zahtjeve iz njemačkog zakonodavstva o građenju objekata i vodoprivrednih propisa. Naročito je interesantan što je u njemu dana gruba podjela potrebnih podloga po fazama izgradnje i fazama ishođenja parcijalnih dozvola (u SRNJ ih ima 5). Glavni dio lokacijskih podloga traži se za izdavanje ovlaštenja navedenih u točkama 1. i 2. podpoglavlja 2.1. ovog teksta, to jest kod izdavanja prve parcijalne dozvole. Preostali dio lakacijskih podloga traži se za petu parcijalnu dozvolu kojom se ovlašćuje između ostalog početak probnog rada.

Nužno je na ovom mjestu napomenuti da i naše relativno skromno zakonodavstvo iz područja nuklearne energetike i zaštite od zračenja dosta dobro definira podloge za lokacijsku dozvolu. Naime, po jednom našem pravilniku (13) definirani su uvjeti za lokaciju nuklearnih objekata i postrojenja. Jedan je od uvjeta i provođenje određenog definiranog niza istraživanja lokacije. Taj pravilnik određuje da se uz zahtjev za dozvolu podnose i analiza rezultata definiranih istraživanja. Dakle, podloge uz zahtjev su po sadržaju propisane.

Sve što je dosad bilo rečeno o podlogama za lokacijsku dozvolu, pripada kategoriji osnovne dokumentacije. Dodatna dokumentacija mogla bi biti definirana dodatnim zahtjevom upravnog tijela. Referentna dokumentacija mogla bi biti sva publicirana saznanja i iskustva iz ovog područja. Posebno treba naglasiti da investitor treba brinuti o tome da se u osnovnoj dokumentaciji poziva na najnovije reference — spoznaje iz odgovarajućih područja.

Kako upravo zemlje s najrazvijenijom »nuklearnom« regulativom nemaju lokacijske dozvole, to i ne postoji razrađen standardni format podloga za lokacijsku dozvolu. Dobro rješenje je da se tim podlogama daje format koji te iste informacije (ali malo više »konačne«) trebaju imati u podlogama za sljedeću dozvolu. To konkretno znači da bismo trebali podloge za lokacijsku dozvolu urediti po zadanom formatu za podloge za građevinsku dozvolu, to jest npr. po formatu za sigurnosni izvještaj (14). Time se olakšava pregled i ocjena podloga i stvara preglednost popunjavanja početno nedostatnih ili nedovoljnih podataka kako proces ishođenja dozvola, a i sam projekt napreduje. Drugim riječima, upravno tijelo lako prati rast kvalitete i kvantitete informacija o lokaciji, koji svoj maksimum trebaju imati u vrijeme izdavanja dozvole za rad. Treba napomenuti da će se informacije o lokaciji i nakon izdavanja dozvole za rad novelirati, ovisno o promjenama u karakteristikama lokacije ili o razvoju metoda za utvrđenje tih karakteristika.

6. PREGLED I OCJENA PODLOGA ZA LOKACIJSKU DOZVOLU

U procesu ishođenja dozvola za nuklearnu elektranu glavni je cilj upravnog tijela da utvrdi može li se predložena nuklearna elektrana locirati, izgraditi, pustiti u rad, koristiti i raspremiti bez nedopuštenog (pretjeranog) radiološkog rizika za zdravlje i sigurnost zaposlenih i okolnog stanovništva, uključujući i pretjeranu radioaktivnu kontaminaciju okoliša. Jedan od glavnih načina kako upravno tijelo dolazi do toga cilja jest pregled i ocjena zahtjeva za dozvole, uključujući i priložene pripadne podloge. Obično u tim pregledima upravno tijelo traži pomoć konzultanata i savjetodavnih komisija. Međutim, takva vanjska pomoć ne oslobađa upravno tijelo ni djelića odgovornosti za odluke i preporuke koje mora samo

upravno tijelo definirati i izdati. Zbog toga je bitno da upravno tijelo ima dovoljno kompetentnog vlastitog kadra da barem evaluira kvalitetu i rezultate rada koji za njega obavljaju drugi. Slično, uostalom, vrijedi i za investitora koji također obično ima čitav niz »drugih« u realizaciji projekta.

Budući da su upravno tijelo i investitor glavne osobe u procesu ishođenja dozvola, sve komunikacije s drugim akterima projekta obavljaju se formalno preko njih. Precizno utvrđen način izmjene informacija bitan je faktor, posebno u procesu pregleda i ocjena podloga. Sve informacije moraju biti pisane i registrirane na obje strane. Također treba napomenuti da bilješke i zapisnici formalnih sastanaka i rasprava često imaju snagu formalnih pisanih informacija. Informacije se podnose po vremenskom planu koji je unaprijed izradilo upravno tijelo, a uzevši u obzir vremenski plan projekta što ga je izradio investitor. Sastavni dio plana svakako je trajanje pregleda i ocjena. Neke zemlje, kao npr. SAD (19), imaju vrlo precizno razrađene i standardizirane planove za pregled i ocjenu podloga. Takvi planovi ne samo što olakšavaju pregled i ocjenu i kroz standardne procedure uklanjaju moguće propuste, već omogućuju i pripremu podloga na najefikasniji način.

Informacije koje se pregledaju i ocjenjuju ovise o dozvoli za koju se te akcije provode. Kako nas ovdje zanima lokacijska dozvola, pogledajmo koje informacije trebaju, prema MAAE (20), biti predmet posebne pažnje za vrijeme pregleda i ocjena upravnog tijela. Prvu grupu čine informacije koje utječu na vrijednosti projektnih parametra nuklearne elektrane bitnih za njezinu sigurnost. To su lokacijske informacije o:

a) geologiji i mehanici tla,
b) hidrologiji i hidrogeologiji,
c) meteorologiji,
d) prirodnim pojavama (potresi, poplave, orkani i vjetrovi),
e) pojavama uzrokovanim ljudskim aktivnostima (vatra, eksplozija, pad aviona),
f) otkazivanju funkcija raznih struktura (brana, zapornica, zidova),
g) raspoloživosti vode za hlađenje,
h) učestalosti nestanka električne energije.

Drugu grupu čine informacije koje se odnose na utjecaj nuklearne elektrane na okoliš, a koje mogu uvjetovati posebne projektne zahtjeve ili radna ograničenja. To su informacije o:

a) disperziji tekućih radioaktivnih ispuštanja,
b) disperziji plinovitih radioaktivnih ispuštanja,
c) ozračenju ljudi kroz sve moguće putove i od svih mogućih ispuštanja.

Treću grupu čine informacije o cestama i pristupima lokaciji, koje mogu imati bitnu ulogu u poduzimanju mjera u slučaju nužde.

Cilj pregleda i ocjene ovih informacija, pored onih općih, već spomenutih, jest da se utvrdi da li je predložena lokacija podobna za predloženu nuklearnu elektranu, posebno uzevši u obzir aspekte nuklearne sigurnosti te prihvatljiv nivo promjena okoliša. Važan cilj pregleda i ocjena podloga za lokacijsku dozvolu jest izdavanje uvjeta diktiranih okolišem (20).

Treba naglasiti još jednu vrlo važnu specifičnost pregleda i ocjena podloga za lokacijsku dozvolu. Naime, pregled i ocjena ovih podloga obično se ponavlja u svakom procesu izdavanja sljedećih dozvola, dakako uz poboljšanu kvalitetu većine podloga. Zbog toga je i sam proces pregleda i ocjena potrebno voditi imajući na umu ovu činjenicu. To znači da u prvom pregledu treba ocjenjivati samo najbitnije, a detalje ostaviti za sljedeće preglede i ocjenjivanja kada i same podloge budu takve da se mogu ocjenjivati detalji. Dakako da je takav pristup upravnog tijela moguć samo ako postoji utvrđen i obavezan vremenski plan aktivnosti za cijeli proces ishođenja dozvola i ako se iz njega na samom početku tog procesa vidi koliko puta i kada će još lokacijske podloge biti predmet pregleda i ocjena upravnog tijela. Drukčije rečeno, takav pristup je moguć ako plan aktivnosti obvezuje investitora da u skladu s planom stalno podiže nivo detaljnih saznanja o lokaciji i ako plan aktivnosti garantira upravnom tijelu još dovoljno prilika da se detaljno pozabavi informacijama o lokaciji koje nisu ekstremno važne za sigurnost. Potrebno je jasno staviti na znanje da ovakav pristup mora biti potpuno usklađen s vremenskim planom cijelog projekta.

Da proces pregleda i ocjenjivanja lokacijskih podloga treba biti postepen, pokazuju najbolje primjeri zemalja koje nemaju lokacijske dozvole. Naime, u tim zemljama uz zahtjev za izdavanje građevinske dozvole pregledavaju se i ocjenjuju i lokacijske podloge. U tom razdoblju upravno tijelo uveliko postaje zaposleno i zaokupljeno pregledavanjem i vrlo bitnih i manje bitnih podloga. Kako je praksa iz SAD na toj prethodnoj neformalnoj evoluaciji lokacije već kod nas obrađivana (21), ovdje je nužno spomenuti još i praksu SR Njemačke. U toj zemlji, budući da nema lokacijske dozvole, preporuča se ocjena lokacijskih podloga bitnih za nuklearnu sigurnost već u fazi donošenja odluka o planiranju namjene prostora (22). Svrha je da se u procesu ishođenja građevinske dozvole mirnije radi, ne ocjenjuje lokacija po principu DA/NE, te zbog toga dolazi do kvalitetnijih zaključaka. Potrebno je još samo naglasiti ono što je u ovoj praksi SR Njemačke originalno. Naime, u ovim preporukama (22) nisu postavljeni kriteriji za prihvaćanje ili neprihvaćanje lokacije po najvažnijim karakteristikama lokacije. Preporuča se umjesto toga svrstavanje i ocjenjivanje u tri stupnja svih važnih karakteristika lokacije. Kako pojedine karakteristike nisu jednako važne, odluka se ne donosi na osnovi jednostavnog prosjeka, nego se svaka lokacija ocjenjuje na osnovi složenijeg vrednovanja svih stupnjevanih karakteristika. Način vrednovanja nije propisan, ali je ostavljena mogućnost da se neka lošije stupnjevana karakteristika može u tom vrednovanju kompenzirati nekom drugom bolje ocijenjenom karakteristikom. U toj preporuci u detalje su razrađeni način i kriterije ocjenjivanja u tri stupnja sljedećih karakteristika lokacije: meteorologija, hidrologija, demografija,

geologija i seizmika, vanjski utjecaj i transportni putovi. Svrstavanje svih ovih karakteristika lokacije u 1. stupanj znači da se radi o željenoj, idealnoj, ali vjerojatno u SR Njemačkoj nepostojećoj lokaciji. Svrstavanjem većine od ovih karakteristika neke lokacije u 3. stupanj znači da ozbiljno treba razmatrati alternativna rješenja za lociranje nuklearne elektrane.

7. ZAKLJUČAK

Odgovor na pitanje što je to uopće lokacijska dozvola bit će na kraju ovog teksta ukratko naveden u nekoliko dijelova. Kao prvo treba reći da je lokacijska dozvola jedan od službenih dokumenata koji nastaju u kontinuiranom procesu suradnje upravnog tijela i investitora za vrijeme realizacije projekta nuklearne elektrane. Ona je zapravo prva dozvola koja se izdaje. Obično se izdaje u ranoj fazi projekta, kada još nije potpuno poznata tehnologija i tip elektrane. Ima velik utjecaj na odluku o namjeri izgradnje, utječe na rezultate investicijskog programa i definira znatan dio tenderskih zahtjeva. Dozvola koja obično nekoliko godina nakon nje slijedi jest građevinska dozvola.

Funkcija je lokacijske dozvole da se njome izrazi stručna suglasnost jednog potpuno nezavisnog društveno odgovornog tijela uprave s prijedlogom lokacije za nuklearnu elektranu. Ta suglasnost ili odobrenje izdaje se samo s gledišta nuklearne sigurnosti, odnosno zaštite od ionizirajućeg zračenja.

Lokacijska dozvola u principu sadrži dio u kojem se deklarira odobrenje lokacije i dio u kojem se nabrajaju uvjeti pod kojima se lokacija odobrava. Ta dva bitna sadržaja određuju i format dozvole, koji je inače obično u svakoj zemlji određen propisima o službenim dokumentima.

Opravdanost svoga prijedloga lokacije nuklearne elektrane dokazuje investitor nizom podloga svome zahtjevu za izdavanje lokacijske dozvole. Podloge su dokumentirane informacije o bitnim karakteristikama lokacije, i to samo one koje su nužne da se ocijeni lokacija s aspekta nuklearne sigurnosti.

Podloge zahtjevu za lokacijsku dozvolu investitor dostavlja upravnom tijelu po unaprijed utvrđenom planu i programu što ga daje upravno tijelo. Plan treba predvidjeti da se podloge dostavljaju kontinuirano, te da se dostavljaju i prije no što investitor formalno postavi zahtjev za izdavanje lokacijske dozvole. Osim plana upravno tijelo na početku sugradnje s investitorom utvrđuje način dostavljanja podloga te utvrđuje način komuniciranja s investitorom.

Dostavljene podloge za lokacijsku dozvolu upravno tijelo pregledom i ocjenom kritički evaluira. U tom poslu, koji mora trajati unaprijed utvrđeno ograničeno vrijeme, upravno tijelo obično prima ispomoć nadležnih i stručnih institucija i pojedinaca. Konačni je cilj pregleda i ocjena podloga za lokacijsku dozvolu da upravno tijelo dođe do vlastitog i nezavisnog stava o predloženoj lokaciji.

Bez obzira na to da li upravno tijelo samo pregleda i ocjenjuje podloge ili to za njega rade drugi, ono jedino i isključivo snosi odgovornost za rezultate do kojih se pregledom i ocjenom podloga dolazi i za odluku koja se na tim rezultatima bazira. Ta odgovornost ima ne samo domaće, nego i međunarodne reperkusije.

LITERATURA

[1] International Atomic Energy Agency, *Licences for Nuclear Power Plants: Content, Format and Legal Considerations,* A Safety Guide No. 50-SG-G8, Vienna 1982.

[2] OECD, Agencija za nuklearnu energiju, *Sistemi izdavanja dozvola i inspekcije nuklearnih postrojenja* I i II dio, Paris 1977. — Prijevod I. R. Bošković, Zagreb 1980.

[3] SR Slovenija, Republiški sekretariat za industrijo, *Odločbo — Dovoljenje gradnje zgradbe za ravnanjem s gorivom* (faza 26), Št. 351/B-16-15/75-KO, 14. 4. 1976,

[4] SR Slovenija, Republiški sekretariat za urbanizem, *Odločbo — Lokacijsko dovoljenje,* Št. 350/F-15/69, 8. 8. 1987, Ljubljana.

[5] SR Slovenija, Republiški energetski inšpektorat, *Posebno soglasje za poskusno obratovanje — polnjenje reaktorja sa jederskim gorivom,* Št. 312/A-190/81, 25. 5. 1981, Ljubljana.

[6] SR Slovenija, Republiški energetski inšpektorat, *Posebno soglasje za poskusno obratovanje — Doseganje samozdrževalne verižne reakcije,* Št. 312/A-227/81, 10. 9. 1981, Ljubljana.

[7] SR Slovenija, Republiški energetski inšpektorat, *Posebno soglasje za poskusno obratovanje — Sinhronizacija jedrske elektrarne na javni elektroenergetski sistem,* Št. 312/A-236/81 , 1. 10. 1981, Ljubljana.

[8] SR Slovenija, Republiški energetski inšpektorat, *Odločbo za obratovanje do 75% območja JE Krško,* Št. 31. 10-06/81, 16. 12. 1981, Ljubljana.

[9] International Atomic Energy Agency; *Governmental Organization for the Regulation of Nuclear Power Plants,* A Code of Practice No. 50-C-G, Vienna 1978.

[10] International Atomic Energy Agency; *Information to be Submitted in Support of Licensing Applications for Nuclear Power Plants,* A Safety Guide No. 50-SG-G2, Vienna 1979.

[11] International Atomic Energy Agency; *Steps to Nuclear Power,* Technical Report Series No. 164, Vienna 1975.

[12] W. Obenhaus, *Licensing and Regulatory Control of Nuclear Power Plants in the FR Germany,* Interregional Training Course on NPP Planning and Implementation, Karlsruhe 1978.

[13] *Pravilnik o uvjetima za lokaciju, izgradnju, probni rad, puštanje u rad i upotrebu nuklearnih objekata i postrojenja,* Službeni list SFRJ br. 25, Beograd 1979.

[14] US Nuclear Regulatory Commission, *Regulatory Guide 1. 70 Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants,* Revision 3, Washington 1978.

[15] Bundesministerium des Innern, *Markpostenaufstellung mit Gliederung für einen Standardsicherheitsbericht für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor oder Siedwasserreaktor,* RS I4-513807/2, Gemeinsames Ministerialblatt No. 26, Bonn 1970.

[16] International Atomic Energy Agency; *Safety of Nuclear Power Plant Siting,* Code of Practice No. 50-C-S, Vienna 1978.

[17] US Nuclear Regulatory Commission, *Division 4 Regulatory Guides Environmental and Siting, Division 1 Regulatory Guides Power Reactors,* Washington.

[18] Bundesministerium des Innern, *Zusammenstellung der in atomrechtlichen Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke zur Prüfung erforderlichen Informationen über den Standort GMBl. Nr. 28, Bonn 1975.*

[19] *US Nuclear Regulatory Commission, Standard Review Plan, Office of Nuclear Reactor Regulation,*Revision 2, Washington 1975.

[20] International Atomic Energy Agency, *Conduct of Regulatory Review and Assessment During the Licensing Process for Nuclear Power Plants,* A Safety Guide No. 50-SG-G3, Vienna 1980.

[21] Malbaša, Niko *Podloge i upute za izradu studije o utjecaju nuklearnih elektrana na okolinu,* Institut za elektroprivredu, Zagreb 1983.

[22] Bundesministerium des Innern, *Bewertungsdaten für die Eingenschaften von Kernkraftwerksstandorten aus der Sicht von Reaktorsicherheit und Strahlenschutz,* Umwelt Nr. 43. Bonn 1975.

BASIC CHARACTERISTICS OF SITING PERMISSION FOR NPPs

In the article is given a review of siting permission in official procedure for approving all permissions necessary for construction and operation of nuclear power plants. Presented are procedural ways and practice of some countries with developed nuclear energy. Analysis presents some basic characteristics of siting permission regardless of specific country requirements.

BEDEUTENDE ALLGEMEINE CHARAKTERISTIKA DER LOKATIONGENEHMIGUNG FÜR KERNKRAFTWERKE

Hier wurde eine Übersicht der Lokationgenehmigung in einem gesetzlich vorgeschriebenen Verfahren für die Ausstellung aller notwendigen Genehmigungen für den Ausbau und die Tätigkeit der Kernkraftwerke geschildert. Umfaßt wurden vorgeschriebene Verfahren und die Erfahrung einiger Länder mit entwickelter Atomenergetik. Die Analyse macht auf allgemeine und bedeutende Charakteristika die eine Lokationgenehmigung hat aufmerksam, ohne Rücksicht auf das Spezifische des Landes in dem sie ausgestellt wird.

СУЩЕСТВЕННЫЕ ОБЩИЕ СВОЙСТВА РАЗРЕШЕНИЯ НА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ АЭС

Дано рассмотрение роли разрешение на местоположение АЭС в законом предусмотренной процедуре получения всех необходимых разрешений на строительство и эксплуатацию АЭС. Охвачены предписанные действия и практика некоторых стран с развитой ядерной энергетикой. Анализ обращает внимание на общие и существенные особенности разрешения на местоположения АЭС, независимо от специфики страны, в которое оно выдается.

Naslov pisca:

mr Damir Subašić, dipl. ing.
Elektroprivreda, Zagreb,
41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983-05-19

»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«

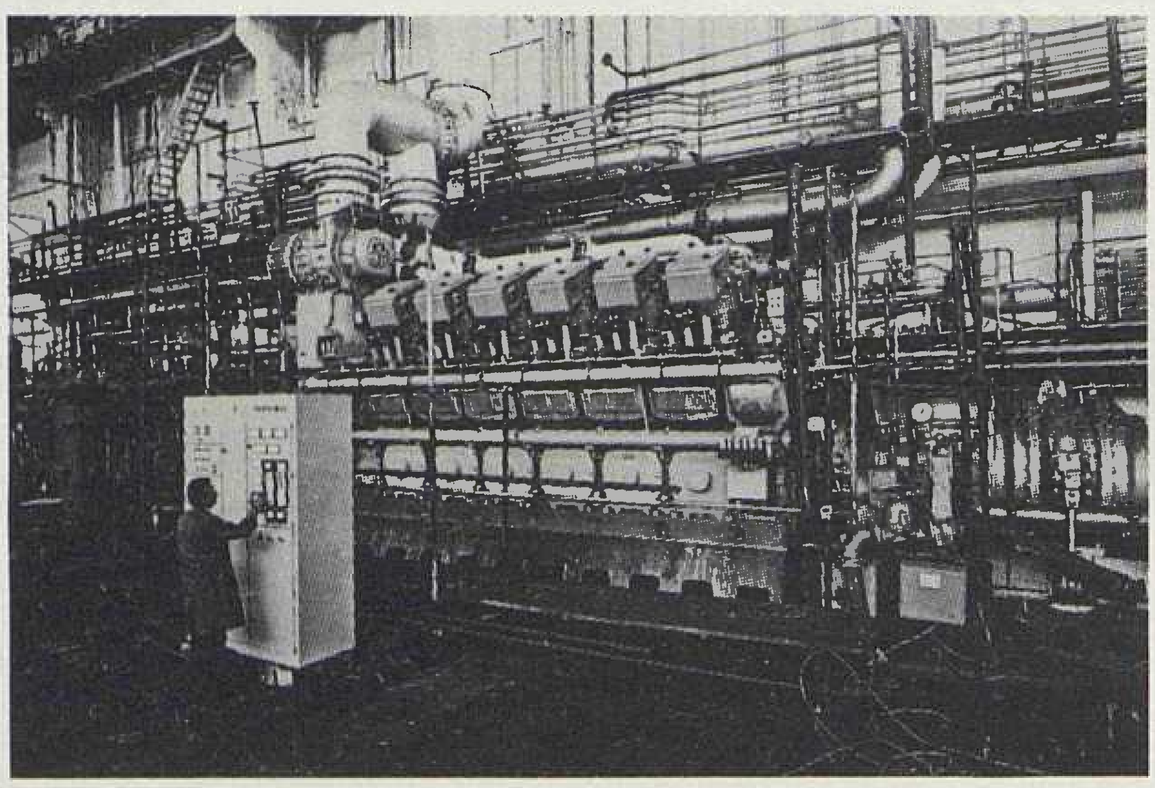
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.
47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2,
Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745

DJELATNOSTI:

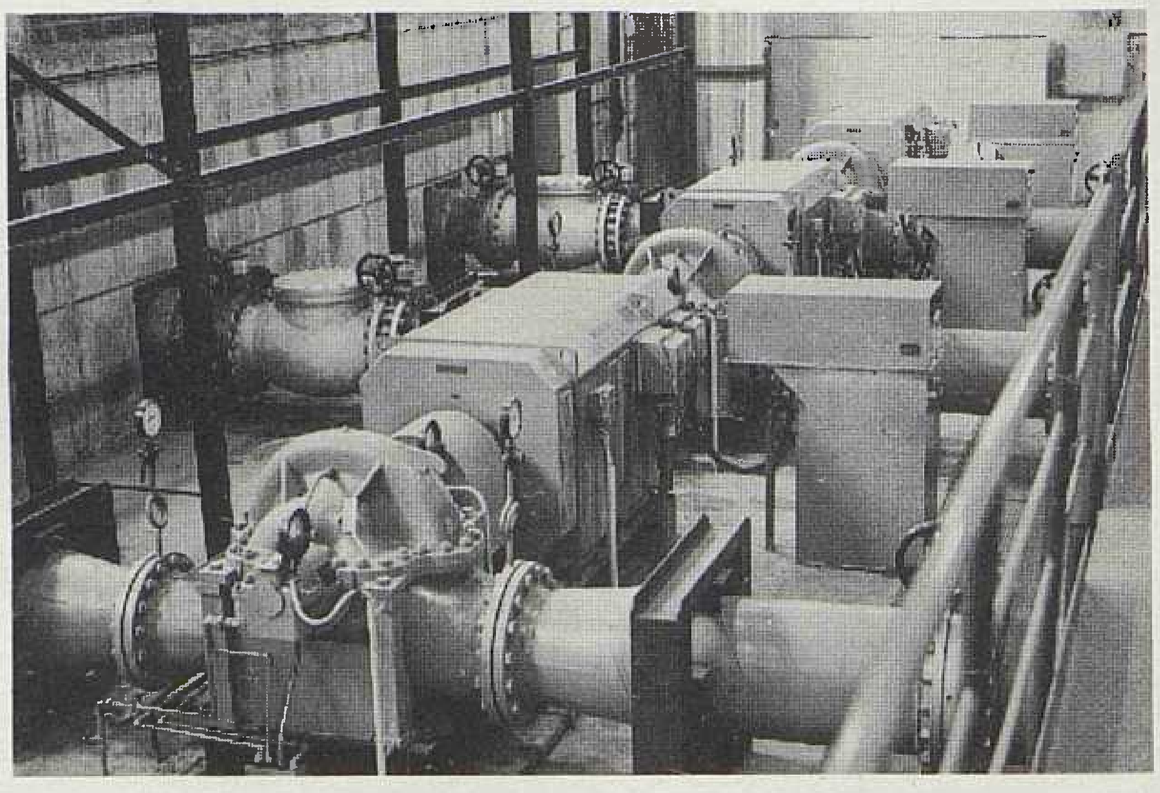
- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ – UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

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.

PROCJENA REZERVI GEOTERMALNE ENERGIJE U DIJELU ZAGREBAČKOGA GEOTERMALNOG LEŽIŠTA

mr Srećko Čubrić, Zagreb

UDK 620.91
STRUČNI RAD

Predložena je klasifikacija geotermalnih rezervi na primarne i obnovljive. Prikazana je metodologija proračuna primarnih i obnovljivih rezervi isječka zagrebačkoga geotermalnog ležišta. Obnovljive rezerve su znatno veće, ali se dobivaju uz postupni pad temperature. Pokazano je da pukotinski sastav u ležištu ne utječe bitno na veličinu rezervi.

Ključne riječi: geotermalna energija, primarne i obnovljive rezerve, zagrebačko geotermalno ležište.

UVOD

Dosadašnje istražne bušotine samo su djelomično ispitale zagrebačko geotermalno ležište, ali ipak se mogu donijeti tri zaključka:

1. Najmanje je perspektivno područje uz istočni rub grada (potez Lomnica — Žitnjak — Dubrava) zbog slabih protočnih svojstava ležišnih stijena.
2. Najperspektivnije je jugozapadno područje, gdje su izbušene bušotine Stupnik-1 (730 m; t_{iz} = 57 °C; 8 l/s) i Mladost-1 (1 050 m; t_{iz} = 72 °C; 3,4 l/s). Ove bi bušotine uz prikladniju tehniku bušenja dale pritoke od 10-15 l/s.
3. Kemijska svojstva termalne vode su povoljna (nema kamenca, umjerena korozija, sanitarno podobna).

Vjerojatno postoje geološki uvjeti koji uz neke tehničke preduvjete mogu osigurati veće pritoke (pronalazak postojećih ili stvaranje novih pukotina).

Međutim, bez obzira na moguće kapacitete bušotina, za ocjenu perspektivnosti korištenja geotermalne energije bitno je poznavati njezine rezerve. Budući da geotermalna energija pripada među obnovljive vrste energije, nužno je razdvojiti rezerve pojedinog ležišta:

— na dio koji je prvobitno akumuliran u skeletu ležišnih stijena, te u vodi koja se nalazi u šupljinama skeleta ležišnih stijena
— na dio koji se u toku eksploatacije obnavlja toplinskim fluksom, iz dubokih dijelova Zemljine kore.

Prvi dio prikladno je nazvati **primarnom rezervom.** Njezina veličina ne ovisi o dinamici (vremenu) crpljenja. Smatra se da je u toku crpljenja primarnih rezervi izlazna temperatura konstantna. Proračun ovih rezervi je jednostavan (prema lit. 1):

$$Q_p = [V_L \cdot (1-\phi) \cdot c_s \cdot \rho_s + V_L \cdot \phi \cdot c_w \cdot \rho_w] \cdot (t_o - t_w)$$

gdje je: V_L — volumen ležišta
ϕ — šupljikavost ležišta, tj. odnos volumena šupljina prema ukupnom volumenu ležišta
c — specifična toplina (s — skelet; w — voda ili drugi fluid)
ρ — gustoća skeleta, odnosno vode
t_o — početna temperatura ležišta
t_w — temperatura iskorištene vode.

Pri proračunu stvarno iskoristivih primarnih rezervi t_o treba umanjiti za gubitke kroz bušotinu i cjevovode (u ovom članku to ćemo zanemariti).

Drugi dio rezervi možemo nazvati obnovljivim rezervama. Veličinu ovog dijela rezervi znatno je složenije proračunati jer ovisi o:

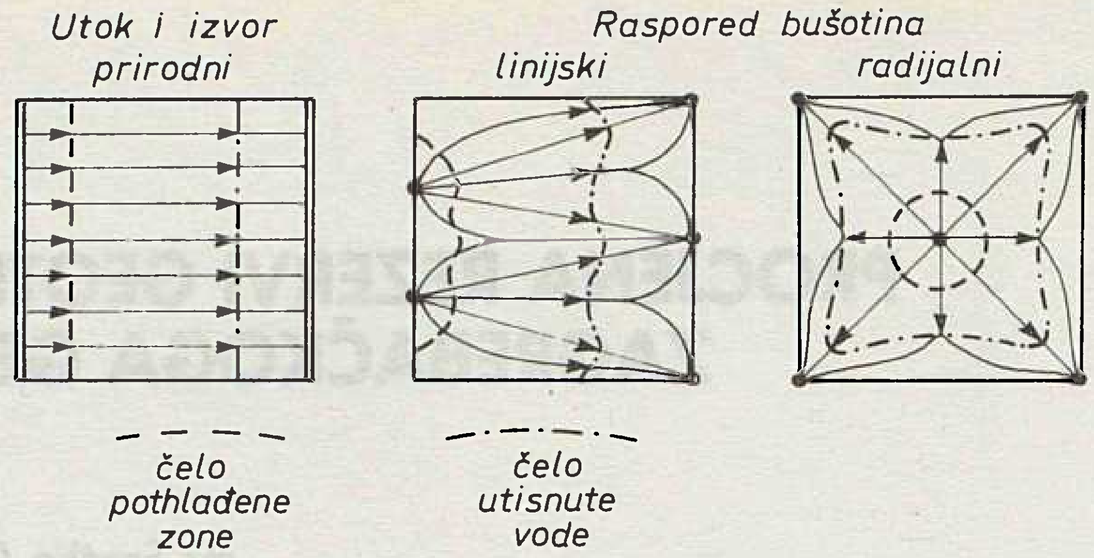
— toplinskom fluksu u Zemljinoj kori, te vremenu crpljenja (protjecanja)
— sniženju početne temperature ležišta, što pak ovisi o brzini (količini) utoka hladnije vode u ležište, te njezinoj temperaturi.

Srednji fluks topline kroz Zemljinu koru (lit. 2., 3) iznosi oko 2,1 TJ po km² na godinu. On u pojedinim područjima varira ovisno o geološkim i geofizičkim uvjetima, a posebno o koeficijentu provođenja topline.

Fluks topline u principu je usmjeren okomito na površinu Zemlje. Ako kroz dio Zemljine kore (geotermalno ležište) protječe voda čija je temperatura manja od temperature okolnih stijena, pojačava se toplinski fluks zbog povećanog geotermalnog gradijenta.

Prirodni protok kroz zagrebačko ležište dosta je spor, o čemu svjedoči i velika razlika ležišne temperture u području sportskog parka »Mladosti« (78 °C) i Šalate (58 °C). Ako bi se tempo crpljenja u ovom ležištu uskladio s prirodnom brzinom protjecanja, dobivale bi se i obnovljive rezerve s praktički kon-

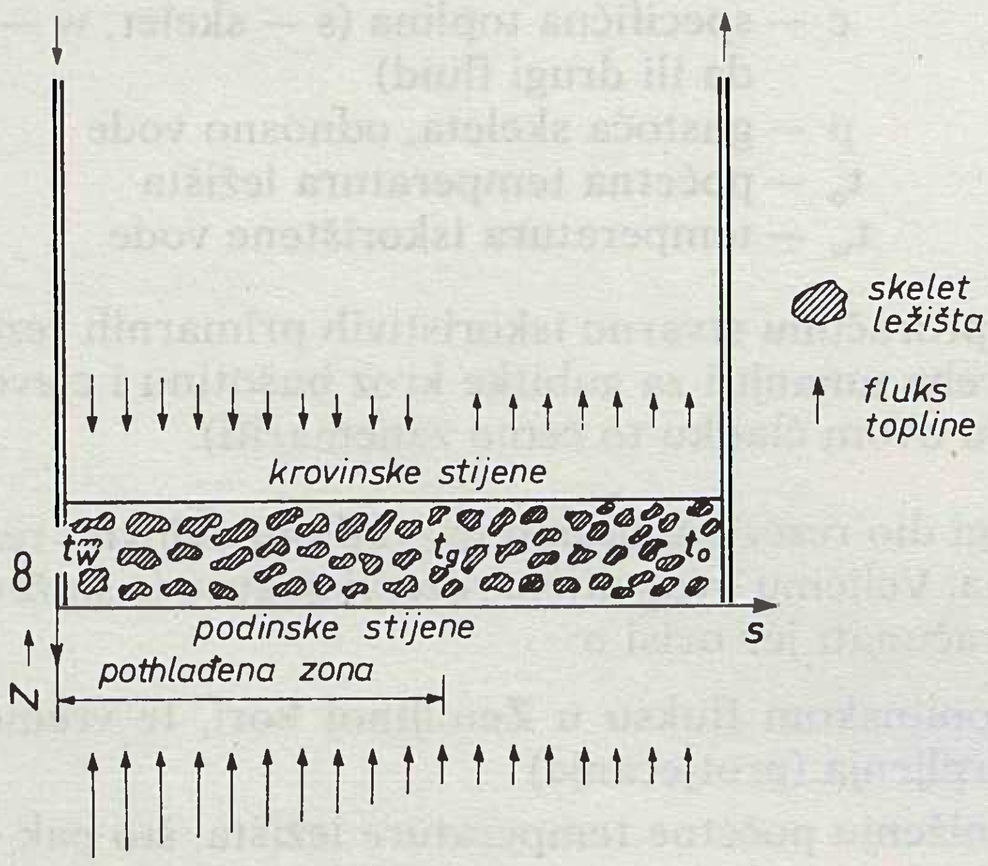
stantnom temperaturom. Međutim, pri tome bi proizvodnja bila relativno malena, pa je potrebno (za slučaj intenzivnije proizvodnje) voditi brigu o brzini obnavljanja rezervi. Intenzivna proizvodnja može izazvati velike hidrauličke otpore u ležištu, odnosno sniženje tlaka u području bušotina makar tlak na rubu (pod napajalištem) bio konstantan. Zbog toga se mora predvidjeti vraćanje — utiskivanje iskorištene (ohlađene) vode u ležište radi podržavanja ležišnog tlaka (lit. 4).



Slika 2.

MATEMATIČKO-FIZIČKE OSNOVE PRORAČUNA OBNOVLJIVIH REZERVI

Da bi se riješio ovaj zadatak na strogim principima matematičke fizike, trebalo bi simultano rješavati trodimenzionalno polje tlaka i temperature u ležištu (lit. 5. i 6). To je moguće postići jedino vrlo složenim numeričkim metodama (metoda Galerkina i sl.). Za praktične inženjerske potrebe dovoljno je pouzdano analitičko rješenje jednodimenzionalnog polja temperature, do kojeg je došao Louwerier (lit 7). On je pri rješavanju tog matematičkog modela pošao od slijedećih pretpostavka:



Slika 1.

1. Ležište je horizontalno, te homogeno i izotropno po hidrodinamičkim i termičkim svojstvima.
2. Karakter protjecanja je plošno-paralelan ili plošno-radijalan (sl. 1. i 2), i trenutno se uspostavlja stacionarno stanje, tj. utok je jednak crpljenju.
3. Prije početka utoka hladnije vode (t_w), skelet, ležišna voda i granice okolnih stijena (podinske i krovinske) su u termičkoj ravnoteži i imaju temperaturu t_o.
4. Okolne stijene imaju beskonačnu debljinu i njihova tempertura na beskonačnoj udaljenosti po vertikali jednaka je početnoj temperaturi.
5. Utiskivana (ili prirodno infiltrirana) voda i skelet trenutno poprimaju termičku ravnotežu (istu temperaturu).
6. Zanemaruje se horizontalno provođenje topline u ležištu i okolnim stijenama.
7. Prema tome, prijelaz topline definiran je horizontalnom konvekcijom (prisilnom) u ležištu i vertikalnom kondukcijom u okolnim stijenama.

Uz takve pretpostavke izraz za raspored temperature pri plošno-paralelnom protoku ima sljedeći oblik:

$$t_L = t_o - (t_o - t_w) \cdot \mathrm{erfc}\left(\frac{S_D}{2\sqrt{\frac{c_L \rho_L}{c_s \rho_s}(\tau_D - s_D)}} \right) \cdot \sigma(\tau_D - s_D)$$

gdje je:

t_L – temperatura ležišta na udaljenosti s i u vremenu τ (od početka utiskivanja)
t_w – temperatura vode na ulazu u ležište
t_o – početna temperatura ležišta
erfc – (1 — erf); erf — integral vjerojatnosti
$c_L\rho_L$ – specifična toplina i gustoća ležišta; $c_L\rho_L = \phi\, c_w\rho_w + (1-\phi) \cdot c_s\rho_s$
τ_D – bezdimenzionalno vrijeme
s_D – bezdimenzionalna udaljenost od linije utiskivanja

$$\tau_D = \frac{4 \cdot \lambda \cdot \tau}{c_L \rho_L \cdot h^2}$$

$$s_D = \frac{4 \cdot \lambda \cdot s}{c_w \rho_w \cdot h^2 \cdot w \cdot \phi}$$

λ – koeficijent provođenja topline
h – debljina ležišta
w – brzina protoka kroz šupljikavi prostor
A – površina presjeka ležišta, okomito na smjer protoka
G_w – količina utiskivanja (= crpljenja) u jedinici vremena
σ – funkcija koja ima vrijednost:
$\sigma = 0$, ako je $(\tau_D - s_D) \leqq 0$
$\sigma = 1$, ako je $(\tau_D - s_D) > 0$.

Duljinu pothlađene zone ili vrijeme u kojem će se zadana zona pothladiti računamo iz uvjeta:

$$\tau_D - s_D = 0$$

$$\frac{4 \cdot \lambda \cdot \sigma}{c_L \rho_L \cdot h^2} = \frac{4 \cdot \lambda \cdot s}{c_w \rho_w \cdot h^2 \cdot \frac{G_w}{A \cdot \phi} \cdot \phi}$$

$$s = \frac{c_w \rho_w}{c_L \rho_L} : \frac{G_w}{A} \cdot \tau$$

$$\tau = \frac{c_L \rho_L}{c_w \rho_w} \cdot \frac{A \cdot s}{G_w}$$

Iscrpljena količina vode je:

$$\tau \cdot G_w = V_c,$$

a volumen ležišta u pothlađenoj zoni:

$$V_L = A \cdot s.$$

Odatle slijedi:

$$V_c = \frac{c_L \rho_L}{C_w w} \cdot V_L = \frac{c_L \rho_L}{c_w \rho_w} \cdot \frac{V_o}{\phi}$$

Pošto je iscrpljena toplina (primarne rezerve pothlađene zone):

$$Q = V_c \cdot c_w \rho_w \cdot (t_o - t_w),$$

slijedi:

$$Q = V_L \cdot c_L \rho_L \cdot (t_o - t_w)$$

$$Q = V_L \cdot (t_o - t_w) \cdot [c_w \rho_w \cdot \phi + c_s \rho_s \cdot (1 - \phi)].$$

I na ovaj način došli smo do istog izraza koji smo postavili pri definiciji primarnih rezervi.

Budući da je $V_L \cdot \phi$ prvobitni volumen vode u ležištu (pothlađenoj zoni), imamo:

$$\frac{V_c}{V_o} = \frac{c_L \rho_L}{c_w \rho_w \cdot \phi} = 1 + \frac{(1-\phi)}{\phi} \cdot \frac{c_s \rho_s}{c_w \rho_w}.$$

To znači da je količina iscrpljene vode, koja crpi primarne rezerve topline (po pretpostavci Louweriera s konstantnom temperaturom) uvijek veća od prvobitno akumulirane vode u razmatranom ležištu. Ovaj odnos je to veći što je manji udio šupljikavog prostora. Međutim, povoljnije je da šupljikavost bude veća jer je specifična toplina vode gotovo dvaput veća od specifične topline skeleta stijena.

Jednadžba Louweriera prvenstveno je namijenjena za stijene veće i jednoličnije šupljikavosti (pijesci).

Zagrebačko geotermalno ležište sastavljeno je od vapnenca i dolomita. Specijalnim hidrodinamičkim ispitivanjima (lit. 8) utvrđeno je da je srednja vrijednost produkta »$h \cdot \phi$« dovoljno visoka ($h > 50$ m; $\phi = 0{,}1$). Moguće je da se lokalno pojavljuju veće pukotine superprotočnih svojstava, po kojima može brže prodirati pothlađena fronta (u obliku klina). Međutim, prema Bodvarssonu i Chin Fu Tsangu (lit. 9) prodor hladnog klina znatno je usporen zbog konvektivnog prijelaza topline između superpukotine i okolnih mikropukotina i pora.

Prema tome, za proračune u zagrebačkom geotermalnom ležištu može se s dovoljnom pouzdanošću primijeniti obrazac Louweriera.

PRORAČUN REZERVI U JEDINIČNOM VOLUMENU ZAGREBAČKOGA GEOTERMALNOG LEŽIŠTA (1 km² × 50 m)

Razmatrat ćemo isječak ležišta površine 1 km² (kvadrat) i visine 50 m, tj. $V_L = 50 \cdot 10^6 m^3$. Šupljikavost: $\phi = 0{,}1$.

Specifične topline su:

$$c_w \rho_w = 4\,187 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3, \text{°C}$$

$$c_s \rho_s = 879{,}27 \cdot 10^3 \cdot 2{,}6 = 2\,285{,}4 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3, \text{°C}$$

$$c_L \rho_L = 4\,187 \cdot 10^3 \cdot 0{,}1 + 2\,285{,}4 \cdot 10^3 \cdot (1-0{,}1) = 2\,475{,}56 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3, \text{°C}.$$

Početna temperatura ležišta neka je $t_o = 70\,°C$, a temperatura iskorištene vode $t_w = 50\,°C$.

Primarne rezerve su:

$$Q_p = 50 \cdot 10^6 \cdot 2\,475{,}56 \cdot 10^3 \cdot (70-50)$$

$$\cdot Q_p = 2\,475{,}56 \text{ TJ}.$$

Stvarno iskoristivi dio primarnih rezervi bit će nešto manji zbog pada temperature kroz bušotinu (na Stupniku 2 — 3 °C). Da se ovom prilikom ne bismo zadržavali na proračunu gubitka topline kroz bušotinu, možemo zamisliti da je početna temperatura ležišta veća za 2-3 °C (na Mladosti: 78 °C). Prema tome možemo reći da pod 1 km² površine jugozapadnog dijela grada Zagreba imamo primarne rezerve geotermalne energije koje su ekvivalentne rezervama nafte od 59 120 tona.

Prvobitni sadržaj vode, $V_o = 5 \cdot 10^6 m^3$.

Količina vode koja će donijeti na površinu primarne rezerve geotermalne energije iz razmatranog isječka jest:

$$V_c = 5 \cdot 10^6 \cdot \frac{2\,475{,}56 \cdot 10^3}{4\,187 \cdot 10^3 \cdot 0{,}1} = 5 \cdot 10^6 \cdot 5{,}91$$

$$V_c = 29{,}56 \cdot 10^6 m^3.$$

Metodologija za proračun OBNOVLJIVIH rezervi koju sam upotrebljavao (a koja počiva na jednadžbi Louweriera) pretpostavlja kontinuiranu i konstantnu dnevnu proizvodnju.

Ove rezerve prikladno je razmatrati u dva dijela:

Q'_{ao} — obnovljive rezerve koje se iscrpe dok temperatura na izlazu iz ležišta ne padne na odgovarajući tehnički minimum (u ovom primjeru bit će $t_{iz} = 60\,°C$);

Q_{ao} — obnovljive rezerve akumulirane u ležištu u toku iscrpljivanja primarnih rezervi.

Za slučaj plošno-paralelnog pritoka ove rezerve se računaju prema izrazima:

$$Q_{ao} = c_L \rho_L \cdot A_S \int_0^s (t - t_w)\, ds$$

$$Q'_{ao} = G_w \cdot c_w \int_0^{\tau'} (t_{iz} - t_w)\, d\tau'$$

Prethodno treba riješiti po Louwerieru distribuciju temperature u ležištu (po s), odnosno u vremenu crpljenja obnovljivih rezervi (po τ').

Potrebni podaci za naš primjer jesu:

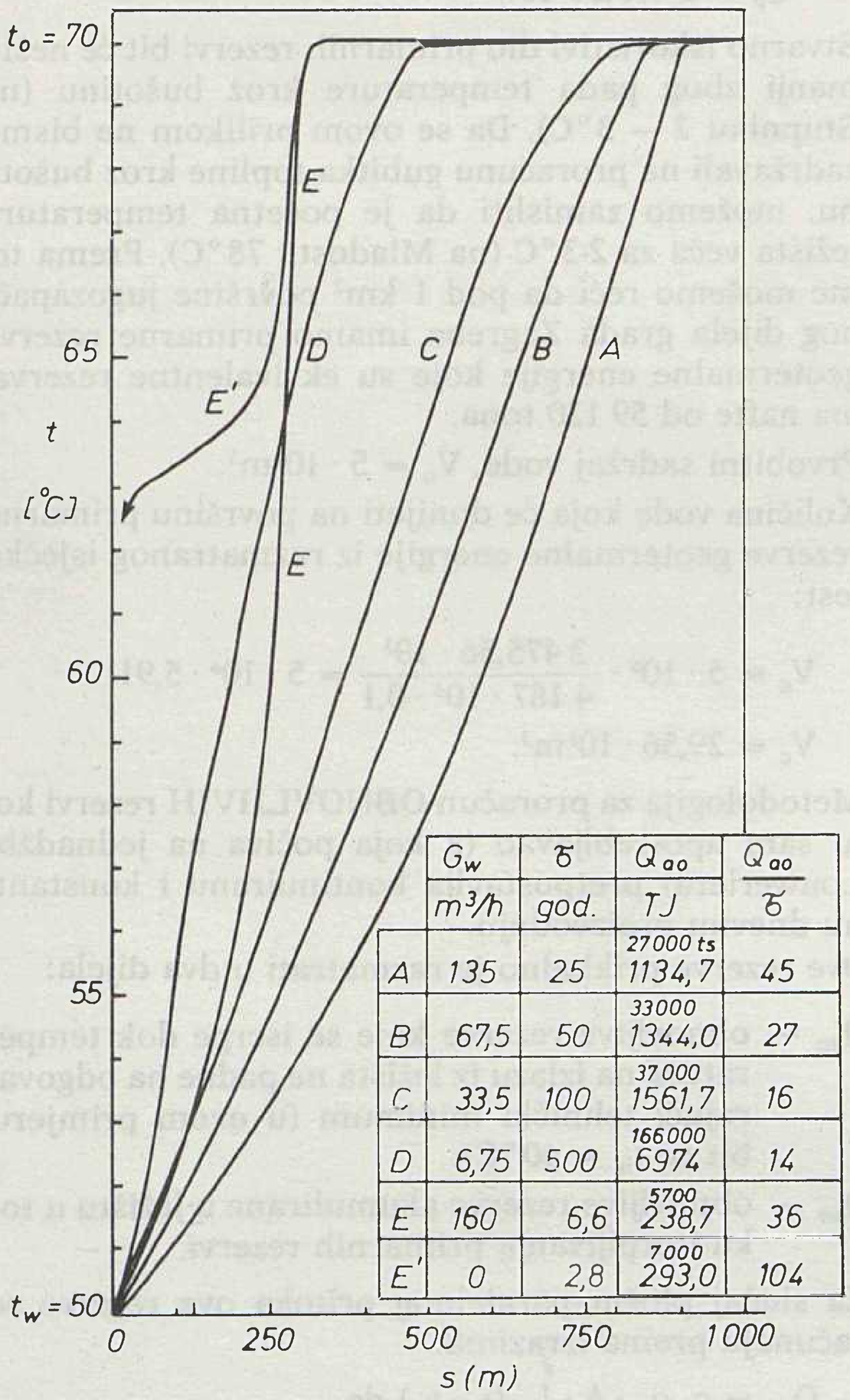
— koeficijent provođenja topline okolnih stijena: $\lambda = 2{,}326$ J/m, s, °C

— temperaturu vode na ulazu u ležište uzimamo jednakom temperaturi iskorištene vode $t_w = 50\,°C$.

Na sl. 3. prikazani su rezultati proračuna distribucije temperature za šest varijanata brzina protoka, odnosno vremena crpljenja. U varijantama A, B, C, D produkt brzine i vremena crpljenja je konstantan, pa je dužina pothlađene zone ista, tj. 1 000 m. U varijanti E ograničeno je vrijeme na 6,6 godina, pa je pothlađena zona samo 311 m. Varijanta E' je slučaj prestanka utiskivanja i crpljenja pošto se pothladila zona od 311 m (E). Porast temperature u toku 2,8 godina za varijantu E' proračunata je koristeći rezultate

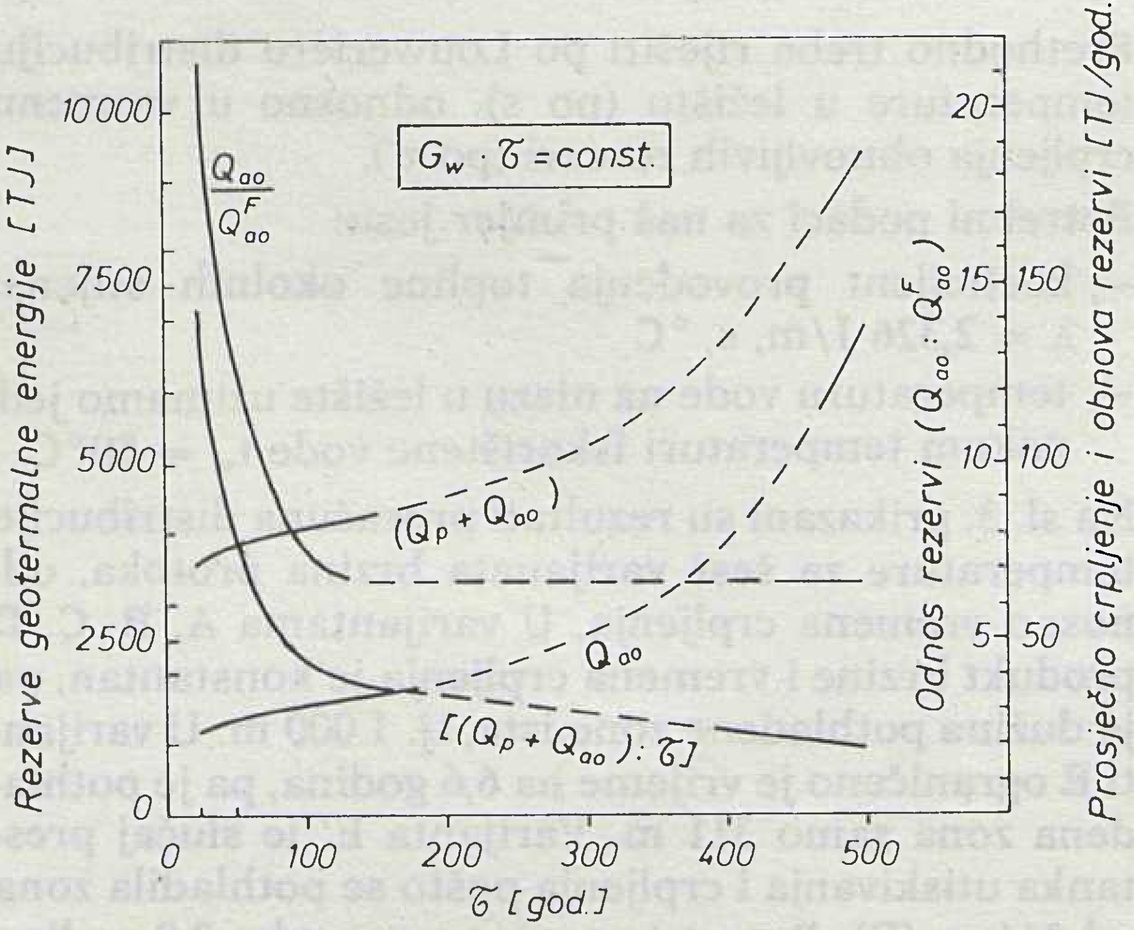
primjera Pudovkina i Volkova (lit. 6) koji su dani u obliku bezdimenzionalnih veličina.

Na sl. 4. vidimo da su obnovljive rezerve što se akumuliraju u toku crpljenja primarnih rezervi to veće



	G_w	τ	Q_{ao}	$\frac{Q_{ao}}{\tau}$
	m^3/h	god.	TJ	
A	135	25	27000 ts 1134,7	45
B	67,5	50	33000 1344,0	27
C	33,5	100	37000 1561,7	16
D	6,75	500	166000 6974	14
E	160	6,6	5700 238,7	36
E'	0	2,8	7000 293,0	104

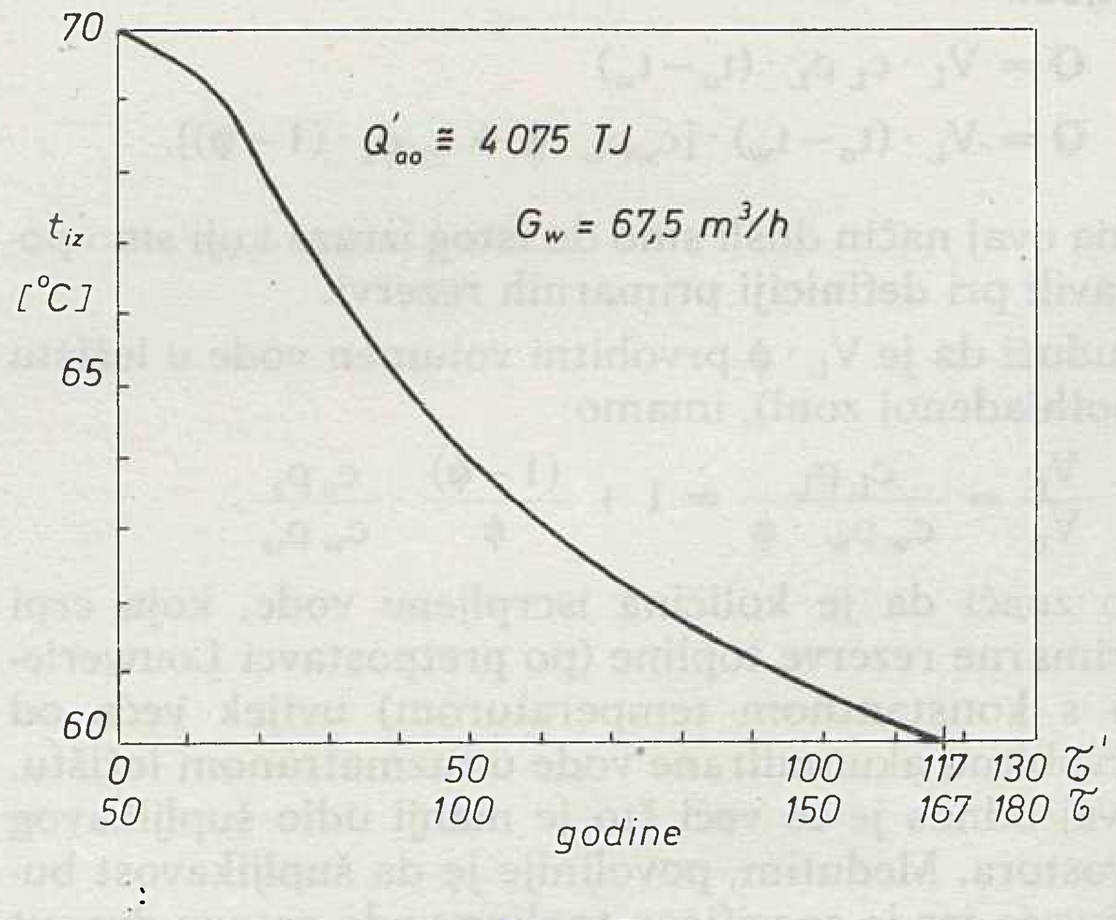
Slika 3.



Slika 4.

što je duže vrijeme crpljenja. Međutim, prosječno godišnje obnavljanje rezervi veće je ako je vrijeme iscrpljivanja primarnih kraće. Prosječno godišnje crpljenje plus obnavljanje rezervi oštro pada do τ = 100 godina, a zatim se asimptotski približava normalnom toplinskom fluksu Zemljine kore.

Na sl. 4. prikazano je i lokalno ubrzanje godišnjeg fluksa geotopline u ležište zbog sniženja temperature u ležištu. U varijanti A (25 godina) on je ubrzan 21,6 puta, a u varijanti B (100 godina) samo 6,6 puta.



Slika 5.

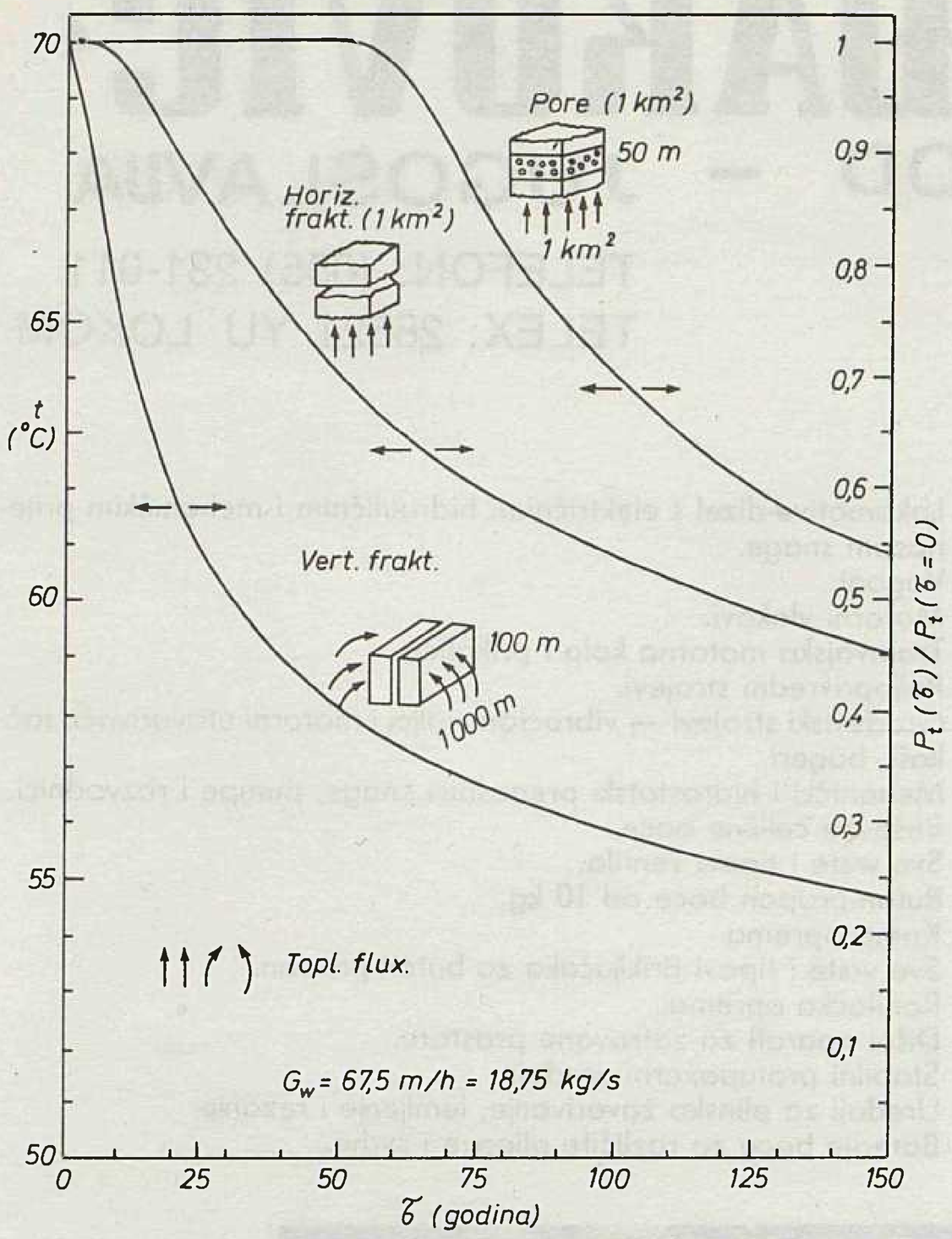
Na sl. 5. prikazan je pad izlazne temperature. Pad je dosta blag pa se iscrpe (do 60 °C) još znatne obnovljive rezerve topline:

Q_{ao} = 4 075 TJ (za 117 godina).

Na kraju, zanimljivo je promotriti kakav bi bio pad izlazne temperature kad uopće ne bi bilo pora ni mikropukotina, tj. kad bi voda protjecala samo kroz jednu pukotinu (frakturu). Metodologiju proračuna za slučaj horizontalne pukotine u suhoj stijeni razvili su Mc Farland i Murphy (lit. 1., str. 556). Na sl. 6. prikazani su rezultati proračuna za slučaj horizontalne pukotine površine 1 km². Već nakon 5 godina počinje pad temperature, ali on nije jako velik, svega 6 °C za 50 godina. U dostupnoj literaturi nema postupka za proračune temperature u slučaju vertikalne pukotine. Koristio se postupak za horizontalnu pukotinu, uz napomenu da se uzela dvostruka površina pukotine, pretpostavljajući da postoji dvostrani dotok topline. Na sl. 6. prikazani su rezultati proračuna i za vertikalnu pukotinu dužine 1 km i visine 100 m. U ovom slučaju pad temperature je znatno brži — 12 °C za 50 godina.

Na taj način, na sl. 6. vidimo pad temperature za tri ekstremna slučaja (jednoličnе pore, te horizontalna i vertikalna pukotina). Ovakvih ekstremnih slučajeva nema u prirodi. Čak i umjetno stvorene frakture u vrućim suhim stijenama (granit, bazalt) imaju nepravilan oblik.

Za nas je bitno da znamo da zagrebačko geotermalno ležište predstavlja najrazličitije kombinacije između ovih triju slučajeva, pa nema opasnosti da će



Slika 6.

za 50 godina izlazna temperatura pasti za više od 2 °C.

Prema tome nema nikakve opasnosti ako bušotine zahvate sistem nešto širih pukotina. Naprotiv, povoljno će biti da se tehničkim postupcima stvaraju nove i proširuju postojeće frakture (takvim postupkom na Šalati je deseterostruko povećan pritok, ali u Dubravi nije bilo uspjeha).

ZAKLJUČAK

1. Predložena je i obrazložena klasifikacija rezervi geotermalne energije, tj. podjela na primarne i obnovljive rezerve na primjeru isječka (1 km²) zagrebačkog ležišta.
2. Rezerve u zagrebačkom geotermalnom ležištu daju nadu da bi se dio grada mogao grijati pomoću termalne vode.
3. Ekonomičnost crpljenja geotopline najviše ovisi o broju potrebnih bušotina. Zato je nužno geofizičkim i hidrodinamičkim ispitivanjima pronaći zone gdje je pukotinski sistem najviše razvijen, te usavršiti postupke za stvaranje fraktura, kako bi se sa što manjim brojem bušotina dobio što veći protok. Energetičari trebaju pronaći optimalne postupke korisnog oduzimanja topline proizvedenoj termalnoj vodi.

LITERATURA

[1] Edwards, L. M. i dr.: *Handbook of Geothermal Energy,* Gulf Publisching Co., Houston, 1982.

[2] Kappellmayer, O. Halnel, R.: *Geothermics, with Special Reference to Application,* Gebrüder Borntraeger, Berlin – Stuttgart 1974.

[3] Požar, H.: *Izvori energije,* SNL, Zagreb, 1980.

[4] Čubrić S. i dr.: *Kako usporavati kretanje hladnog fronta u geotermalnom ležištu,* časopis »Nafta« (Zagreb), 1983.

[5] Gringarten, A. C. Sauty, J. P.: *The Effect of Reinjection on the Temperature of a Geothermal Reservoir Used for Urban Heating,* Proceeding II UN Sympoisum on the Development and use of Geothermal Resources, San Francisco, 1975.

[6] Pukovnik, M. A. Volkov, I. K.: *Kraevie zadači matematičeskoj teorii teploprovodnosti v priloženii k rasčetam temperaturnih polej v neftjanih plastah pri zavodnenii,* Izd. Kazanskoga univ., Kazan, 1978.

[7] Louwerier, H. L.: *The transport of Heat in an Oil Layer caused by the Injection of Hot Fluid,* Applied Scientific Research, Section A., 1955, Vol. 5; No. 2,3.

[8] Babić, D.: *Izvještaj o hidrodinamskom ispitivanju bušotine Stupnik – 1,* 1977. (dokumentacija INA – Naftaplina)

[9] Bodvarsson, G. S., Chin Fu Tsang: *Injection into Fractured Geothermal Reservoir,* Geothermal Resources Council, Davis, California, 1980

[10] Zelić, M.: *Termodinamika fluida pri protjecanju u tubingu,* »Nafta«, 5-5, 1983.

ESTIMATION OF GEOTHERMAL POWER IN PART OF ZAGREB SITING

In the article is given a proposal for classification of geothermal power reservs on primar and reversibile. It is presented a method for calculation of primar and reversibile reservs for part of Zagreb geothermal siting. Reversibile reservs are greater but are obtained with decreased temperature. It is proved that fault content in siting doesn't effect reservs.

ABSCHÄTZUNG DER GEOTHERMALEN RESERVEN IM TEIL DES ZAGREBER FUNDORTES

Geschildert wurde ein Vorschlag für die Klassifikation geothermaler Reserven in primäre und erneubare, sowie die Methodologie der Berechnungen der primären und erneubaren Reserven eines Teiles des Zagreber geothermalen Fundortes.
Die erneubaren Reserven sind bedeutend größer, aber sie werden durch eine schrittweise Temperatursenkung gewonnen. Es wurde gezeigt, daß die Zusammensetzung in einem Erdsprung im Fundort nicht die Größe der Reserven wesentlich beeinflußt.

ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ГЕОТЕРМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЧАСТИ ЗАГРЕБСКОЙ ГЕОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАЛЕЖИ

Вносится предложение о классификации геотермических ресурсов на первичные и обратимые. Представлена методика расчета первичных и обратимых ресурсов сектора загребской геотермической залежи. Обратимые ресурсы значительно больше, однако получаются при постепенном перепаде температуры. Показано, что трещиноватость залежи не оказывает существенного влияния на объем ресурсов.

Naslov pisca:

mr Srećko Čubrić, dipl. ing.
INA-Naftaplin, 41000 Zagreb
Šubićeva bb

Uredništvo primilo rukopis
1983-09-28

ĐURO ĐAKOVIĆ

SLAVONSKI BROD – JUGOSLAVIJA

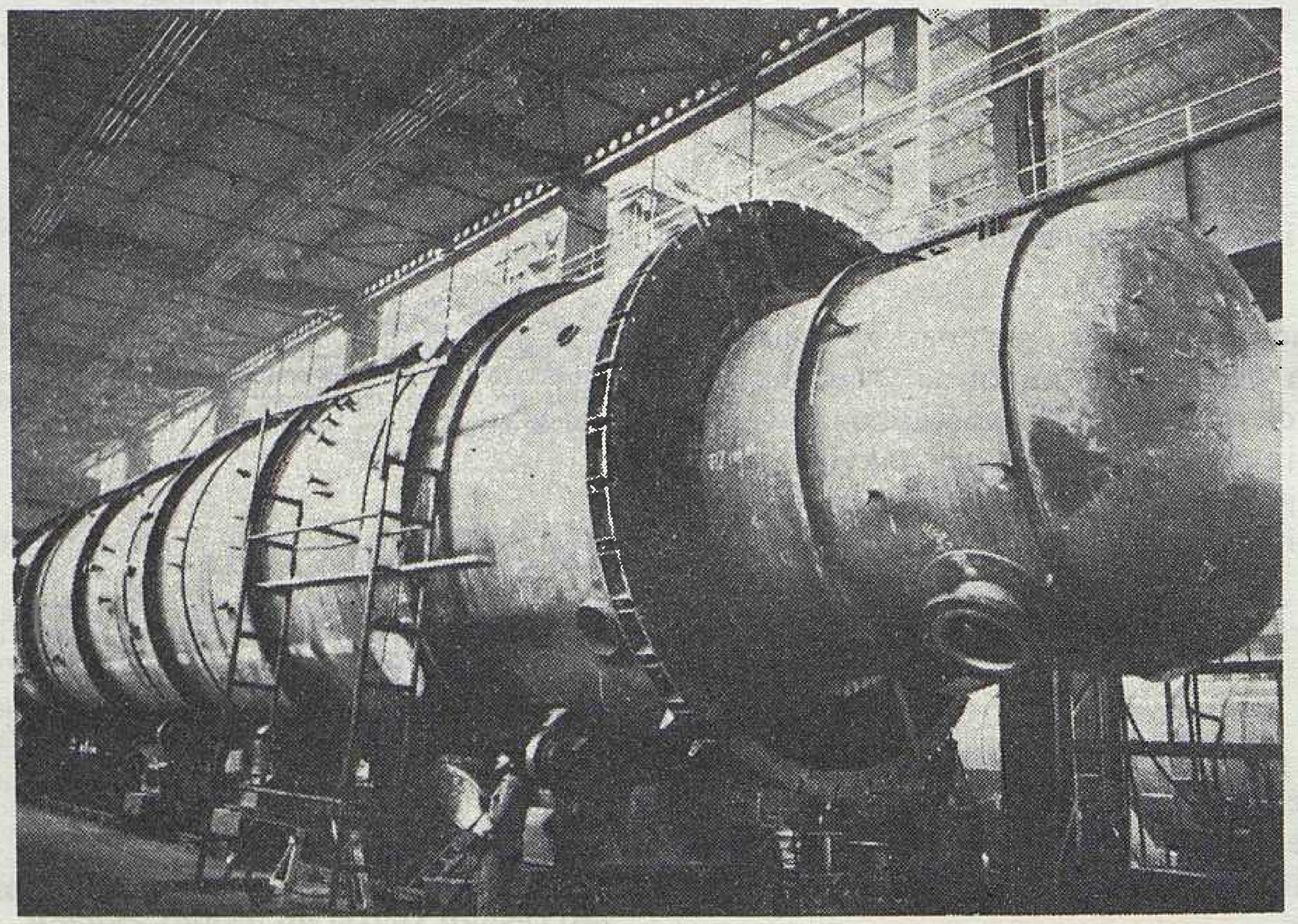
TELEFON: (055) 231-011
TELEX: 28521 YU LOKOM

PROIZVODNI PROGRAM SOUR-a

Kompletna industrijska postrojenja — šećerane, cementare, krečane, ekspandirana glina.

Oprema i uređaji za procesnu industriju.
Postrojenja za prehrambenu industriju.
Oprema za petrokemiju i pridobivanje nafte.
Oprema za rudarstvo i metalurška postrojenja.
Kolovska i energetska postrojenja i oprema za nuklearne elektrane.
Uređaji za prečišćavanje zraka, vode i dimnih plinova.
Kompletne prenosne i kontejnerske kotlovnice.
Cjevovodi svih namjena i kompenzatori za cjevovode.
Mostne, portalne i auto-dizalice.
Bočni i čeoni viličari i uređaju diskontinuiranog i kontinuiranog transporta.

Lokomotive-dizel s električnim, hidrauličnim i mehaničkim prijenosom snage.
Vagoni.
Motorni vlakovi.
Tramvajska motorna kola i prikolice.
Poljoprivredni strojevi.
Građeviski strojevi — vibracioni valjci i motorni utovarivači, točkaši, bageri.
Mehanički i hidrostatski prenosnici snage, pumpe i razvodnici.
Bešavne čelične boce.
Sve vrste i tipovi ventila.
Butan-propan boce od 10 kg.
Kamp oprema.
Sve vrste i tipovi priključaka za butan-propan.
Ronilačka oprema.
Dišni aparati za zatrovane prostore.
Stabilni protupožarni uređaji.
Uređaji za plinsko zavarivanje, lemljenje i rezanje.
Baterije boca za različite plinove i svrhe.



RO PROIZVODNJA ENERGETSKIH POSTROJENJA

PROIZVODNI PROGRAM:

Industrijski kotlovi i kotlovi za toplane
Strmocijevni kotlovi
Kutnocijevni kotlovi (parni i vrelovodni)
Paketni kotlovi loženi krutim gorivom — ugljenom
Integral (paketni) kotlovi loženi tekućim i plinovitim gorivom
Steambloc kotlovi (parni i vrelovodni)
Kotlovi C-12 za centralna grijanja
Kotlovi i oprema za potrebe elektroprivrede
Visokotlačni kotlovi i dijelovi kotlova za TE

Ložišni uređaji za plin, ulje i ugljen
Regenerativni zagrijači zraka (LJUNGSTROEM), uređaji za odšljakivanje i ostala pomoćna oprema za konvencionalne i nuklearne elektrane
Brodski pogonski i pomoćni kotlovi
Kotlovi za iskorištenje otpadne topline
Kotlovi za spaljivanje gradskog i industrijskog otpada
Kotlovi za spaljivanje drveta i drvnog otpada
Uređaji za kemijsku i termičku pripremu napojne vode
Uređaji za pripremu tehnološke vode
Pomoćni uređaji za industrijske kotlovnice
Uređaji za pripremu otpadnih voda

DA LI SU SF_6 POSTROJENJA TLAČNE POSUDE ILI NE ?

Ivan Štahan, Zagreb

UDK 621.316.3
PREGLEDNI RAD

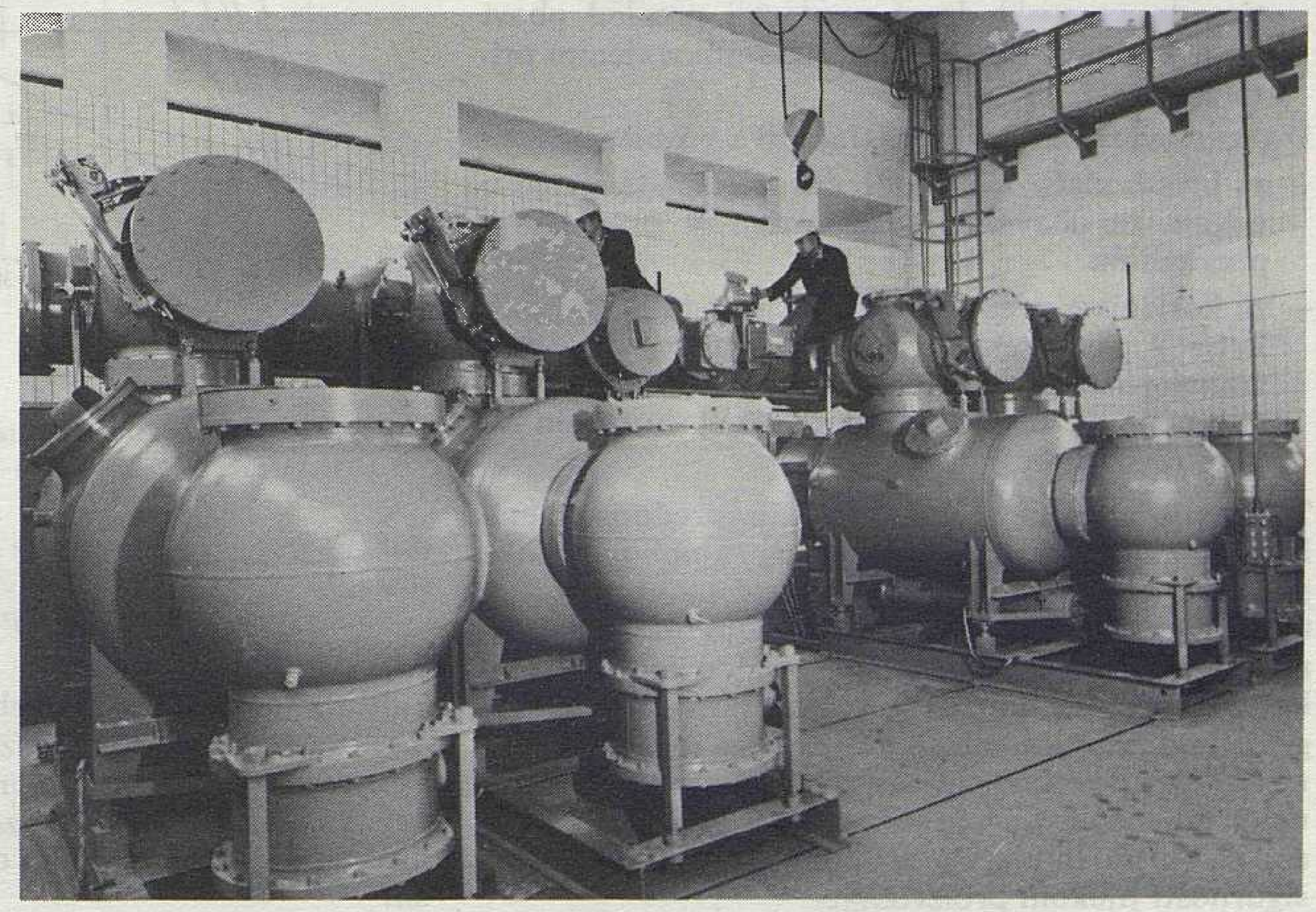
Razvoj novih tehnologija ne prate dovoljno i razni propisi i zbog toga su se proizvođači i korisnici metalom oklopljenih i sa SF_6 izloliranih sklopnih postrojenja susreli s ne baš jednostavnim pitanjem da li su metalna kućišta ovih postrojenja posude pod pritiskom ili ne? Članak razmatra ovo pitanje i donosi rješenje postignuto s Inspekcijom parnih kotlova SR Hrvatske.

Ključne riječi: SF_6 postrojenje, posude pod tlakom, propisi, ispitivanja.

1. UVOD

Razvoj i primjena novih dielektrika u gradnji sklopnih aparata (aparati i postojenja) u posljednjih dvadesetak godina bitno je promijenio konstrukciju, tehnologiju izrade i način upotrebe električnih postrojenja. Zahvaljujući plinskom dielektriku sumpornom heksafluoridu (SF_6), koji je praktično istisnuo npr. zrak pod pritiskom ili ulje, dakle klasične dielektrike, dimenzije električnih sklopnih aparata bitno su se smanjile. Što se više povećava nazivni napon postrojenja, to više dolaze do izražaja izvanredne karakteristike plina SF_6. Međutim, novi razvoj neumitno pokazuje da se čak i postrojenja nazivnog napona 12 kV mogu ekonomično izraditi na osnovi izolacije sa SF_6. To znači da će u bliskoj budućnosti klasični sklopni blokovi biti zamijenjeni novim izoliranim sa SF_6, a to je potpuno nova tehnologija gradnje i upotrebe. Dosadašnja iskustva u gradnji postrojenja za nazivne napone 123 kV i više pokazuju da mi u SFRJ možemo također graditi postrojenja istih karakteristika kao i najrazvijenije zemlje zapada.

Na žalost, brzi razvoj novih tehnologija ne prate i dovoljno brzo promjene na usavršavanju raznih propisa, prema kojima se moraju postrojenja projektirati, graditi, ispitivati i upotrebljavati u pogonu. Zbog toga su se proizvođači i korisnici metalom oklopljenih i sa SF_6 izoliranih sklopnih postrojenja visokog napona u našoj zemlji susreli s jednim ne baš jednostavnim problemom, a to je pitanje da li su metalna kućišta za ova postrojenja posude pod pritiskom ili ne? Poznato je da se unutar metalnih kućišta nalazi plin SF_6 pod pritiskom koji služi i kao izolacijsko sredstvo. Pritisak ovisi o tome da li je kućište predviđeno za prekidač ili neki drugi dio sklopnog postrojenja. Kod prekidača pritisak plina je u osnovi veći,



Slika 1. Sklopno postrojenje 123 kV TS Zagreb — Sjever za vrijeme montaže. Da li je to postrojenje tlačne posude ili ne?

dok je kod drugih dijelova niži. Kućišta se rade ili od čeličnih ili aluminijskih limova, a neki dijelovi i iz lijeva od aluminijske legure. U svakom slučaju metalna kućišta nalaze se pod pritiskom i bez obzira na tehnologiju izrade, fizikalno gledajući, predstavljaju u širem smislu posude pod pritiskom plina.

Prema »Pravilniku o izmjenama i dopunama tehničkih propisa za izradu i upotrebu parnih kotlova, parnih sudova, pregrejača pare i zagrejača vode« (Službnei list SFRJ br. 56 od 19. listopada 1972, član 4) definirane su tzv. kopnene tlačne posude kao dopuna članu 3. Službenog lista FNRJ br. 7 do 13. veljače 1957. Novim članom 3.a kopnenim tlačnim posudama se smatraju: »posude što se pune komprimiranim, tekućim ili podtlakom razgrađenim plinovima, i zrakom s pretlakom većim od 1 atm, te posude u kojima može nastati pretlak veći od 1 atm, koji za vrijeme od punjenja do pražnjenja ne mijenjaju mijesta«. Ovom definicijom, sva metalna kućišta metalom oklopljenih i sa SF_6 izloiranih sklopnih postrojenja smatraju se kopnenim tlačnim posudama i pripadaju u nadležnost Inspekcije parnih kotlova. Nadležnosti Inspekcije opisane su u Zakonu, i to ne samo radi dobivanja dozvole za proizvodnju ili uporabne dozvole, nego i kasnije tijekom upotrebe u obliku pregleda.

Članovima 29, 30. i 31. »Tehničkih propisa za izradu i upotrebu parnih kotlova, parnih sudova, pregrejača pare i zagrejača vode« (Službeni list FNRJ br. 7 od 13. veljače 1957) opisani su pregledi, prema kojima se za puštanje u rad SF_6 — postrojenja mora dobaviti »odobrelje za stavljanje u pogon«. Dalje, prema članu 31. istog zakon moraju se obaviti sljedeći pregledi i u rokovima:

a) ispitivanje hladnim vodenim pritiskom s obaveznim unutarnjim pregledom — nadalje do kraja šeste godine od posljednjeg izvršenog ispitivanja;
b) naredni unutarnji pregled — svake treće godine, s tim da se svaki drugi unutarnji pregled obavi istovremeno s ispitivanjem hladnim vodenim pritiskom.

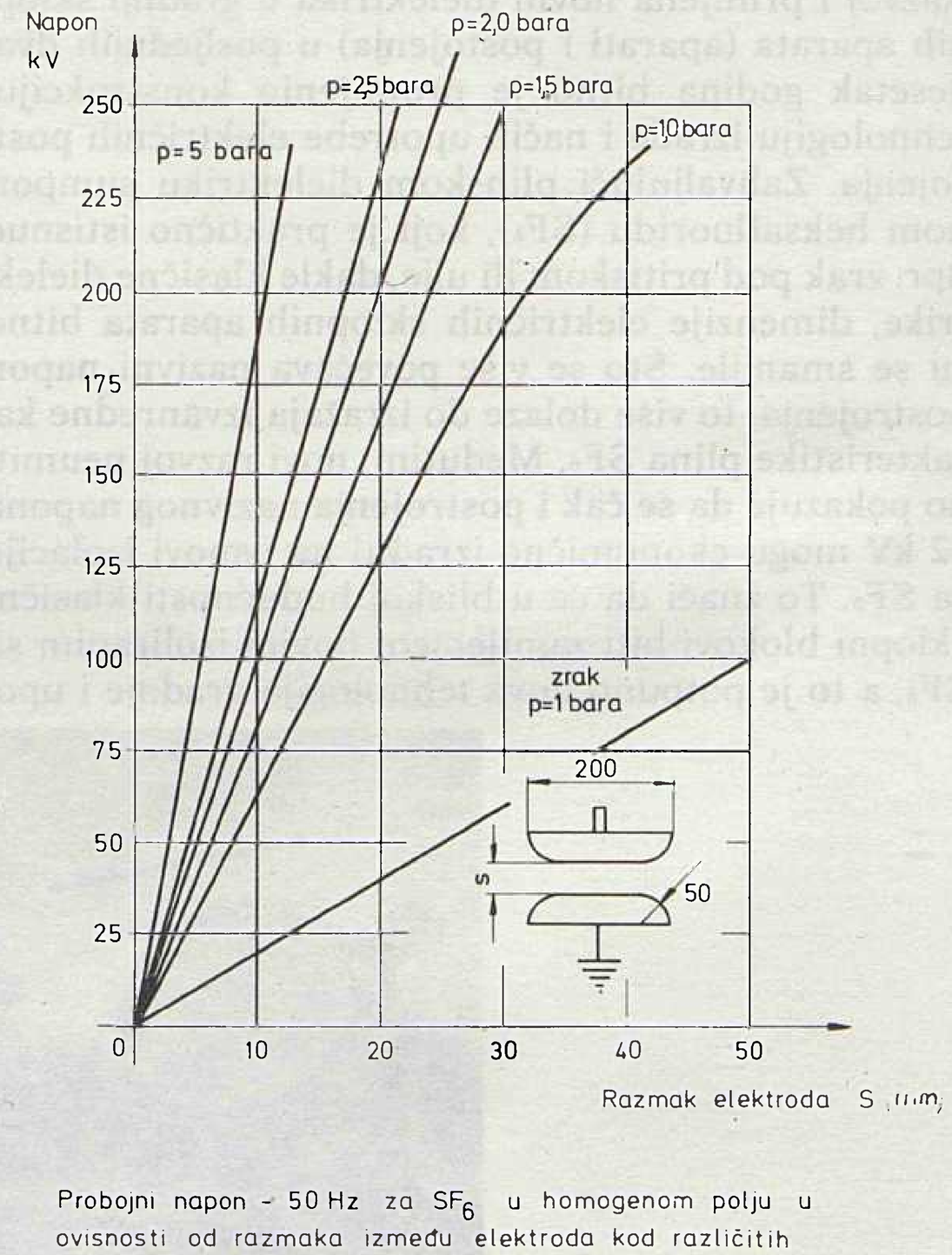
U vezi s ovim članovima nastaju dva problema:

— za proizvođače: dobivanje dozvole za stavljanje u pogon, te obavezno sudjelovanje u propisanim pregledima
— za korisnike; prekidanje pogona i ispitivanje svih kućišta postrojenja u uvjetima malog prostora transformatorske stanice, iako proizvođači daju garancije od 10 godina od stavljanja u pogon do prve revizije.

Takvim pristupom gubi se osnovna prednost metalom oklopljenog i sa SF_6 izoliranog sklopnog postrojenja, na kojem osim velike pogonske sigurnosti ne treba tijekom 10 godina vršiti revizije osim normalnih vanjskih pregleda. Prihvaćanjem spomenutih zakonskih propisa mogući je prekid pogona radi pregleda i od nekoliko mjeseci. Zbog toga je bilo potrebno pronaći dovoljno činjenica da se zakonski propisi ne primjene u slučaju SF_6—postrojenja, odnosno ako se i primjenjuju, da to bude samo radi povećane sigurnosti tijekom proizvodnje.

2. SF_6 – POSTROJENJA

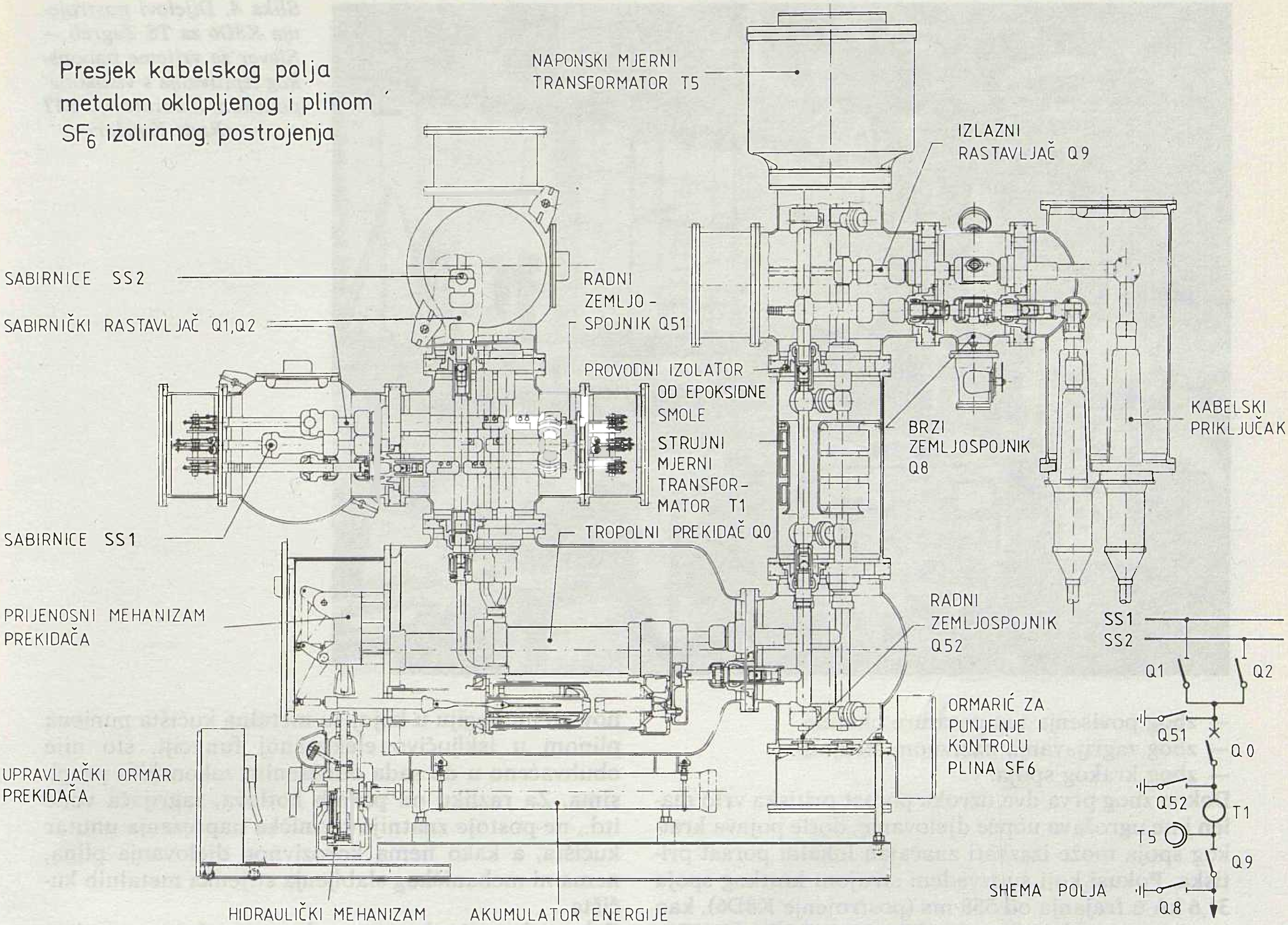
Sumporniheksafluorid (SF_6) pripada skupini elektronegativnih plinova (u odnosu na afinitet prema negativnim nabojima), ne gori, neotrovan je, bez boje je i mirisa i pet puta je teži od zraka (spec. masa kod 20°C i 101 kPA je 6,139 kg/m³). Ima simetričnu molekulu, a u centru ima jedan atom sumpora i 6 valentnih elektrona koji sadrže slobodne veze. Dimenzije molekula su velike, pa je i njezina površina presjeka velika, a to se računa kao površina mogućih sudara elektrona. Iz toga proizlazi da će se elektroni u SF_6 češće sudarati nego npr. u zraku, koji ima manju molekulu, a elektroni će u sudarima gubiti dio svoje kinetičke energije. Sudari elektrona i molekule uzrok su stvaranja teškog, tromog negativnog iona kojemu, zbog kratkog srednjeg slobodnog puta, ni električno polje ne daje dovoljno kinetičke energije za daljnju ionizaciju neutralnih molekula. Stoga je probojna čvrstoće plina SF_6 u homogenom polju kod atmosferskog tlaka približno tri puta veća od probojne čvrstoće zraka, kako se vidi na slici 2.



Probojni napon - 50 Hz za SF_6 u homogenom polju u ovisnosti od razmaka između elektroda kod različitih pritisaka plina (ETZ- dodatak 3-1966).

Slika 2. Probojni napon 50 Hz za SF_6 u homogenom polju u ovisnosti od razmaka između elektroda kod različitih pritisaka plina

Zahvaljujući malim potrebnim razmacima između dijelova pod naponom i uzemljenih dijelova u plinu SF_6, razvijena je tehnika metalom oklopljenih postrojenja visokog napona izoliranih plinom SF_6. Osnovne prednosti metalom oklopljenih postrojenja jesu:



Slika 3. Presjek vodnog (kabeiskog) polja oklopljenog postrojenja K8D6 s dvostrukim sistemom sabirnica

— male dimenzije. Zahvaljujući tome ova se postrojenja grade u središtima gradova, dakle što bliže velikim potrošačima električne energije. Npr., postrojenje proizvodnje SOUR-a »Rade Končar« tipne oznake K8D6 za nazivni napon 123 kV ima širinu jednog polja od 1 400 mm (npr. klasičan sklopni blok 38 kV ima širinu 1 600 mm) ugrađeno je u TS Zagreb — Sjever. U odnosu prema klasičnim postrojenjima za vanjsku montažu nazivnog napona 123 kV, SF_6 – postrojenje K8D6 ima svega do 20% potrebnu površinu, dok je kod viših napona potrebna površina još manja. Npr., 420 kV SF_6 – postrojenje treba svega 12% površine klasičnog postrojenja. Zahvaljujući malim dimenzijama, postoji mogućnost zamjene postrojenja 35kV novim postrojenjem 123 kV.

— osjetljivost na utjecaj zagađene okoline jer je postrojenje gotovo oklopljeno metalnim plaštem. To svojstvo naročito dolazi do izražaja u industrijskim sjedištima teške industrije i u obalnim područjima zbog slanoće atmosfere. Zgrada u koju se ugrađuje postrojenje ima vrlo male dimenzije i gotovo se uvijek može svojim izgledom uklopiti u okolinu.

— mehanički čvrst čelični oklop (npr. kod postrojenja K8D6 proizvodnje SOUR-a »R. Končar«) koji se dugo opire djelovanju električnog luka smetnje, tako da i najsporija zaštita može za to vrijeme djelovati. Međutim, ispitivanja s aluminijskim oklopom pokazala su da proboj oklopa od strane električnog luka dovoljno dugo traje da djeluju zaštite od kratkog spoja.

— mogućnost dopunjavati prema novim električnim shemama bez većih poteškoća s obzirom na to da se sva SF_6 – postrojenja grade na modulnom principu.

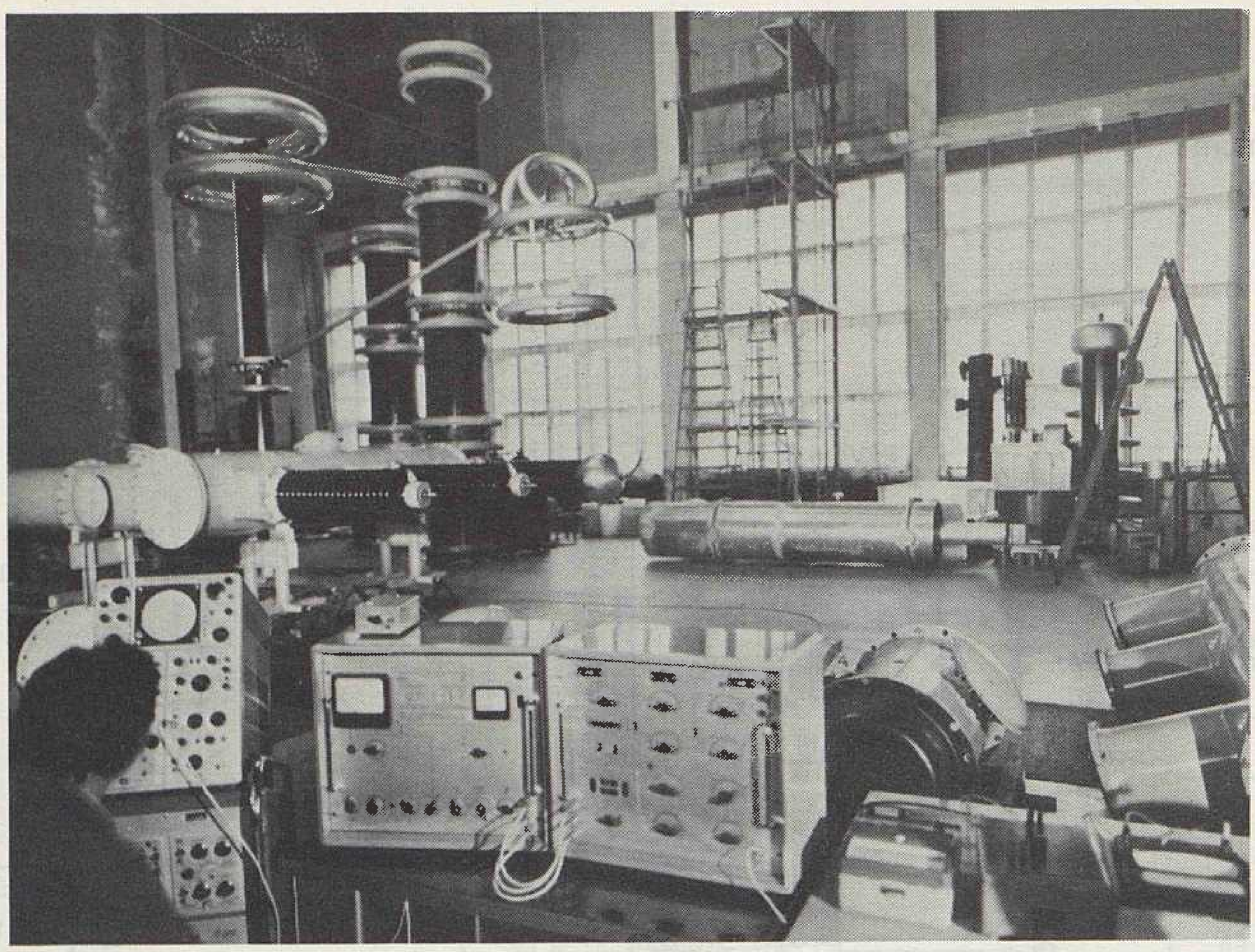
Filozofija gradnje sklopnih postrojenja s plinom SF_6 sastoji se u tome da se koriste izvanredna dielektrična svojstva pliņa SF_6 kao izolatora i da se potrebna površina postrojenja bitno smanji.

Pri tome plin SF_6 nalazi se pod pritiskom i npr. kod postrojenja tipa K8D6 za 123 kV imamo tri vrste pritiska:

— prekidač 6,5 bara pretlaka
— kabelske sekcije 5,4 bara pretlaka
— ostale sekcije 2,5 bara pretlaka.

Tri su razloga zbog kojih može porasti pritisak u postrojenju:

Energija, god. 33 (1984) 2, 137 – 142



Slika 4. Dijelovi postrojenja K8D6 za TS Zagreb — Sjever za vrijeme naponskog ispitivanja s visokonaponskom laboratoriju ETI — »Rade Končar«

— zbog povišenja temperature okoline
— zbog zagrijavanja nazivnom strujom
— zbog krakog spoja.

Dok je zbog prva dva uzroka porast pritiska vrlo malen i ne ugrožava uopće djelovanje, dotle pojava kratkog spoja može izazvati značajan lokalni porast pritiska. Pokusi koji su izvedeni strujom kratkog spoja 31,6 kA u trajanja od 558 ms (postrojenje K8D6), kao i u drugim poduzećima ENERGOINVEST i MINEL, pokazuju da su zaštitne membrane djelovale kod pritiska od 11 bara i u vremenu oko 60 ms, te da je razvijeni pritisak znatno manji od ispitnog pritiska metalnog plašta koji je za kućište prekidača 16,5 bara. Osim ove »mehaničke« zaštite djeluje i električna zaštita koja osigurava iskapčanje prekidača kod ove pojave. Značajniji problemi mogu nastati kod pada pritisaka zbog gubitaka plina poradi nesavršenosti brtvljenja, što direktno ugrožava izolacijsku sposobnost unutar metalnog kućišta. Smanjivanje pritiska kontrolira se kontaktnim manometrima i postoje dojave od optičke i zvučne signalizacije do blokade svih funkcija. Budući je plin SF_6 neotrovan i inertan te ne izaziva koroziju unutarnjih površina, može se zaključiti da on obavlja isključivo »električnu funkciju« unutar sklopnog postrojenja.

Međutim, i postrojenja za unutarnju montažu podvrgnuta su djelovanju promjena temperatura i može se pojaviti rosa, tj. vlaga. Zbog toga su u svakom odjeljku postrojenja postavljeni filtri za sušenje, čija veličina odgovara volumenu plina dotičnog odjeljka. I na taj način spriječeno je djelovanje korozije.

3. TLAČNE POSUDE ILI NE?

Metalom oklopljena i sa SF_6 izolirana sklopna postrojenja, kako je prethodno objašnjeno, predstavljaju novu tehnologiju u kojoj su metalna kućišta punjena plinom u isključivo električnoj funkciji, što nije obuhvaćeno u do sada donesenim zakonskim propisima. Za razliku od parnih kotlova, zagrijača vode itd., ne postoje znatnija termička naprezanja unutar kućišta, a kako nema korozivnog djelovanja plina, nema ni mehaničkog slabljenja stijenka metalnih kućišta.

Zakonodavac je zbo toga za kopnene tlačne posude u Sl. listu br. 56. od 19. listopada 1972. dao u članu 3. a točka 3. mogućnost da se u nedostatku domaćih propisa »primjenjuju odgovarajući tehnički propisi« razvijenih zemalja, odnosno propisi što ih odredi investitor u sporazumu s proizvođačem i inspektorom parnih kotlova«.

Zbog toga su istraženi propisi drugih zemalja, da bi se eventualnim pozivom na njih mogao s Inspektoratom parnih kotlova postići dogovor.

U Francuskoj, npr., svi tlačni sudovi s pretlakom od 4 bara pripadaju u periodične preglede Service de Mines i zbog toga svi proizvođači proizvode postrojenja s tlakom plina manjom od 4 bara. Tvrtke Merlin&Gerin i Delle proizvode postrojenja s nazivnim pritiskom od 3,5 bara, a najniži pritisak je 3 bara. Međutim, granica od 4 bara premašuje se u slučajevima punjenja postrojenja plinom pri temperaturi $-25°$ C, kada pritisak iznosi 6 bara, ali to se tolerira (J. Kieffer – Merlin&Gerin; G. Vosini — Alstrhos Delle. Le poste blinde dans les reseaux 400 kV — RGE 7–8/81 str. 551).

U SR Njemačkoj Technicher Überwachung Verein (TüV), u nedostatku propisa, pregledao je proizvodnju u tvrtki Siemens — Berlin i utvrdio: »Prema odredbama koje vrijede u SR Njemačkoj navedeni tipovi metalnih kućišta su strojni dijelovi opterećeni unutarnjim pritiskom, pa stoga ne podliježu ovdaš-

njim propisima za sprečavanje nezgoda »Tlačni spremnici« (VBG 17 – 1974) te pojedinačno ispitivanje vještaka nije potrebno.«

Prema tome, gledanje TüV-a na problem metalnih kućišta je kompromis između proizvođača i inspektora parnih kotlova, a svi dijelovi postrojenja SF_6 predstavljaju strojne dijelove opterećene unutarnjim pritiskom. Ovo rješenje TüV-a datira od 7. kolovoza 1975. Međutim, proizvođači SF_6 postrojenja nisu bili zadovoljni ovim kompromisnim rješenjem i predložili su dopunu zakona.

Dopuna i tumačenje zakona došlo je u 1980. g. BUNDESGESEZBLATT — Teil 1 — No 8 — Z 5702 AX od 27. 2. 1980 donosi novu klasifikaciju i pod specijalnim kućištima (dodatak II, paragraf 12 — točka 5) navode se i »metalna kućišta za električne sklopne aparate i postrojenja«. Ta kućišta svrstana su prema paragrafu 8 u tzv. IV grupu, tj. u područje natlaka iznad 1 bar i umnoška tlaka i zapremnine iznad 1 000.

U Dodatku II paragrafa 12. točka 5/1 navodi se da se svi spremnici za električne sklopne aparate i postrojenja ispituju na unutarnji pritisak. Međutim, ponovno ispitivanje (periodički pregled) može se odgoditi za 10 ili 15 godina od prvog ispitivanja, ovisno o tome radi li se o glavnom spremniku ili međuspremnicima. Dalje, u točci 5/3 navodi se da se spremnici za izolacijske materijale (SF_6 — plin predstavlja u električnom postrojenju izolaciju) iz grupe IV ne moraju ponovno ispitivati ako su u njemu pohranjeni plinovi koji ne djeluju korodirajuće na stijenke spremnika.

Na osnovi ovog zakonskog propisa i dogovora između TüV-a i proizvođača u SR Njemačkoj postupa se na sljedeći način:

— sva metalna kućišta za SF_6 postrojenje predstavljaju dijelove električnih sklopnih postrojenja i izuzimaju se iz nadležnosti TüV-a
— TüV pregledava (prvo ispitivanje) metalna kućišta samo na specijalni zahtjev kupca, što se posebno naplaćuje
— nije potrebna dozvola od TüV-a za puštanje u rad postrojenja i nema periodičnih pregleda.

GANZ — Budimpešta radi SF_6 postrojenja po licenciji BBC. Mađarski nadležni organi potvrdili su proizvodnu dokumentaciju i posvuda kontroliraju posude u proizvodnji te nemaju nekih problema s kasnijim ispitivanjem u toku eksploatacije (GANZ VILLAMOSSAGI MUVEK — Budapest 27. Aug. 1982; dopis »Rade Končaru« — Zagreb).

Različitost rješenja očito ovisi o nacionalnim propisima. SOUR »Rade Končar« obratio se Inspekciji prnih kotlova SRH sa zahtjevom za izdavanje rješenja za proizvodnju postrojenja K8D6 sa plinom SF_6. Nakon duljeg razmatranja niza dokumenata koji su Inspekciji stavljeni na raspolaganje, ona je utvrdila sljedeće:

1. Prema postojećim propisima u SFRJ ne može se točno razgraničiti da li se SF_6 postrojenje može ubrojiti u sudove pod pritiskom.
2. Plin SF_6 je neutralan, neotrovan i ne djeluje razarajuće na materijal.
3. U nekim zemljama, npr. SR Njemačkoj, ova oprema nije pod nadzorom državne inspekcije, već kontrolu kvalitete i ispitivanja preuzimaju stručni organi proizvođača i korisnika, koristeći se postojećim internim propisima.
4. Prema postojećim propisima u SFRJ, na opremi ovakve vrste koja se nalazi u upotrebi nije moguće provesti periodična ispitivanja a da se postrojenje za dulje vrijeme ne isključi iz napona. Svaki pregled i ispitivanje vodenim tlakom u uvjetima malog raspoloživog prostora u transformatorskoj stanici iziskivalo bi dulje zastoje i troškove koji s tehničkog stajališta nisu opravdani.
5. Sistem postrojenja je tako koncipiran da u normalnim okolnostima i uz pridržavanje svih projektom zacrtanih uvjeta ne može doći do porasta tlaka plina iznad radnog pritiska utvrđenog proračunom. (Točka 5 je doslovni navod u dopisu Inspekcije parnih kotlova SRH Broj 06-578-579/82 od 27. 12. 82.)

Na osnovi ovih konstatacija Inspekcija zaključuje:

1. Za svaki novi proizvod Tvornica »Rade Končar« dostavit će Republičkom inspektoratu parnih kotlova projektnu dokumentaciju na temelju koje će se izdati rješenje za odobrenje proizvodnje. Inspektorat parnih kotlova SRH kontrolirat će proizvodnju i obaviti ispitivanje probnim tlakom novih proizvoda. Izvršeni pregled i ispitivanje će se ovjeriti žigom na tablici proizvoda i izdavanjem potvrde za izvršenje pregleda i ispitivanja uz kompletiranje tehničko-atestne dokumentacije.

   Ovim načinom osigurava se:
   — veći nadzor i kvaliteta proizvodnje,
   — ostavlja se mogućnost ostalim inspekcijama u SFRJ da kasnije opremu u upotrebi zadrže pod svojim nadzorom
   — proizvođaču se osigurava nadzor državne inspekcije za slučajeve plasmana opreme na inozemno tržište
   — jednoobrazna dokumentacija za nove proizvode kao dokaz kvalitete pri tehničkim pregledima.
2. Strojna oprema, koja radi pod pritiskom plina SF_6, izuzima se iz kasnije kontrole Inspektorata parnih kotlova s tim da Tvornica »Rade Končar« propiše točne upute u vezi s nadzorom postrojenja u upotrebi.

4. ZAKLJUČAK

Kontrolu i ispitivanje dijelova postrojenja pod pritiskom SF_6 obavljat će nadležni inspektor tijekom proizvodnje, ali montirano postrojenja nije više u nadležnosti Inspektorata.

Prema tome, korisnik električnog ili drugog postrojenja koje radi pod pritiskom plina SF_6 nije dužan postrojenja prijaviti Inspektoratu parnih kotlova na

Energija, god. 33 (1984) 2, 137 – 142

području SR Hrvatske radi izdavanja propisanih certifikata.

Međutim, proizvođač postrojenja mora korisniku prilikom tehničkog pregleda postrojenja osigurati svu zakonom propisanu dokumentaciju i ateste, a to su:

— atest o pregledu i ispitivanju hladnim pritiskom svakog dijela postrojenja (atesti dobiveni od inspektora tijekom proizvodnje)
— atesti o kvaliteti materijala i čelični limovi, prirubnice, elektrode
— atesti zavarivača
— atesti o ispitivanju zavara prosvjetljavanjem.

Nadzor postrojenja u upotrebi mora se izvršiti prema posebnim uputama proizvođača, a vrijeme i opseg radova ovise o:

— broju prekidanja kratkog spoja
— učestalosti sklapanja
— vremenu koliko je postrojenje u upotrebi.

Za sada proizvođač predviđa preglede i održavanje u tri grupe:

1. rutinska kontrola — svakih 5 godina,
2. mala revizija — nakon 1000 sklapanja (uklop + isklop) rastavljača i zemljospojnika, odnosno najkasnije nakon 10 godina u pogonu,
3. velika revizija — nakon 2000 sklapanja rastavljača i zemljospojnika ili nakon 20 godina.

Sve tri grupe imaju poseban popis radova što ga propisuje proizvođač.

ARE SF6 ASSEMBLIES PRESSURE VESSELS OR NOT?

Development of new technology is not complitly followed by standards and guides, and due to that it is not clear for producers and users of SF6 assemblies whether are presure vessels or not? In the article is discused that question and presented solution obtained in cooperation with Inspection for boilers of SR Croatia.

SIND DIE SF6 ANLAGEN DRUCKGEFÄSSE ODER NICHT?

Die Entwicklung neuer Technologien wird nich von entsprechenden Vorschriften begleitet, deshalb stellen die Hersteller und Nutznießer der mit Metall beschlagenen und SF6 isolierten Schalter-Anlagen die keineswegs einfache Frage, ob die Mettal — Gehäuse dieser Anlagen Druckgefäße sind order nicht?
Der Artikel behandelt diese Frage und bringt eine Lösung die durch die Inspektion der Dampfkessel SR Kroatiens erreicht wurde.

ЯВЛЯЮТСЯ ЛИ ЭЛЕГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ СОСУДАМИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ?

Развитию новых технологий не сопутствуют в достаточной степени соответствующие правила, а потому изготовители и потребители КРУ с элегазовой изоляцией столкнулись с не столь уж простым вопросом: являются ли данные установки сосудами под давлением? Статья рассматривает поднятый вопрос и выносит решение, достигнутое с Инспекцией паровых котлов СР Хорватии.

Naslov pisca:

Ivan Štahan, dipl. ing.
»Rade Končar«, 41000 Zagreb,
Fallerovo šet. 22

Uredništvo primilo rukopis
1983-04-23

RADOVI U TRAFO-STANICAMA SA STAJALIŠTA SIGURNOSTI

Nikola Petric, Zagreb

UDK 621.314.21
STRUČNI RAD

Prikazane su zaštitne mjere i redoslijedi njihove provedbe pri radu u električnim postrojenjima visokog i niskog napona. Posebno je istaknuta nužnost primjene pet pravila sigurnosti u transformatorskim stanicama, kao i nužnost raspolaganja potrebnom opremom.

Ključne riječi: Zaštita pri radu, održavanje elektropostrojenja, uzemljenje i kratko spajanje, sigurnosne zaštitne mjere.

UVOD

Rad na električnim postrojenjima treba organizirati tako da je pri tome omogućena najveća sigurnost. To se regulira detaljnim internim propisima o tehničkim mjerama za siguran rad. Prije početka radova treba postaviti zahtjev dispečerskoj službi za predviđene radove. Na temelju toga rukovodilac radova dobiva dozvolu za rad ili dozvolu da sam izvrši dio iskapčanja postrojenja.

Prije početka rada treba provesti sigurnosne mjere uz pridržavanje pet osnovnih mjera.

OPĆENITO

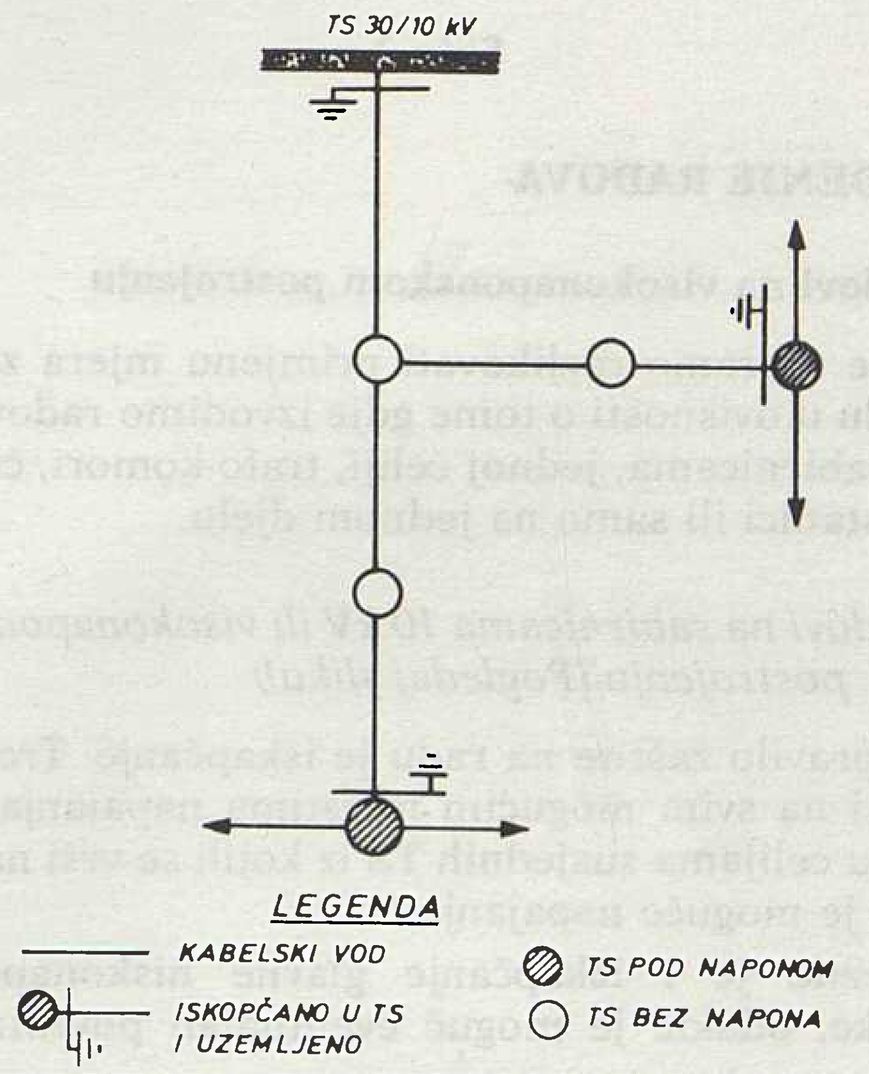
Uz nužno rutinsko uklanjanje kvarova, svaka distributivna radna organizacija mora svake godine dati plan održavanja za sva električna postrojenja, a posebno za TS 10/20/ /0,4 kV. Iz primjera jednog plana održavanja sl. 1 vidimo da je u jednom radnom nalogu moguć zahtjev za radom na više TS.

U skici priloženog plana dana je shema tokova elastične energije s oznakom iskopčanih TS od dispečerske službe i primijenjenih osnovnih zaštitnih mjera na radu.

U ovakvom sistemu održavanja, gdje je u jednoj grupi iskopčano više transformatorskih stanica, pravila sigurnosti se lako primjenjuju uz pretpostavku da je riješen izbor zaštitne opreme sa stajališta tipa i presjeka užadi za priručno uzemljenje.

Ovdje ne možemo ući u detalje specifičnosti pojedinih vrsta električnih postrojenja, pogotovo onih za starija postrojenja gdje je pojedina primjena zaštitnih mjera na radu onemogućena, a to se rješava prema mogućnostima na objektima uz posebne upute.

Prilikom izvođenja radova za svaku TS, odnosno za svako mjesto rada, mora, se primijeniti pet pravila sigurnosti:



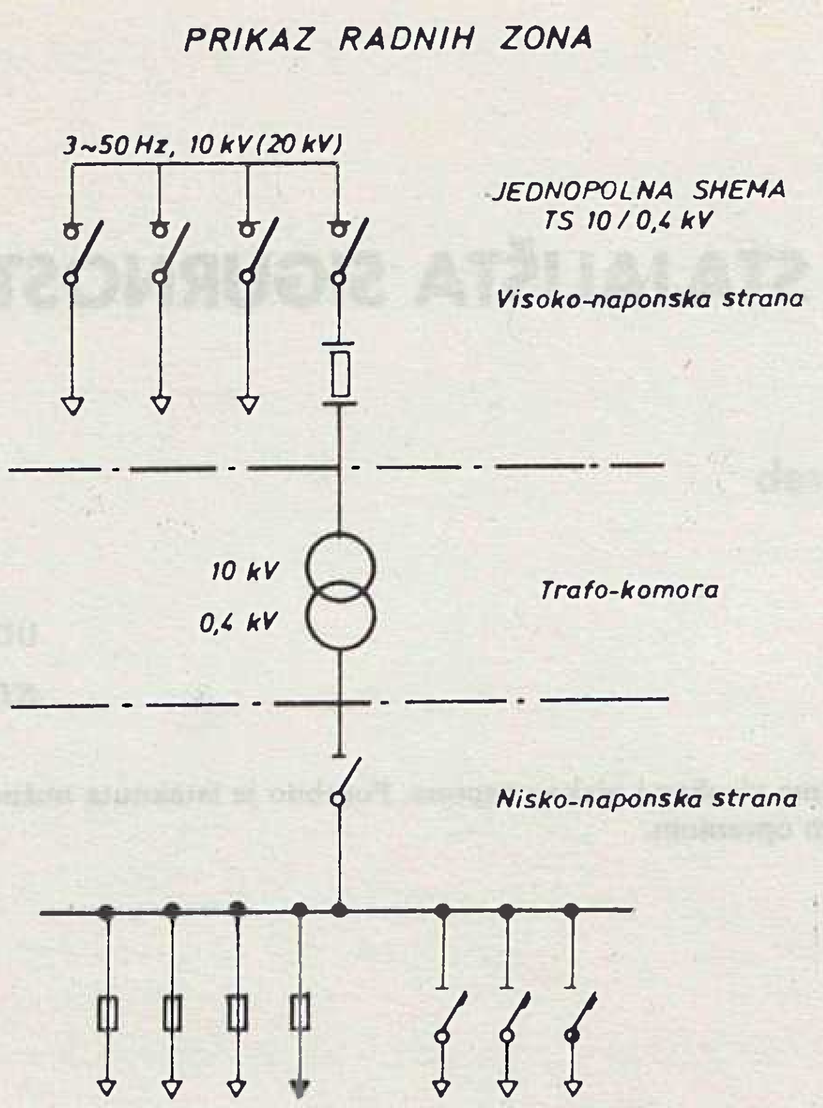
Slika 1.

1. Iskopčaj!
2. Osiguraj od ponovnog (slučajnog) ukapčanja!
3. Provjeri beznaponsko stanje!
4. Uzemlji i kratko spoji!
5. Ogradi mjesto rada!

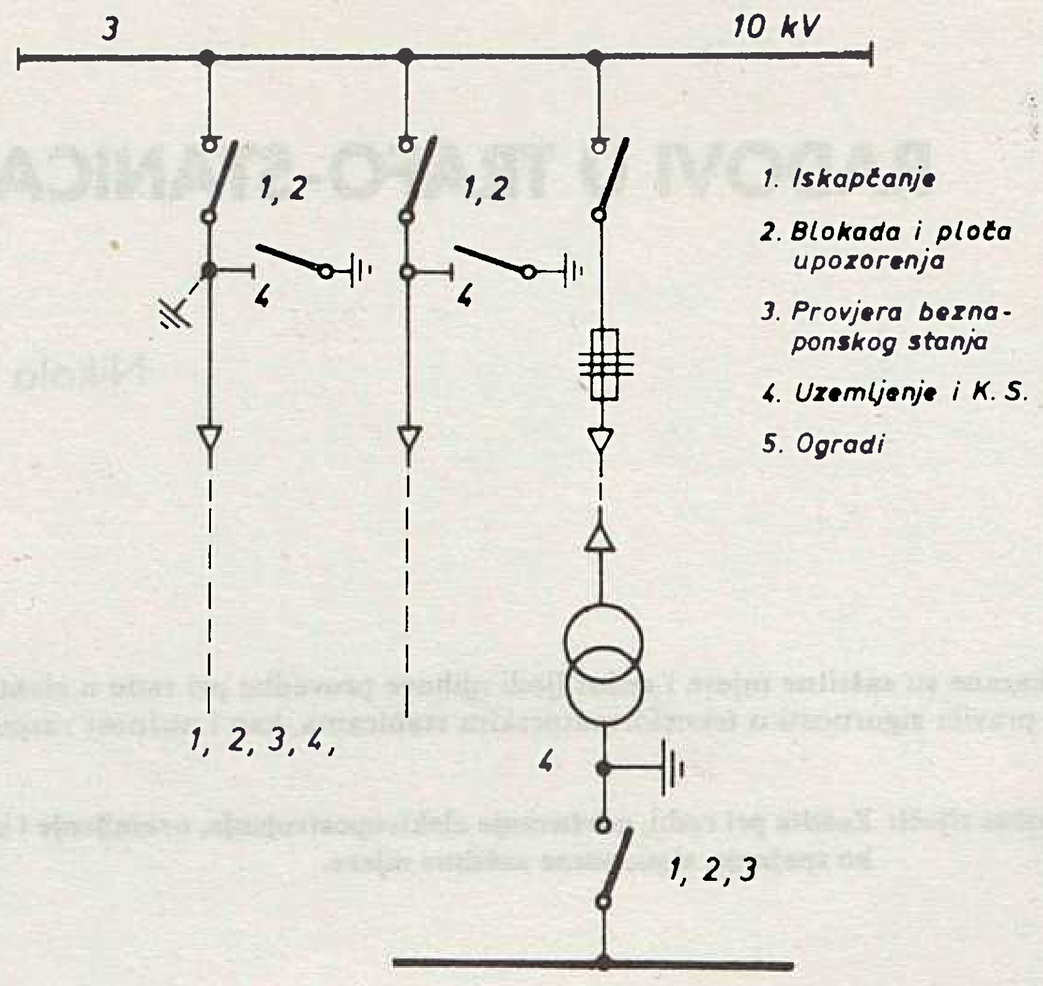
S obzirom na radne manevre, moramo razgraničiti podjelu rada u TS prema mjestu rada, i to na:

1. visokonaponsko postrojenje,
2. trafo-komoru,
3. postrojenje niskog napona.

Na sl. 2. dan je prikaz tih zona koje će se pojedinačno obraditi.



Slika 2.



Slika 3.

IZVOĐENJE RADOVA

1. Radovi na visokonaponskom postrojenju

I ovdje moramo razlikovati primjenu mjera zaštite na radu u ovisnosti o tome gdje izvodimo radove, da li na sabirnicama, jednoj ćeliji, trafo-komori, čitavoj trafo-stanici ili samo na jednom djelu.

I. Radovi na sabirnicama 10 kV ili visokonaponskom n.n. postrojenju (Pogledaj sliku!)

Prvo pravilo zaštite na radu je iskapčanje. Treba ga obaviti na svim mogućim mjestima napajanja, a to znači u ćelijama susjednih TS iz kojih se vrši napajanje ili je moguće napajanje.

Obavezno je i iskapčanje glavne niskonaponske sklopke, odakle je moguć eventualan povratni napon.

Na svim navedenim i u skici prikazanim mjestima isklopa primjenjuju se ostala pravila zaštite na radu, uz napomenu da se na mjestima izlaza ukapčaju noževi za uzemljenje ili se alternativno postavljaju priručne naprave za uzemljenje i K.S.

Sljedeća, manipulacija jest iskapčanje i samih sklopki u trafo-stanicama kako bi se oslobodile sabirnice. Istovremeno se ukapčaju noževi za uzemljenje kod izlaznih rastavljača, ako oni postoje, ili se postavljaju priručna uzemljenja.

Prije postavljanja priručnih uzemljivača obavezno je provjeriti beznaponsko stanje.

Obavljaju li se radovi na rastavljaču s noževima za uzemljenje, obavezno je provesti priručno uzemljenje na kabelskom dolazu, a to znači ispred rastavljača.

U načelu, rad na sabirnicama visokog napona ne razlikuje se od rada na cijelom viskonaponskom dijelu postrojenja TS 10/0,4 kV.

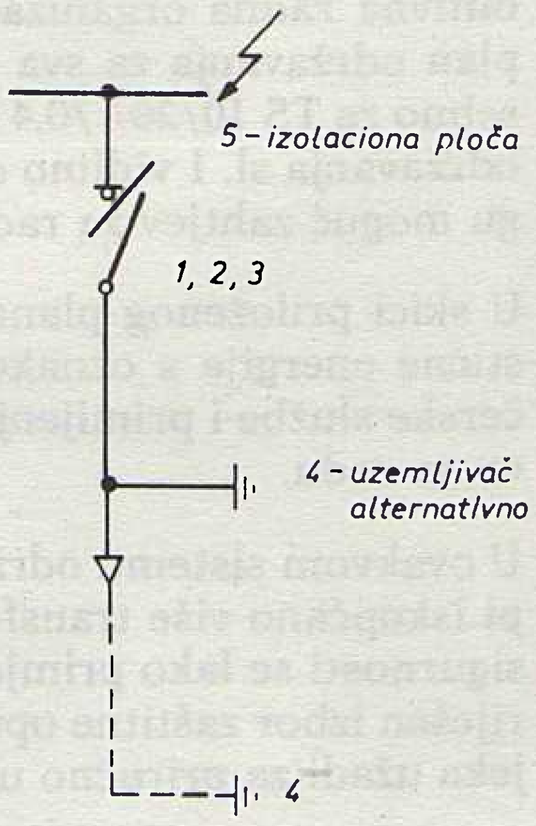
Tipizacijom zaštitne opreme treba nastojati da se isti priručni uzemljivač upotrebljava na visokom i na niskom naponu. Tim usklađenjem izbjeći će se moguća zamjena i nepotrebno nošenje različite opreme na radilištu.

II. *Jedna ćelija — mjesto rada*

Rad u jednoj ćeliji stvara znatno veće probleme nego što bi se moglo zaključiti na prvi pogled. Pod tim radovima razumijevamo radove za koje nije potrebno iskopčati sistem sabirnica, pa je dio ispod rastavne sklopke odnosno rastavljača iskopčan.

To su, na primjer, radovi na mjerenju ili ispitivanju kabela, kabelske glave ili dijela postrojenja ispod rastavljača. Vidi sliku.

1. iskopčaj
2. osiguraj od ponovnog ukapčanja
3. provjeri beznaponsko stanje
4. uzemljenje i K.S.
5. ograđivanje, izolacijskom pločom



Slika 4.

Mjesta rada osiguravaju se na sljedeći način: Izvrši se iskapčanje najprije s druge strane kabela u ćeliji susjedne trafo-stanice, a zatim u ćeliji gdje će se obavljati radovi. Nakon toga se izvrši blokada, postavi ploča upozorenja i ispita beznaponsko stanje.

Ako su u ćeliji postavljeni noževi za uzemljenje, oni se ukapčaju. O vrsti rada ovisi da li će se ukopčati noževi za uzemljenje, postaviti priručno uzemljenje

ili ostaviti kabel iskopčan, što je moguća alternativa u slučaja ispitivanja greške kabela.

Kod rada u jednoj ćeliji smatra se da je najosnovnija mjera zaštite na radu postavljanje izolacijske ploče između noževa rastavljača, odnosno rastavne sklopke kojom se provodi ograđivanje od dijela pod naponom.

Ploča mora zadovoljavati mnoge uvjete, što je opisano u drugom poglavlju.

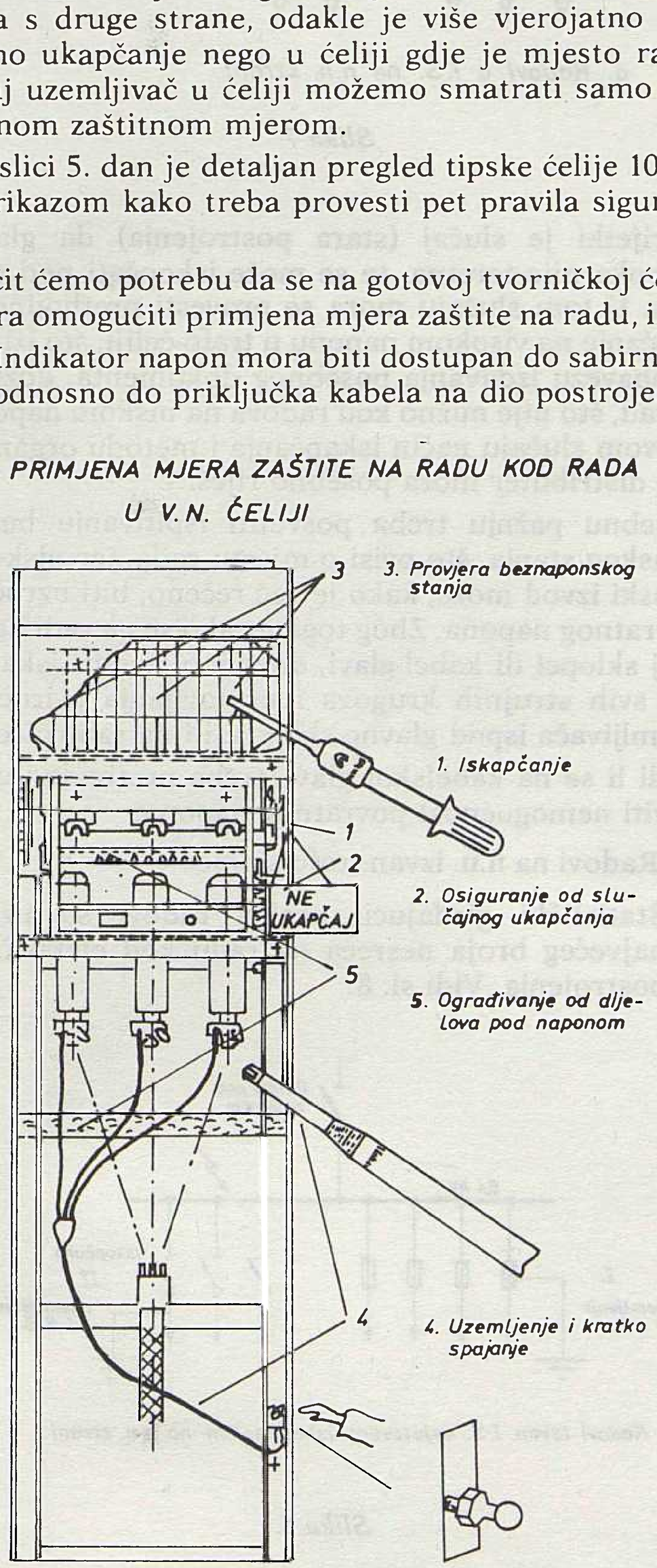
Diskutabilno je postavljanje priručnog uzemljenja u samoj ćeliji i uz samo mjesto rada jer bi kod slučajnog ukapčanja direktan kratki spoj sigurno uzrokovao posljedice za radnika u neposrednoj blizini, pa smatramo da je mnogo bitnije uzemljenje i K.S. kabela s druge strane, odakle je više vjerojatno slučajno ukapčanje nego u ćeliji gdje je mjesto rada. Ovaj uzemljivač u ćeliji možemo smatrati samo dodatnom zaštitnom mjerom.

Na slici 5. dan je detaljan pregled tipske ćelije 10 kV s prikazom kako treba provesti pet pravila sigurnosti.

Uočit ćemo potrebu da se na gotovoj tvorničkoj ćeliji mora omogućiti primjena mjera zaštite na radu, i to:

a) Indikator napon mora biti dostupan do sabirnica, odnosno do priključka kabela na dio postrojenja.

PRIMJENA MJERA ZAŠTITE NA RADU KOD RADA U V.N. ĆELIJI



Slika 5.

b) Blokada iskopčanog rastavljača mora biti omogućena mehaničkim putem. Eventualno se može dopustiti vađenje ručice, ali uz obavezno postavljanje ploče »Ne ukapčaj«.

c) Uzemljenje i kratko spajanje provodi se ugrađenim rastavljačima s noževima za uzemljenje ili uz omogućavanje postavljanja priručnog uzemljivača.

Proizvođači postrojenja malokad omogućuju lako postavljanje priručnog uzemljivača, pa često neposredni održavaoci postrojenja moraju sami omogućiti prikladno postavljanje uzemljivača s ugradnjom prikladnih priključaka. »Mehanika« — Trbovlje svojim asortimanom proizvoda to omogućuje.

Smatramo najprikladnijim postavljanje kuglastog priključka PK — 25 na vanjski dio ćelije: T. pri dnu, dok se ugaoni T-priključci tipa PT-14 postavljaju na sabirnice, a na njih se spajaju priključne stezaljke užeta za kratko spjanje.

Na kuglasti priključak najprije se postavlja uže za uzemljenje. To se obavlja ručno.

Uže za kratko spajanje obavezno se postavlja izolacijskom motkom.

Izbor dimenzije užeta ovisi o trajanju i veličini struja kratkog spoja, što određuju Tehnički propisi.

d) Zadnja mjera osiguranja jest ograđivanje mjesta rada. Pod time se smatra postavljanje izolacijske ploče između noževa rastavljača

Radi nemogućnosti postizavanja propisanog zračnog raspona između izolacijske ploče i gornjega dijela rastavljača koji ostaje pod naponom, izolacijska ploča mora zadovoljavati posebne tehničke uvjete u pogledu dielektrične čvrstoće, izolacijske otpornosti i mehaničkog svojstva. To je definirano prema JUS N. B4. 050.

Nužnost za postavljanje izolacijske ploče između noževa rastavljača ukazuje nam se kod potreba izvođenja radova u jednoj ćeliji, dok ostale susjedne moraju ostati pod naponom. To su slučajevi rada na kabelu, mjernom transformatoru ili prekidaču.

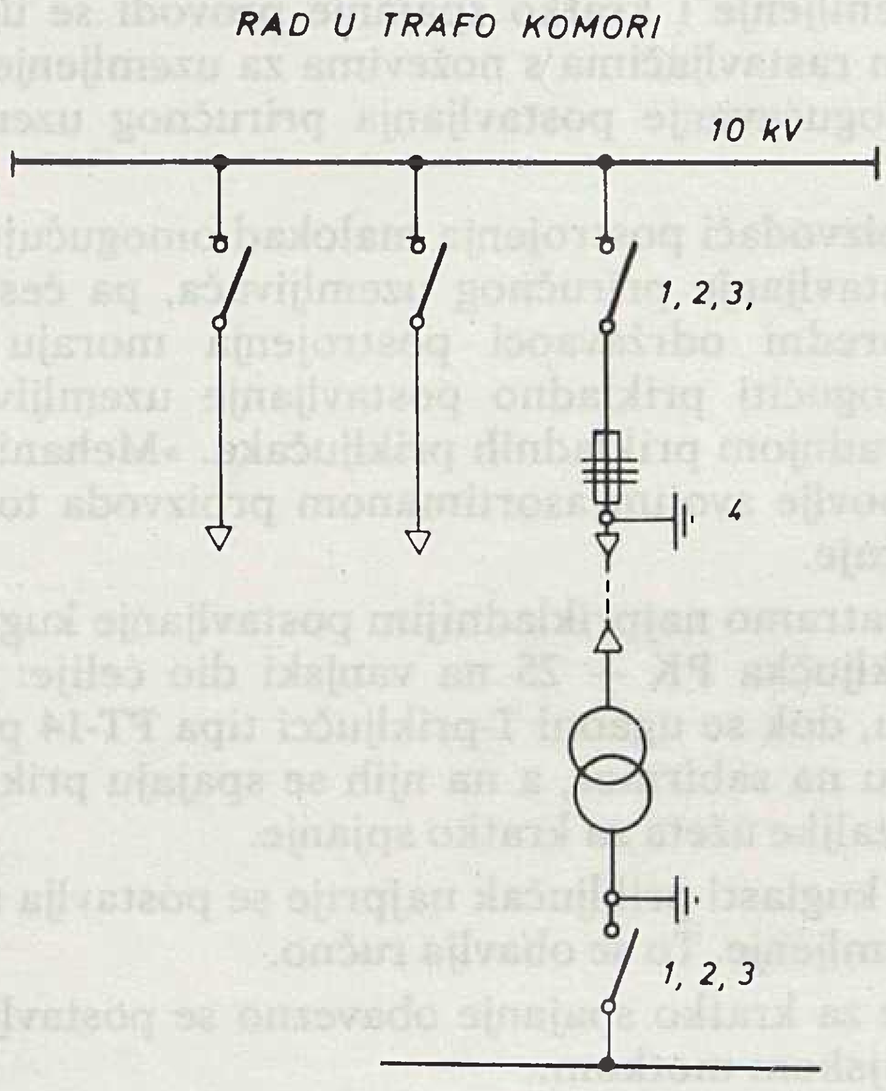
e) Sve spomenuto direktno utječe na ekonomsku stranu održavanja električnih postrojenja. Jer, ako ne možemo ostvariti bilo koju fazu sigurnosti, neminovno je iskapčanje cijele, trafo-stanice, a time i potrošača u potrošnji od gotovo 630 kVA. Kod trafo-stanice većih napona i snaga može doći do nepotrebnog iskapčanja važnih potrošača kao što su bolnice, pekare i sl., jer se ne možemo vezati i osloniti na rezervna napajanja — agregate.

Zbog toga i postoji tendencija da se prijeđe na rad pod naponom, čime bi u svako doba bila zagarantirana stalna isporuka energije potrošačima.

III. Rad u trafo-komori

Za sigurno izvođenje radova na transformatoru mora se najprije provesti iskapčanje na visokom napo-

nu u trafo-ćeliji, a zatim na niskonaponskoj glavnoj sklopci, čime se onemogućava eventualan povratni napon s niskonaponske strane.



Slika 6.

Priručno uzemljenje i K.S. treba također kao iskapčanje, ostvariti s visokonaponske i niskonaponske strane, neposredno ili što bliže mjesta iskapčanja, a to znači izvan trafo-komore.

Često se priručni uzemljivač postavlja u trafo-komori neposredno uz transformator, što nije ispravno jer u slučaju nepredviđenog kratkog spoja može doći do nesreće radnika koji je u neposrednoj blizini uzemljivača, a i do havarije transformatora.

Kod mogućeg slučajnog ukapčanja i nastanka K.S. na uzemljivaču pojavljuju se snage od 250 MVA, uz struju od 14 kA, čime dolazi do jakog električnog luka na mjestima priključka, koje je najčešće mjesto rada.

Osim toga, zbog velikih sila nedovoljno pritegnute stezaljke priručnog uzemljenja postaju u tom momentu opasni projektili.

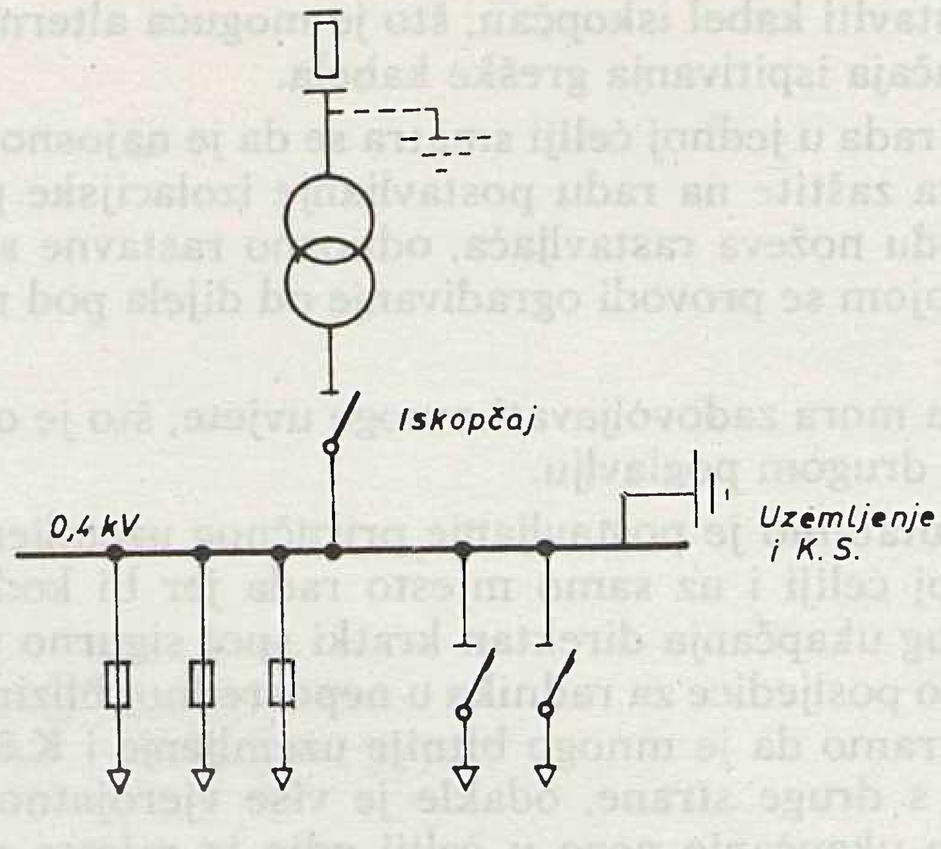
IV. Rad na postrojenju niskog napona

Moramo razmotriti dva slučaja i to:

a) rad u električnom postrojenju n.n. u trafo-stanici
b) rad na električnom postrojenju n.n. izvan TA, a koje uvjetuje iskapčanje u trafo-stanici,

a) Pogledajmo koje sigurnosne mjere treba provesti kada se radovi izvode u trafo-stanici na sl. 7.

Osnovna mjera sigurnosti je iskapčanje glavne n.n. sklopke i postavljanje opomenske pločice »Ne ukapčaj«, jer u nizu asortimana 1 000 A sklopki samo ih pola ima mogućnost blokiranja od slučajnog ukapčanja.



a. Radovi u T.S. na n.n. strani

Slika 7.

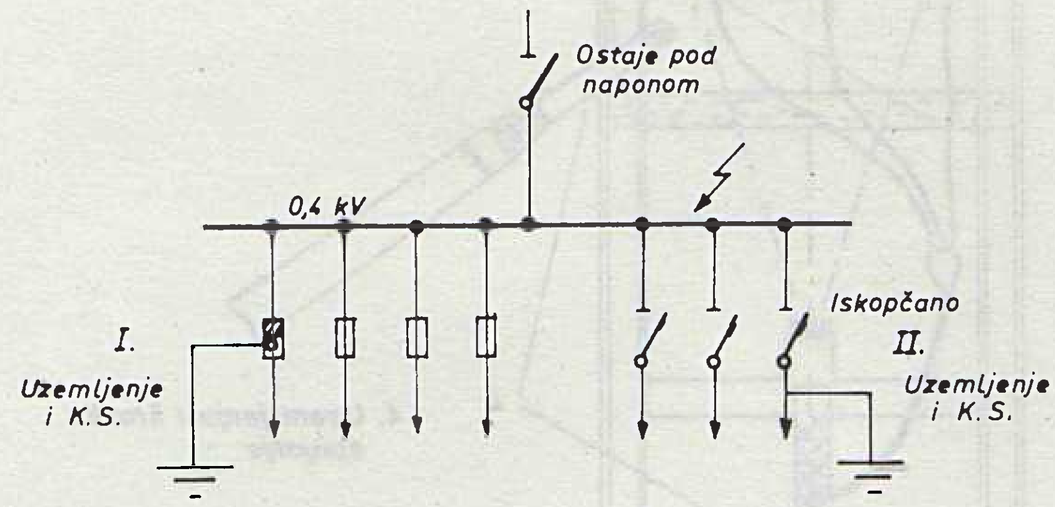
Nerijetki je slučaj (stara postrojenja) da glavna sklopka nije teretna, te se može iskopčati pod teretom. U tom slučaju mora se provesti prethodno iskapčanje na visokom naponu u trafo-ćeliji, što iziskuje obavezu izdavanja posebnog dokumenta, dozvole za rad, što nije nužno kod radova na niskom naponu. U ovom slučaju način iskapčanja i metodu organizacije distributer mora posebno riješiti.

Posebnu pažnju treba posvetiti ispitivanju beznaponskog stanja, što ovisi o mjestu rada, jer niskonaponski izvod može, kako je već rečeno, biti uzročnik povratnog napona. Zbog toga je, ako se ne radi na samoj sklopci ili kabel-glavi, dovoljno izvršiti iskapčanje svih strujnih krugova i postavljanja priručnog uzemljivača ispod glavne sklopke ili na sabirnice.

Radi li se na kabelskoj glavi, treba prethodno ustanoviti nemogućnost povratnog napona.

b) Radovi na n.n. izvan trafo-stanice

Statistički gledajući, ovakvi radovi su uzrok najvećeg broja nesreća na radu kod električnih postrojenja. Vidi sl. 8.



b. Radovi izvan T.S. uvjetovani iskapčanjem na n.n. strani

Slika 8.

Najsigurniji način rada bio bi ako bi se iskopčale glavne n.n. sklopke. Kako bi u tom slučaju svi potrošači ostali bez energije, takav način rada je ekonomski neopravdan.

Ostaje nam mogućnost iskapčanja samo strujnih krugova na kojima se izvodi rad.

Radi nepoznavanja problematike zaštite na radu često se ne može postaviti priručni uzemljivač jer za to nije osigurano mjesto za priključak spojnica.

»Mehanika« — Trbovlje svojim asortimanom priručnih uzemljivača osigurava potreban izbor, pa na mjestima izvađenih n.n. visokoučinskih patrona možemo postaviti uzemljivač i K.S. tipa NOZ-1 a za priključak na sabirnicu možemo koristiti stezaljke tipa M.

Sigurnost izvođenja radova na n.n. izvan trafo-stanica zaslužuju posebnu pažnju, pa je treba posebno obraditi.

Zaključak:

a) Sva električna postrojenja, a posebno trafo-stanice kao osnovna rasklopišta, potrebno je projektirati i izvoditi tako da se na svim potrebnim mjestima mogu primijeniti pet pravila sigurnosti na radu.
b) Zaštitnu opremu za rad na električnim postrojenjima treba prilagoditi i kompletirati prema potrebi namjene.

LITERATURA

[1]VDE 0105/75

[2]»Elektrizitätswirschaft — VDEW 1975.

[3] Bulletin 5/75. International section of the ISSA for the Prevention

[4] Materijali sa savjetovanja o zaštiti na radu na el. postrojenjima, Dubrovnik 1975.

[5] Petric Nikola, *Radovi pod naponom na elektrodistributivnim postrojenjima,* Savjetovanje o eksploataciji el. distribit. mreže Jugoslavije H. Novi, 1977.

[6] Petric Nikola, *Primjena pet pravila sigurnosti kod radova na n.n. zračnoj mreži* »Energija« br. 3–4, 1976

[7] Pravila i mjere sigurnosti pri radu na elektroenergetskim objektima GSE — 40/81.

SECURITY WORKS IN TRANSFORMER STATIONS

In the article are presented protection measures and schedule for implementation during work in assemblies of high and low voltage. Specially is highlighted implementation of five security rules in transformer stations as well as usage of appropriate equipment.

ARBEITEN IN DEN TRANSFORMATORHÄUSCHEN VOM STANDPUNKT DER SICHERHEIT

Geschildert wurden die Schutzmaßnahmen und die Reihenfolge ihrer Durchführung während der Arbeit an elektrischen Anlagen der Hochspannung und Niederspannung. Besonders hervorgehoben wurde, daß die Anwendung der fünf Sicherheitsmaßnahmen in den Transformatorhäuschen und die entsprechende Ausrüßtung notwendig sind.

РАБОТЫ НА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЯХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Представлены защитные мероприятия и порядок их проведения при работах на электроустановках высокого и низкого напряжения. Особо подчеркивается необходимость применения пяти правил безопасности на трансформаторных подстанциях, а также необходимость иметь в распоряжении необходимое оборудование.

Naslov pisca:

Nikola Petric, dipl. ing.
»Elektra« Zagreb, 41000 Zagreb, Gundulićeva 32

Uredništvo primilo rukopis
1983-09-12

KAKO UKROTITI VISOKI NAPON

Pod ovim naslovom izašao je u dnevniku Slobodna Dalmacija intervju s inženjerom mr Igorom Vojvodićem povodom njegove magistarske radnje o djelovanju električnih polja na čovjeka. Članak ima prilično alarmantan ton, pa smatramo da treba naše stručnjake s njime upoznati i dati odgovarajući komentar. Donosimo članak u cijelosti:

»Da je visoki napon opasan po zdravlje, dokazao je nedavno i inženjer elektrotehnike Igor Vojvodić, inspektor rada u Sekretarijatu za inspekcijske poslove Zajednice općina Split u svom magistarskom radu, koji je obranio na zagrebačkom Medicinskom fakultetu. Nije, dakako riječ o opasnosti doticanja visokim naponom nabijenih žica, što se otkako je struje zna, nego o jednoj drugoj vrsti neželjenog utjecaja. O čemu se radi?

— Četiri godine sam proučavao utjecaj visokih napona na zdravlje radnika koji rade u blizini — kaže Igor Vojvodić — i dobivene rezultate, naravno, uspoređivao s onima u radnika zaposlenih u »normalnim« uvjetima. Tako sam na temelju ispitivanja 30 radnika u elektranama i rasklopnim postrojenjima u Omišu, Šibeniku, Sinju i Konjskom (a svima je radno mjesto bilo kod 220 i 380 kilovolti) došao do spoznaje kako svi ti ljudi osjećaju veću nervozu, vrtoglavicu, gubljenje snage i smetnje s disanjem. I cijeli magistarski rad (»Djelovanje elektromagnetskog polja industrijske frekvencije na eksponirane radnike u elektromagnetskim postrojenjima visokog napona i mjere zaštite«) možemo svesti u dvije riječi — električno polje loše utječe na organizam i zato treba što prije izmijeniti sadašnje propise te uvesti obavezne mjere zaštite za sve takve radnike.

— Što Vas je potaknulo da znanstveno istražujete baš utjecaj visokih napona na zdravlje čovjeka?

— Na to su me navele brojne žalbe radnika u elektranama koji su mnogo češće bolovali, i to uglavnom od unutrašnjih bolesti, nervnih, očnih i bolesti ovisnosti.

— U magisteriju ste predložili i mjere zaštite?

— Naravno. One u našoj zemlji još uvijek nisu obavezne ali bi trebalo da se nove odredbe što prije uvedu u pravnu regulativu. Za to ne bi bila potrebna vrlo velika sredstva, a efekti bi sasvim sigurno bili vrlo značajni. Riječ je o obaveznom metaliziranom odijelu za pojedinca ili pak o svojevrsnom »paravanu« koji bi se, kao zajednička zaštita, mogao postaviti u onom smjeru odakle neželjeni utjecaj dolazi.

Na kraju smo još zapitali Igora Vojvodića — budući da se ne događa tako često da inženjer elektrotehnike magistrira na medicinskom fakultetu — koje je on sada znanosti magistar? Ipak, medicinske, rekao nam je. Ali ostaje još nešto. Nakon svih dobivenih rezultata koji upućuju na mogućnosti prevladavanja sadašnjih teškoća radnika koji rade u blizini visokonaponskih postrojenja, bilo bi dobro da se, već i zbog znatnog broja nesreća na radu uopće i zbog nedosljednog pridržavanja obavezne zaštite, teorija što prije pretoči u — praksu.

E. S.«

Sadržaj same radnje nije nam na žalost poznat, ali da ne bude zabune i krive informiranosti, prvenstveno onih koji se kreću u blizini postrojenja visokog napona, iznijet ćemo meritorna mišljenja svjetskih eksperata o tom problemu.

Pred više od jednog desetljeća, 1972. godine, na XXIV zasjedanju CIGRE (Međunarodna konferencija za velike električne mreže visokog napona) u Parizu sovjetski su predstavnici izvjestili o opasnostima već razmjerno slabijih električnih i magnetskih polja na ljudski organizam. Potaknuti ovim izvještajem u daljnjim su godinama na istoku i zapadu provedena brojna ispitivanja na ljudima i životinjama, kako bi se ustanovio stvarni stupanj opasnosti. Na sljedećim zasjedanjima CIGRE, održavaju se svake dvije godine, iznošeni su rezultati različitih istraživanja, a sovjetski su stručnjaci stalno obećavali iscrpan referat o iznesenim opasnostima. Tako je došlo i posljednje XXIV zasjedanje CIGRE 1982. godine. Tada je na temelju iznošenja rezultata ispitivanja i dugogodišnjih diskusija znanstvenika iz cijelog svijeta donijet sažetak i neke vrste zaključak, koji je CIGRE dostavila svim nacionalnim komitetima, pa i jugoslavenskom. Na početku tog dokumenta je izneseno da se u diskusijama osjećalo izvjesno ogorčenje stručnjaka na način kako su se u nekim sredinama iznosili problemi djelovanja električnog polja pred širu javnost. Konstatirano je da je internacionalni skup znanstvenika došao do pune suglasnosti u pogledu interpretacije opaženih efekata, što će pomoći da se umire uzbuđeni duhovi.

Istraživanja liječnika i biologa provedena su u dva pravca:
— epidemiološka istraživanja
— opažanja na laboratorijskim životinjama.

U prvoj grupi istraživanja uspoređivano je zdravlje ljudi koji su radili u električnom polju s onima koji nisu imali kontakata s poljem. Tokom mnogih temeljitih studija mjereni su psihometrijski, psihološki i biološki parametri. Isključe li se prva sovjetska opažanja, učinjena pred nekoliko godina, nisu nađene nikakve razlike između ovih dviju grupa ljudi. Spomenimo, osim toga, da su se već na zasjedanju CIGRE 1980. sovjetski kolege složili da je u njihovoj zemlji rizik od opasnosti električnog polja bio precijenjen i od tada se na djelovanje električnog polja gleda mnogo umjerenije.

Opažanja pak u laboratoriju bila su provedena na kunićima, štakorima, miševima i zamorcima. Najvažnije u tim pokusima bilo je promatranje biokemijskih parametara sastava krvi, što je često označeno kao uznemirujuće u različitim napisima. Ovdje treba primijeniti troje. Prvo, nastale promjene ostale su uvijek u granicama normalne fluktuacije tih parametara. One su reverzibilne i nisu nikada medicinski ocijenjene kao patološke. Drugo, životinje su u laboratoriju podvrgnute poljima znatno višeg intenziteta (tri do šest puta) od onih koje susrećemo u blizini uređaja vrlo visokog napona. I na kraju treće, opaženi efekti nisu specifični za električno polje već se oni pojavljuju pri bilo kojem stresu kojemu su životinje izložene.

Uzimajući u obzir opažanja sa spomenutim fizikalnim podacima dolazi se do sljedećih zaključaka.

Tako dugo dok se električno polje direktno ne osjeća, ono strogo uzevši nema nikakvog efekta. Direktno osjećanje koje se očituje kao škakljanje ili peckanje u poljima višim od 10 do 15 kV/m i kratkotrajno pražnjenje u dodiru s metalnim predmetima prouzrokuju psihološke efekte slične ostalim stresovima svakidašnjeg života, s obzirom na podražaje koji mogu izazvati kod neobavještenih ljudi.

Ovaj dokument CIGRE završava s malo humora. Promjene bioloških parametara kod neke su osobe bez sumnje veće, nego one izazvane električnim poljem, ako je neočekivano poznana svom šefu ili u ushićenju zbog sastanka s voljenim bićem.

Da se opasnosti od utjecaja električnog polja često precjenjuju vidi se i iz toga što se stvarna jačina električnih polja ispod vodova visokog napona i u električnim postrojenjima kreću znatno ispod onih graničnih vrijednosti koja su prije spomenuta.

Prema podacima iz stručne literature električna se polja za različite konfiguracije i različite napone kreću pri zemlji kako je naznačeno u tablici:

vodovi	110 kV	220 kV	380 kV	750 kV
maks. polje kV/m	1...2	3...6	6...8	10...13

U električnim postrojenjima ispod sabirnica:

220 kV oko 6 kV/m
380 kV oko 12 kV/m

Na kraju bi htjeli upozoriti na najnoviju publikaciju Svjetske zdravstvene organizacije o djelovanju magnetskih i električnih polja frekvencije 50 i 60 Hz na čovjeka. Izvadak iz te publikacije izašao je u prošlom broju našeg časopisa »Energija«/br. 1, 1984. godine str. 73, pa ćemo ovdje navesti samo to da su tamo iznesene konstatacije potpuno u skladu s mišljenjima stručnjaka CIGRE.

B. Markovčić

ŠIROM SVIJETA

SVJETSKA PROIZVODNJA NAFTE U 1983. GODINI

Prema prvim objavljenim podacima (Petroleum Economist, 51 25-27. I 1984) proizvodnja nafte u svijetu u 1983. godini iznosila je 2 757 mln.tona i bila je za 1,1% manja nego u 1982. godini, kad je iznosila 2 788 mln. tona. Proizvodnja je, dakle, bila za 31 mln.tona manja, u 1982. godini to je smanjenje bilo 151 mln. tona. Najveća proizvodnja bila je ostvarena 1979. godine (gotovo 3,2 mlrd.tona) i od tada postepeno pada uz veće ili manje oscilacije.

Smanjenje proizvodnje nafte uglavnom je posljedica stanja na svjetskom tržištu naftom, gdje zbog štednje energije, a nafte napose, potražnja jenjava.

Naravno da je kretanje proizvodnje nafte u pojedinim zemljama bilo različito i da je osim općih tendencija imalo i lokalne — tehničke i ekonomske — uzroke.

Proizvodnja nafte na **istočnoj hemisferi** u 1983. godini iznosila je gotovo 1 868 mln.tona prema 1 898 mln.tona u 1982. godini. Bila je, dakle, manja za 30,6 mln.tona ili za 2% manje. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte bio je u 1983. godini 67,9% a približno toliko bio je i u prethodnoj godini. Na zapadnoj hemisferi proizvodnja je u obje godine (1982. i 1983) bila gotovo izjednačena — 889,4 mln.tona u 1983. godini prema 888,8 mln.tona u 1982. godini, dakle, ipak za 1% manje. U svjetskoj proizvodnji nafte u 1983. godini udio je bio 32,1%.

Naravno da je kretanje proizvodnje nafte u pojedinim zemljama bilo različito i da je ovisilo — kako je već istaknuto — ne samo o općim kretnjima proizvodnje nafte u svijetu, nego i o faktorima važnim za pojedine zemlje.

Proizvodnja nafte u **Zapadnoj Evropi** u cjelini je iznosila u 1983. godini 163,3 mln.tona, što je za 14% više nego u prethodnoj godini kad je bilo proizvedeno nešto iznad 143 mln.tona. Prema tome, proizvodnja je porasla za oko 20 mln, tona ili za 14%, što je najveće povećanje prema ostalim područjima u svijetu. U svjetskoj proizvodnji učešće je bilo 5,9%, a u prethodnoj godini porast je bio 5,1%.

Najveći proizvođač nafte u Zapadnoj Evropi je Velika Britanija, gdje je u 1983. godini bilo proizvedeno 114,5 mln.tona, što je za gotovo 11% više nego u prethodnoj godini. Tom proizvodnjom Velika Britanija je šesta na svijetu po proizvodnji nafte s udjelom od 4,1%. Ta se proizvodnja ostvaruje eksploatacijom ležišta nafte u podmorju Sjevernog mora. Ležišta nafte iz podmorja svoga dijela Sjevernog mora eksploatira Norveška, koja je u 1983. godini dala 30 mln.tona prema 24,5 mln.tona u 1982. godini. Na trećem mjestu po proizvodnji nafte je SR Njemačka, ali ta proizvodnja ima stalnu tendenciju slabljenja, a u 1983. godini bila je nešto preko 4 mln.tona. U svim ostalim zemljama Zapadne Evrope proizvodnja nafte u 1983. godini kreće se od 3,0 mln.tona u Španjolskoj do 1,2 mln.tona u Austriji uglavnom na tendenciju slabog rasta.

Sovjetski Savez i zemlje **Istočne Evrope** dali su u 1983. godini nešto preko 641 mln.tona nafte, što je tek oko 1% više nego u prethodnoj godini. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte u 1983. godini bio je 23,3%. Međutim, u toj proizvodnji Sovjetski Savez sudjeluje s više od 96%. Naime, u 1983. godini SSSR je dao 618 mln.tona nafte (za oko 1% više nego u 1982. godini). S tom je proizvodnjom Sovjetski Savez na čelu zemalja proizvođača nafte. — U svim ostalim zemljama proizvodnja nafte uglavnom stagnira. Najviše nafte dala je Rumunjska (12,5 mln.tona). Nadalje, po proizvodnji vrijedno je spomenuti Jugoslaviju (4,2 mln.tona) i Albaniju (4,0 mln.tona), te Mađarsku (oko dva mln.tona). U ostalim zemljama Istočne Evrope proizvodnja nafte je neznatna.

Proizvodnja nafte u **Africi** u 1983. godini bila je samo nešto veća nego u 1982. godini. Naime, u 1982. godini bilo je proizvedeno 215,9 mln.tona, a u 1983. godini 216,7 mln.tona ili za oko 1% više. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je u 1983. godini gotovo 7,9%. Najveći proizvođač nafte u Africi je Nigerija (60 mln.tona), ali zbog poteškoća oko izvoza proizvodnja ima tendenciju slabljenja. Tendenciju slabljenja proizvodnje nafte ima i Libija, gdje je u 1983. godini bilo proizvedeno 52 mln.tona, te Alžir, koji je u prošlog godini dao 32 mln.tona nafte. U ostalim zemaljama proizvođačima nafte proizvodnja je znatno manja i ima tendenciju laganog rasta. Veći rast imala je Angola, gdje je proizvodnja dosegla osam mln.tona.

Proizvodnja nafte na **Srednjem Istoku** imala je u svjetskim razmjerima najveći pad proizvodnje. Naime, u 1983. godini bilo je proizvedeno 603,7 mln.tona, a u 1982. godini gotovo 673 mln.tona. Dakle, za godinu dana proizvodnja je pala za gotovo 70 mln.tona ili za 11%. Udio u svjetskoj proizvodnji je talno sve manji pa dok je u 1970. godini bio preko 31%, u 1983. godini bio je 21,9%.

Jedan dio zemalja Bliskog Istoka imao je manju proizvodnju u 1983. godini nego u 1982. godini. Najveći pad proizvodnje bio je u Saudijskoj Arabiji, gdje je u 1982. godini proizvodnja bila 422,6 mln.tona, a u 1983. godini samo 242 mln.tona, dakle za 25% manje. No, i s tom je proizvodnjom Saudijska Arabija na trećem mjestu u svijetu po proizvodnji nafte.

Pad proizvodnje bio je u Abu Dabiju (od 42 mln.tona na 37,5 mln.tona), u Dubai (od 18,4 mln.tona na 16,5 mln.tona), u Iraku (od 49,5 mln.tona na 46 mln.tona), u Kataru (od 16 mln.tona na 14 mln.tona), Iran (od 120 mln.tona na 124 mln.tona), Kuwait (od 41,6 mln.tona na 54 mln.tona), te Oman (od 16 mln.tona na 18,5 mln.tona).

Proizvodnja nafte na **Dalekom istoku** u 1983. godini bila je za 5% veća nego u prethodnoj godini. Naime, u 1983. godini bilo je proizvedeno gotovo 243 mln.tona, a u 1982. godini 231 mln.tona, pa je povećanje iznosilo približno 12 mln.tona. U svjetskoj proizvodnji nafte udio Dalekog istoka bio je

Svjetska proizvodnja nafte u 1983. godini

10^3 tona

Područje	1981.	1982.	1983.	% u1983	Promjena u 1983 %
Zapadna Evropa	125 703	143 023	163 280	59	+ 14
SSSR i Ist. Evropa	631 548	635 740	641 350	23,3	+ 1
Afrika	191 936	215 866	216 750	7,9	+ 1
Bliski istok	847 996	672 953	603 712	219	— 11
Bliski istok	237 640	230 875	242 745	8,8	+ 5
Istoč. hemis.	2 034 823	1 898 462	1 867 837	67,9	— 2
Sjever. amerika	553 290	560 400	563 200	20,4	+ 1
Karibsko pod.	256 524	267 912	260 550	9,4	— 2
Južna amerika	59 683	61 111	65 100	2,3	+ 7
Zapad. hemis.	664 497	889 423	888 850	32,1	— 1
Ukupno — Svijet	2 904 320	2 787 885	2 756 687	100,0	— 11

8,8%. Najveći proizvođač nafte bila je Kina, gdje proizvodnja postepeno raste, pa je u 1983. godini dosegla 105 mln.tona. Na drugom je mjestu Indonezija, gdje proizvodnja postepeno pada, pa je u prošloj godini pala na 63 mln.tona. Ipak, po toj proizvodnji Kina je sedma, a Indonezija deseta na svijetu po proizvodnji nafte. Indija je povećala svoju proizvodnju za oko četiri mln.tona, pa je u 1983. godini dala 24 mln.tona. Manje povećanje proizvodnje ostvareno je u Australiji i Maleziji.

Proizvodnja nafte u **Sjevernoj Americi** bila je 1% veća, te je od 560 mln.tona u 1982. godini porasla na 563 mln.tona u 1983. godini, dok je udio u svjetskoj proizvodnji bio 20,4% — Proizvodnja u SAD — drugi svjetski proizvođač nafte — stagnirala je na 486 mln.tona, dok je u Kanadi porasla od 74,2 mln.tona u 1982. godini na 76,5 mln.tona u 1983. godini.

Karibsko područje dalo je u 1982. godini 268 mln.tona nafte, a u 1983. godini za 2% manje, tj. 260,5 mln.tona, dok je udio u svjetskoj proizvodnji bio 9,5%. Dva najveća proizvođača nafte u tom području — Meksiko i Venezuela — imale su u 1983. godini nešto manju proizvodnju nego u prethodnoj godini. Tako je u Meksiku bilo u 1983. godini proizvedeno 149 mln.tona ili za jedan mln.tona manje, dok je u Venezueli smanjenje bilo gotovo tri mln.tona, pa je bilo u 1983. godini proizvedeno 97,5 mln.tona. Od ostalih zemalja tog područja vrijedno je spomenuti Kolumbiju (7,5 mln.tona) i Trinidad (8,5 mln.tona)

Proizvodnja nafte u **Južnoj Americi** porasla je u 1983. godini gotovo za 7%, pa je dosegla 65 mln.tona. No, u svjetskim razmjerima udio u proizvodnji nafte u 1983. godini bio je samo 2,3%. U Argentini, najvećem proizvođaču nafte u tom području, proizvodnja stagnira na oko 24 mln.tona, dok je u Brazilu porasla za tri mln.tona na 16,5 mln.tona i u Ekvaduru za oko 1,5 mln.tona na 12,1 mln.tona.

Naravno da analiza kretanja proizvodnje nafte u pojedinim zemljama prelazi okvir ovog članka, ali je interesantno razmotriti situaciju u deset najvećih svjetskih proizvođača nafte, koji su u 1983. godini dali 75% svjetske proizvodnje nafte. Ta je situacija dana u tablici 2.

Prema podacima iz te tablice proizlazi da je deset najvećih svjetskih proizvođača nafte u 1983. godini dalo 2 076 mln.tona nafte, a u 1982. godini 2 237 mln.tona. Dakle, u 1983. godini proizvodnja je pala za više od 160 mln.tona ili 2,3%, dok je u svjetskim razmjerima taj pad bio 1,1%. U svjetskim razmjerima deset najvećih proizvođača nafte dalo je 77,7%, a u 1983. godini — kako je već spomenuto — 75,3% ili za 2,4% manje.

Usprkos različitoj dinamici proizvodnja nafte ipak je redoslijed u pojedinim od deset zemalja, u 1983. godini ostao isti kao i u prethodnoj godini.

Na prvom se mjestu već niz godina nalazi Sovjetski Savez, gdje je u 1983. godini bilo proizvedeno 618 mln.tona nafte prema 613 mln.tona, što je za 1,0% ili za pet mln.tona više. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je u 1983. godini 22,4%, prema 22,2% u 1982. godini i 21,3% u 1981. godini. — Na drugom su mjestu SAD, koje su u 1981. godini bile treće. Proizvodnja u SAD bila je u obje godine gotovo nepromijenjena (u 1982. godini 486,2 mln.tona, a u 1983. godini 486,7 mln.tona), tj. za samo 0,1%. — Na trećem je mjestu Saudijska Arabija, gdje je doduše proizvodnja pala za 25,4%, i to od 422,6 mln.tona u 1982. godini na 242 mln.tona u 1983. godini. Treba istaći da je već i 1982. godine proizvodnja pala za 34%, a u 1981. godini proizvodnja je bila preko dva puta veća nego u 1983. godini, tj. bila je 528 mln.tona. Udio je u svjetskoj proizvodnji nafte pao je stoga na 8,8%, dok je 1982. godine bio 13,1%. — Meksiko je također zadržao svoje četvrto mjesto, a proizvodnja je samo neznatno pala (za 0,9%); i to od 150,4 mln.tona u 1982. godini na 149 mln.tona u 1983. godini. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte bio je u obje godine isti, i to 5,4%. — Na petom je mjestu Iran, gdje je proizvodnja samo neznatno porasla, i to od 120,4 mln.tona u 1982. godini na 124 mln.tona u 1983. godini ili za 3,3%, dok je udio u svjetskoj proizvodnji u 1983. godini bio 4,5%. — Velika Britanija, koja je na šestom mjestu, povećala je proizvodnju nafte za oko 11 mln.tona ili za 10,7% i to od 103,4 mln.tona u 1982. godini na 114,5 mln.tona. To je povećanje količinski i postotno najveće među spomenutom desetoricom. Udio u svjetskoj proizvodnji nafte porastao je stoga od 3,7% u 1982. godini na 4,1% u 1983. godini. — Proizvodnja u Kini, koja je na sedmom mjestu, porasla je za tri mln.tona, i to od 102 mln.tona u 1982. godini na 105 mln.tona u 1983. godini ili za 2,9%. Udio u svjetskoj proizvodnji u 1983. godini bio je za 3,8%. — Na osmom je mjesu Venezuele, gdje je proizvodnja pala za 2,2%, tj. od 100,2 mln.tona u 1982. godini na 97,5% u 1983. godini, dok je udio u svjetskoj proizvodnji bio 3,5%. — Kanada, koja je na devetom mjestu, povećala je proizvodnju za 3,1%, i to od 74,2 mln.tona u 1982. godini na 76,5 mln.tona u 1983. godini. Udio je bio 2,8%. — Na posljednjem, destom mjestu, je Indonezija, gdje je proizvodnja samo neznatno pala za (0,9%), i to od 64,6 mln.tona u 1982. godini na 63 mln.tona. Udio u svjetskoj proizvodnji bio je 2,3%.

Prva četiri najveće svjetska proizvođača nafte dala su u 1983. godini gotovo 1,5 mlrd.tona nafte (u 1982. godini 1,6 mlrd.tona), što je 54,3% svjetske proizvodnje nafte. — Preostalih šest najvećih proizvođača nafte u svijetu dali su u 1983. godini 21% od svjetske proizvodnje nafte, tj. ukupno 580 mln.tona.

Zemlje članice OPEC — organizacije država izvoznica nafte — imale su u 1983. godini proizvodnju nafte od 859 mln.tona, što je za 17,8% manje nego u 1982. godini, kad je ta proizvodnja iznosila nešto preko1 045 mln.tona. Udio tih zemalja u svjetskoj proizvodnji nafte u 1983. godini bio je 31,2% dok je još u 1979. godini bio gotovo 50%.

Kretanje proizvodnje — povećanje ili smanjenje — bilo je u pojedinim zemljama različito. — Količinski i postotno najveći je pad bio u Saudijskoj Arabiji, gdje je proizvodnja od 422,6 mln.tona u 1982. godini pala na 242 mln.tona u 1983. godini ili za 25,4%. Dakle, proizvodnja je bila smanjena za preko 180 mln.tona. — S druge strane, postotno najveći porast proizvodnje (29,0%) bio je u Kuvajtu, ali za samo nešto iznad 12 mln.tona. Naime, dok je ta proizvodnja u

Deset najvećih proizvođača nafte u svijetu u 1983

10^3 tona

Zemlja	1983.	%	1982.	Razlika u %
SSSR	618 000	22,4	613 000	+ 1,0
SAD	486 700	17,7	486 200	+ 1,0
Saudijska Arabija	242 000	8,8	422 590	– 25,4
Meksiko	140 000	5,4	150 390	– 0,9
Iran	124 000	4,5	120 396	+ 3,3
Velika Britanija	114 500	4,1	103 389	+ 10,7
Kina	105 000	3,8	102 120	+ 2,9
Venezuela	97 500	3,5	100 175	– 2,2
Kanada	76 500	2,8	74 200	+ 3,1
Indonezija	63 000	2,3	64 646	– 0,9
Ukupno	2 076 200	75,3	2 237 004	– 2,3
Proizvodnja u svijetu	2 756 687	100,0	2 787 885	– 1,1

1982. godini u Kuvajtu iznosila 41,6 mln.tona u 1983. godini je porasla na 54 mln.tona. — Svakako je interesantno da je Iran usprkos ratu s Irakom svoju proizvodnju nafte — znatnim dijelom namijenjenu izvozu — povećao za oko četiri mln.tona (za 3,3%), dok je Irak zbog poteškoća oko izvoza morao proizvodnju smanjiti za oko 3,5 mln.tona (za 3,3%). — Znatne poteškoće u vezi s izvozom svoje nafte imala je Nigerija, pa je proizvodnja u 1983. godini smanjena za 5% ili za oko 3,5 mln.tona. — Postotno veliko smanjenje (10,6%) bilo je u Dubai ili količinski za oko 1,9 mln.tona. S druge strane, Ekvador je povećao proizvodnju za oko 1,5 mln.tona (za 13,7%) na 12,2 mln.tona.

Jugoslavija i zemlje koje je okružuju dale su u 1983. godini 27,7 mln.tona, što je samo 1% od svjetske proizvodnje nafte. Značajnija je proizvodnja nafte u Rumunjskoj (12,5 mln.tona). U ostalim zemljama uglavnom stagnira, osim u Grčkoj, gdje je od 1980. godine, kada je počela eksploatacija, u 1983. godini dosegla 1,4 mln.tona.

Proizvodnja nafte u Jugoslaviji bila je u 1983. godini nešto slabija nego u prethodnim godinama i bila je 4,2 mln.tona, čemu je uglavnom razlog pomanjkanje uvozne opreme. Proizvodnjom od oko 4,2 mln.tona Jugoslavija je u Evropi (mimo SSR-a, koji pretežni dio svoje proizvodnje ostvaruje u Sibiru) na četvrtom mjestu, i to iza Velike Britanije (114,5 mln.tona), Norveške (30 mln.tona) i Rumunjske (12,5 mln.tona), dok je izravnata sa SR Njemačkom, gdje proizvodnja ima tendenciju slabljenja.

V. Boranić

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U 1983.

Ostvareni rezultati proizvodnje i potrošnje električne energije na području Hrvatske prilično odstupaju od zacrtanog plana »Elektroenergetske bilance Hrvatske za 1983.«

Prema dispečerskim podacima Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske potrošnja distribucije za razdoblje siječanj – prosinac 1983. ostvarena je sa 8.988 GWh, što je u odnosu na plan 93,6%.

Direktni potrošači preuzeli su 900 GWh električne energije, što je u granicama plana (99,7%). U toj grupi najjači su potrošači cementarna Našice, INA-Petrokemija Kutina i ŽTP Zagreb.

Specijalni potrošači preuzeli su 1.704 GWh, što je samo 85% od plana. Smanjenom isporukom električne energije najviše su pogođeni potrošači tvornica »Dalamacija« Dugi Rat, Jugovinil i Tvornica lakih metala Ražine i Lozovac. Do smanjenih isporuka došlo je zbog redukcije struje u toku prošle godine.

Za svoje potrebe, da bi ublažili redukciju, specijalni potrošači su kupili u zemlji (Slovenija) i u inozemstvu (Italija, Švicarska i Njemačka demokratska republika) oko 147 GWh električne energije.

Prošlogodišnji gubici prijenosa iznose 426 GWh, što je više za 4 posto od plana.

REZULTATI PROIZVODNJE

Ostvarena proizvodnje	
Hidroelektrane protočne	973 GWh
Hidroelektrane akumulacijske	4.161 GWh
Ukupno	5.134 GWh

Hidroelektrana Dubrovnik 1983. ostvarila je 1.107,5 GWh. Prema ugovoru od toga 821 GWh pripada elektroprivredi Bosne i Hercegovine pa 4.313 GWh. ukupno raspoložive proizvodnje hidroelektrana ostaje elektroprivredi Hrvatske.

Termoelektrane su u 1983. godini ostvarile 4.369 GWh, što je 2 posto iznad plana. Najveća proizvodnja termoelektrana ostvarena je u prosincu prošle godine. To je u odnosu na plan za 12 posto više. Tome je pridonijela i povećana proizvodnje TE Sisak, TE Rijeka i NE Krško.

Nabava električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama nije tekla po planu zbog ograničenja potrošnje električne energije u republikama isporučiocima.

Konzumu elektroprivrede Hrvatske isporučile su ukupno 3.318 GWh TE Tuzla, TE Kakanj, TE Gacko i TE »Nikola Tesla« — Obrenovac, što je za 12 posto manje od ugovorenih količina.

Nadalje, kupljeno je 305 GWh električne energije od drugih isporučioca u zemlji i inozemnih elektroprivreda.

Manje količine električne energije nabavljene su i od industrijskih elektrana INA-Rijeka, INA-Sisak i DINA-Krk, ukupno 12,5 milijuna kWh. U 1983. godini elektroprivreda Hrvatske s vlastitom proizvodnjom hidroelektrana i termoelektrana, te nabavama raspolagala je s ukupno 12.090 GWh ili 93% od predviđenog plana.

I. R.

ELEKTROENERGETSKA BILANCA JUGOSLAVIJE ZA 1984. GODINU

Savezno izvršno vijeće SFRJ usvojilo je krajem 1953. Elektroenergetsku bilancu Jugoslavije za 1984. godinu. Bilanca je učinjena na osnovi energetskih potreba pojedinih republika i pokrajina. Trenutno je elektroenergetska situacija u našoj zemlji nešto povoljnija u odnosu na kraj prošle godine. Tome su pridonijele poboljšane hidrološke prilike, koje omogućuju bolju opskrbu potrošača. Ako i pored poboljšanja i nadalje će u elektroenergetskoj situaciji biti poteškoća.

Prema podacima Zajednice jugoslavenske elektroprivrede u 1983. ostvarena je ukupna proizvodnja od 59,6 milijardi kWh, što je 5,1 posto manje od plana, ali 6,5 posto više nego 1982. godine. Što podbačaj proizvodnje nije veći treba zahvaliti natprosječnoj proizvodnji naših termoelektrana, koje su ostvarile 31,2 milijarde kWh. To je oko 3 posto iznad plana. Dobar proizvodni rezultat postigla je i nuklearna elektrana »Krško«, što je u velikoj mjeri pridonijelo dobroj opskrbi potrošača Hrvaske i Slovenije. Ostvarena proizvod-

nja NE »Krško« prošle godine iznosi 3,7 milijarde kWh ili 8 posto više od plana.

Smanjena potrošnja — Ukupna potrošnja iznosila je u 1983. godini 59,8 milijardi kWh, što je 9,5 posto manje od plana. Da bi se podmirile potrebe sve veće potrošnje, trebalo je prošle godine uvesti 2,66 milijarde kWh.

Uvezena je milijarda kWh, a preostale količine su posuđene. U isto vrijeme izvezeno je 1,6 milijarda kWh, što dijelom obuhvaća i vraćanje duga inozemnim isporučiocima.

PLAN ZA 1984.

Elektroenergetskom bilancom za 1984. godinu planirano je da ukupna bruto proizvodnja električne energije dostigne 72,95 milijarde kWh, što je za 7,8 posto više u odnosu na ostvarenu proizvodnju 1983. godine.

U hidroelektranama je predviđena proizvodnja 24,25 milijarde kWh, izračunato na osnovi 70 posto sigurnosti dotoka vode. Međutim, u ukupnoj strukturi proizvodnje i ove godine će dominantno mjesto imati termoelektrane na ugljen i to u količini 36,75 milijardi kWh ili 50,4 posto uz visoko korištenje kapaciteta. Planira se proizvodnja termoelektrana na tekuće gorivo od 3,99 milijarde kWh, iako to nije krajni domet takvih elektrana. Naravno, ako se osigura gorivo, moglo bi se postići povećanje proizvodnje od još jedne milijarde kWh. Tom količinom pokrio bi se dio manjkova električne energije.

Nadalje je bilancom za 1984. godinu planirana proizvodnja industrijskih elektrana od 2,96 milijarde kWh.

Nuklearna elektrana »Krško« treba da proizvede oko 4,25 milijarde kWh, što je 5,8 posto više od prošlogodišnje proizvodnje.

Ovogodišnji ambiciozni plan proizvodnje električne energije prvenstveno se temelji na proizvodnji većoj za 5,4 milijarde kWh u novoizgrađenim termoelektranama, koje su nedavno puštene u pogon a to su: TE Pljevnja, TE Bitola 1, TE Gacko, TE Kosovo B1 i TE »Nikola Tesla« B — 1 (Obrenovac).

Ako hidrološke prilike budu bolje u odnosu na 1983. godinu predviđa se da će se u svim našim hidroelektranama ove godine povećati proizvodnja za 1,56 milijardu kWh. U termoelektranama na tekuće gorivo trebala bi se povećati proizvodnja za 1,1 milijardu kWh, uz pretpostavku da se osigura gorivo.

Elektroenergetska situacija popravit će se i puštanjem u pogon šest novih elektrana s ukupnom instaliranom snagom od 680 MW i mogućom proizvodnjom od 800 milijuna kWh (RHE Obrovac, TO Ljubljana 3 TE Kosovo B — 2, TE Bitola 2, El – TO Osijek i TE – TO Novi sad 2).

Zbog ravnomjernog usklađivanja proizvodnje i potrošnje u 1984. planiran je izvoz 2,5 milijarde kWh električne energije. Najveći dio izvoza namijenjen je konvertibilnom tržištu.

Dio tih količina (1,7 milijarda kWh) odnosi se na vraćanje električne energije, posuđene u 1983. godini. Preostali dio od 800 milijuna kWh namijenjen je komercijalnom izvozu u razdoblju povoljnih energetskih prilika u našoj zemlji.

U cjelini gledano, elektroenergetska bilanca za 1984. godinu nagovještava bolju situaciju nego što je bila prošle godine. I dalje elektroenergetska situacija ostaje složena. Nestašica struje se neće izbjeći potpuno, ali treba nastojati da opskrba potrošača bude ravnomjernija i pravovremena.

I. R.

KADA NOVE ELEKTRANE?

Odlukom Zajednice jugoslavenske elektroprivrede i prema dinamici izgradnje pojedinih objekata utvrđeni su rokovi puštanja u probni pogon novih elektrana.

Reverzibilna HE Obrovac — 2 × 138 MW — prvi agregat 1. travnja, drugi agregat 1. lipnja 1984.

Toplana Ljubljana III — 45 MW — početkom lipnja 1984.,

TE Kosovo B 2 — 309 MW — početkom srpnja 1984.

TE Bitola II — 189 MW — 1. listopada 1984.

EL — TO Osijek — 45 MW — početkom listopada 1984. i

TE — TO Novi Sad II — 95 MW — 1. listopada 1984.

I. R.

TERMOELEKTRANE: POTROŠNJA GORIVA

Termoelektrane u Hrvatskoj za proizvodnju električne i toplinske energije u 1983. godini potrošile sU ukupno 500.000 tona tekućeg goriva (mazuta) što je za 102.000 tona manje nego što je bilo predviđeno energetskom bilancom za prošlu godinu. Pomanjkanje mazuta najviše su osjetile TE Sisak, TE — TO Zagreb i EL — TO Zagreb.

Termoelektrane su godišnje koristile 198,5 milijuna m^3 zemnog plina. TE Rijeka je uz mazut koristila i oko 52 milijuna m^3 koksnog plina iz Koksare Bakar.

TE Plomin je ostvarila potrošnju od 245.000 tona kamenog ugljena, što je 3000 tona više od plana.

I. R.

INDUSTRIJSKA ENERGANA U KUTINI

Krajem prošle godine puštena je u proizvodnju novosagrađena energana u sastavu tvornice INA — Petrokemija, Kutina. Energana će kapacitetom 35 MW proizvoditi toplinsku i električnu energiju u prvom redu za vlastite potrebe tvornice. Višak električne energije stavit će se na raspolaganje elektroenergetskom sustavu Hrvatske. Nova energana kao pogonsko gorivo koristit će prirodni plin, a po potrebi i mazut.

Za kompletnu izgradnju i opremu investitor je uložio iznos od 650 milijuna dinara. Glavni dio opreme isporučili su domaći proizvođači tvornice »Rade Končar« i »Jugoturbina« Karlovac. Montažni poslovi povjereni su stručnjacima poduzeća »Vlado Ćetković« iz Zagreba. Glavne građevne radove s dimnjakom visokim 200 m izgradili su radnici građevnog poduzeća »Industrogradnja« iz Zagreba.

I. R.

POTREBA ZA PROŠIRENJEM PLINOVODA

Danas se s plinskih polja u SR Hrvatskoj proizvodi oko 1,3 milijarde m^3 prirodnog plina. S rastom proizvodnje širi se i plinovodna mreža koja danas ide u dva pravca.

Prvi ide dolinom Save i povezuje nalazišta prirodnog plina s potrošačima na području Zagreba, Ivanić Grada i Lipovljana. Drugi pravac je na potezu Varaždin — Donji Miholjac — Osijek. Na taj način dva osnovna distributivna područja povezana su plinovodom Budrovac – Ivanić Grad i zajedno čine osnovicu glavne distributivne plinske mreže u SR Hrvatskoj.

Danas u republici ima preko 1000 kilometara plinovoda na koje su priključeni brojni potrošači od široke potrošnje do velike industrije.

S obzirom na uvoz plina iz SSSR, kao i otkrivanje novih nalazišta, treba ubrzati gradnju novih plinovoda.

Za eksploataciju utvrđenih plinskih nalazišta Malve 2, Kalinovac, Stari Gradec i dr. za gradnju novih plinovoda treba osigurati investicije, u prvom redu devizna ulaganja. Ako se to povoljno riješi, već bi se za dvije godine proizvodnja plina povećala za milijardu kubika, a od 1987 — 1988. doseglo bi se 2,6 milijardi u odnosu na sadašnjih 1,3 milijarde kubika.

I. R.

NAFTA ZA DOMAĆE POTREBE

Energetskom bilancom Jugoslavije za 1984. godinu predviđeno je da uvezemo 10,6 milijuna tona sirove nafte.

Nadanje, planirana je proizvodnja domaće nafte u količini od 4,250 milijuna tona. Naftaši tvrde da je moguće povećati proizvodnju s domaćih nalazišta znatno više od 4 milijuna tona. Osim uvoza nafte osigurat će se i uvoz 650.000 tona naftnih derivata.

Naše rafinerije mogu preraditi i veće količine sirove nafte nego što je planirano uvozom i domaćom proizvodnjom. Rafinerije INE Rijeka i Sisak prošle godine su preradile 5,8 milijuna tona nafte ili oko 2,6 milijun tona manje nego što je predviđeno energetskom bilancom za 1983. godinu.

I. R.

GRADNJA NOVIH ELEKTRANA

U 1984. godini je planirana gradnja nekoliko elektrana, čiji su investitori republičke elektroprivrede.

Elektroprivreda SR Bosne i Hercegovine već gradi HE Mostar na Neretvi i HE »Višegrad« na Drini. Prošle godine otpočeli su pripremni radovi na gradilištima HE »Višegrad«. Izgrađene su pristupne ceste, električna i vodovodna mreža, pomoćni prateći objekti, radionice, i radnička naselja. Tijekom ove godine programirani su radovi na glavnim objektima buduće drinske hidroelektrane »Višegrad«.

U toku narednog srednjoročnog plana, u sklopu hidroenergetskog sistema na Vlasinskom jezeru kod Surdulice, gradit će se treća faza značajnog hidroenergetskog objekta u SR Srbiji.

Investiciona ulaganja za ovu hidroelektranu predviđena su u iznosu 123 milijarde dinara, što je jeftino i ekonomično, jer će uglavnom biti montirana domaća oprema. Kapacitet treće faze HE Vlasina je 90 milijuna kWh električne energije.

RO »Elektrokosovo« planira gradnju hidroelektrana na Bijelom Drimu, kod Prizrena, instalirane snage 290 MW.

RO »Elektrokičevo« Kičevo (SR Makedonija) odlučilo se za gradnju mini-elektrane s investicijama od 220 milijuna dinara..

I. R.

KATASTAR MALIH HIDROELEKTRANA ZA SR SRBIJU

U siječnju ove godine održan je u Privrednoj komori Srbije sastanak o realizaciji programa izgradnje i rekonstrukcije malih hidroelektrana (0,1 do 10 MW) na teritoriju uže Srbije. Pošto su razmotreni zaključci Izvršnog vijeća Skupštine SR Srbije od listopada prošle godine u vezi s rekonstrukcijom postojećih i izgradnje hidroelektrana manjih snaga na teritoriju uže Srbije u slijedeće dvije godine, razmotreno je pitanje izrade katastra malih hidroelektrana i mogućnosti financiranja takvog projekta. Kao nosioci ovog zadatka najviše izgleda imaju, zbog nakopletnije dokumentacije, Energoprojekt i Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi« iz Beograda. Prema ponudi katastar bi se izradio u roku od dvije godine za sumu od 45 milijuna dinara. Do 1. ožujka ove godine trebao bi se potpisati samoupravni sporazum o udruživanju sredstava za financiranje izrade katastra.

B. M.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

PROGRAM OTSUMPORAVANJA U TERMOELEKTRANAMA BAVARSKE

U vremenskom razdoblju od samo 7 godina tj. od 1976. do 1983. uspjelo je da bavarske termoelektrane smanje ukupnu emisiju sumpornog dioksida za 80%. Izgradnjom nuklearnih elektrana mogle su se ugasiti mnoge stare termoelektrane na ugljen, a u ostalim bitno smanjiti proizvodnja. Smanjenje se postiglo i time što se djelomično prešlo na izgaranje češkog ugljena siromašnijeg sumporom, ali skupljeg. Tako je emisija sumpornog dioksida pala od 400.000 tona u 1976. na 80.000 tona u 1983. godini. Predviđene su mjere da se do 1989. godine postotak redukcije poveća na 90%. Za postavljeni program odsumporavanja ugljena predviđaju se troškovi 500 do 600 milijuna DM što će proizvedeni kWh iz tih termoelektrana opteretiti sa 2 Pf/kWh, a cijelu proizvodnju sa 0,8 Pf/kWh, što će se osjetiti od 1985. godine. Budući da su termoelektrane na naftne derivate nakon izgradnje nuklearnih elektrana postale vršne i rezervne, na njima se neće vršiti nikakve mjere odsumporavanja.

Vrlo veliki utjecaj nuklearnih elektrana može se vidjeti iz naglog porasta njihove proizvodnje na području elektroprivrednog poduzeća Bayernwerk.

1976. godine	0,3 TWh
1983. godine	12,5 TWh
1989. godine	18,8 TWh

(Elektrizitätswirtschaft 1984. br. 2)

B. M.

TOPLINSKE PUMPE U NJEMAČKOJ POKRAJINI SCHLESWIG – HOLSTEIN

Poduzeće Schleswig priključit će tokom 1984. oko 300 električnih termopumpi za potrebe grijanja obiteljskih i dvoobiteljskih kuća. Time će se broj takvih uređaja na području tog poduzeća povećati na 2.600. Ovakav način grijanja u mnogome doprinosi čistoći zraka, koja je već mnogo dobila visokim udjelom proizvodnje nuklearnih elektrana (45%). Pokazalo se da je 90% vlasnika elektro-termopumpi vrlo zadovoljna takvim uređajima, osobito s obzirom na vrlo povoljnu icjenu grijanja. Dok su prije godišnji troškovi grijanja stana iznosili 20 DM/m², ugradnjom termopumpi oni su prepolovljeni.

(Elektrizitätswirtschaft 1984. br. 2)

B. M.

POTROŠNJA PRIMARNE ENERGIJE 1983. GODINE U SAVEZNOJ REPUBLICI NJEMAČKOJ

Prema prvim proračunima potrošnja primarne energije u Saveznoj Republici Njemačkoj iznosila je 1983. godine 10610 PJ (PJ = 10^{15}J), što je po prilici jednako kao i prethodne godine. Time je potrošnja prvi put poslije 1979. ostala na jednakoj razini, bez pada.

Pojedini energenti kretali su se kako slijedi:

Potrošak mineralnih ulja pao je za 2,4%. Dok je potrošnja lakog ulja ostala nepromijenjena, potrošak teškog ulja pao je za 20%, a potrošak benzina i dizelskog goriva povećao se za 1,3%, odnosno 3,3%.

Kemijska je industirja uzela 10% više sirovog benzina nego prethodne godine.

Potrošak kamenog ugljena porasao je 2,3%, a smeđega pao za 0,5%. Preuzimanje zemnog plina poraslo je za 2,1% i to prvenstveno kod malopotrošača.

Nuklearne elektrane proizvele su 2,8% više električne energije, a saldo inozemne razmjene bio je 11% veći na račun uvoza.

Udio derivata nafte u primarnoj energiji pao je od 44,2% na 43,1%, ostali su udjeli kako slijedi:

Kameni ugljen	217%
mrki ugljen	10,6%
zemni plin	15,3%
nuklearna energija	5,9%
vodne snage i ostali energenti	3,4

(Elektrizitätswirtschaft 1984. br. 2)

B. M.

NADZEMNI VOD 400 kV PREKO BOSPORA

Krajem 1983. godine spojena je turska evropska i maloazijska visokonaponska mreža nadzemnim vodom 400 kV preko Bospora. Cijeli dio križanja iznosi 3100 m, sa dva stupa visine 124 m. Oni su sagrađeni na strmim obalama koje se dižu oko 120 m iznad mora. Glavni raspon ima 1727 m, sa provjesom užeta, promjera 60 mm, od 150 m. Najniža točka provjesa izdiže se 70 m iznad mora, čime je omogućen prolaz i najvećih brodova.

Strme litice na kojima su fundirani stupovi kao i težina bubnjeva s vodičima tražili su velike napore od transportnih sredstava i osoblja. Prilikom montaže morala se upotrijebiti vlačna sila užeta od 180 kN.

(Elektrizitätswirtschaft 1984. br. 2)

B. M.

CIRED KONGRES 1985.

Slijedeći kongres organizacije za studiranje distributivnih mreža CIRED (Congres International des Resaux Electriques de Distribution) bit će održan od 20 do 25 svibnja 1985. u Brightonu u Britaniji. Za sada je objavljen prvi poziv za pisanje referata. Za prijavu referata uz naslov i kratki sadržaj dan je od 27. 1. 1984.

Istaknute su slijedeće preferencijalne teme:

a) osnova i planiranje javnih distributivnih mreža
b) primjena električne energije u industriji i javnim uređajima (opis, planiranje i pogon mreža)
c) smetnje i zaštita distributivnih mreža
d) kabeli i nadzemni vodovi
e) uređaji i pogonska sredstva
f) pogon i upravljanje mreža distribucije.

Službeni jezici za referate su engleski i francuski, dok se diskutanti mogu služiti i njemačkim. Na kongresu se diskusije simultano prevode na sva tri jezika.

(Elektrizitätswirtschaft 1984, br. 1) B. M.

ZnO ODVODNICI PRENAPONA, ALTERNATIVA KONVENCIONALNIM ODVODNICIMA

Već rano u tehnici prijenosa električne energije uvedeni su uređaji za zaštitu od prenapona. Prvo upotrebljavana iskrišta zamijenjena su odvodnicima u kojima je više iskrišta smješteno u seriju s nelinearnim siliciumkarbidnim (SiC) otpornicima. U takvom uređaju već u toku porasta napona prorade iskrišta uslijed čega nastane kratki spoj prema zemlji, a nelinearni otpor ograničava struju napona mreže. Daljni napredak u ovoj tehnici zaštite učinjen je razvojem odvodnika s magnetskim ispuhavanjem luka iskrišta, ali je i cijena takvih odvodnika znatno veća pa se oni danas ugrađuju na uređaje viših napona. SiC otpori u konvencionalnim odvodnicima imaju razmjerno malu nelinearnost napon-struja ($I = k\,u^a$, $a = 4$ do 6) pa ne mogu raditi bez iskrišta. Kod iskrišta je pak problem jednolikost razdiobe potencijala. Prema tome je razvoj takvih odvodnika bio koncentriran prvenstveno na poboljšanje rada iskrišta. Međutim, u novije su vrijeme pronađeni keramički materijali od kovinskih oksida i to cinkovog oksida ZnO, čija je nelinearnost daleko veća, pa se mogu konstruirati odvodnici prenapona bez iskrišta. Pri nailasku prenapona na stezaljke odvodnika struja poraste kontinuirano i bez kašnjenja. Ovdje nema prorade već ZnO pločice prelaze kontinuirano u vodljivo stanje, a jednako tako se struja smanjuje bez popratne struje mreže. U srednjonaponskim mrežama koje su kruto uzemljene, ZnO odvodnici omogućuju veće sniženje zaštitnog nivoa nego konvencionalni, ali njihova ugradnja još danas, zbog cijene, nije ekonomična. U visokonaponskim mrežama gdje se i danas ugrađuju skuplji odvodnici s magnetskim ispuhivanjem luka ZnO odvodnici su konkurentni samo u kruto uzemljenim mrežama. Pri prenaponima koji imaju strmo čelo obje su tehnike podjednake, dok u slučaju sklopnih prenapona ZnO tehnika ima bitnu prednost.

Budući da u ZnO odvodniku struja teče stalno postoji opasnost termičke nestabilnosti. No to je danas riješeni problem. Pri pogonskom naponu kroz ZnO otpor teče kapacitivna struja od 1 m A do 2 m A što doprinosi pravilnoj razdiobi potencijala. Zbog toga otpadaju problemi koji se javljaju prilikom zagađenja konvencionalnih odvodnika. U visokonaponskim mrežama (iznad 300 kV) traži se pri oklopnim prenaponima da odvodnik bude u mogućnosti da preuzme velike energije. Taj je zahtjev kod SiC odvodnika vrlo ograničen, dok se ZnO odvodnici mogu vezati paralelno po nekoliko komada. Time se mogućnost preuzimanja energije može podesiti prema potrebi. Računa se da je na taj način moguće sniziti zaštitni nivo za 20% prema SiC tehnici.

Područja upotrebe ZnO odvodnika kao zaštite od prenapona bila bi slijedeća:
— generatori i motori
— zvijezdište transformatora i reaktora pri jednofaznom sklapanju,
— tehnika istosmjerne struje uključivo i tiristorski usmjerivači velike snage,
— oklopljeni FS6 uređaji,
— dugi kabeli visokog napona,
— kondenzatorske baterije velike snage, serijski kondenzatori.

Ekonomska strana problema sprečava još danas da se konvencionalni odvodnici posve potisnu. Mogućnost paralelne veze ZnO odvodnika omogućava rješenje i najtežih prenaponskih problema, ali upotreba takve tehnike iziskuje vrlo točno znanje o pojavama u mreži. Treba očekivati da će se primjena ovakvih novih odvodnika u bližoj budućnosti vrlo brzo proširiti.

(E und M 1983. br. 5) B. M.

NUKLEARNA ENERGIJA U ČEHOSLOVAČKOJ

U petogodišnjem planu Čehoslovačke 1981-1985. utvrđeno je da će 75% očekivanog porasta potrošnja primarne energije biti pokriveno nuklearnom energijom. Na taj će se način ograničiti uvoz goriva i iskorištavanje skromnih čehoslovačkih ugljenih rezervi.

Predviđeno je da se proizvodnja električne energije u klasičnim termoelektranama u 1985. smanji za oko 8,5% od najvišeg nivoa dosegnutog 1982. godine. U 1985. trebale bi nuklearne elektrane proizvesti 15 000 GWh. Prema prognozama trebao bi do 1990. porast udjela nuklearne energije u upotrebi primarne energije narasti za 16%. Tada bi proizvodnja električne energije u nuklearnim elektranama premašila proizvodnju u klasičnim termoelektranama.

Prema državnom ugovoru sa SSSR-om predviđa se već u tekućem petogodištu gradnja velike nuklearne elektrane u Temelinu (južna Češka). Računa se sa snagom od 4 000 MW. Ugrađeni bi bili lakovodni reaktrori sovjetskog tipa. Prvi bi ušao u pogon 1990. S predviđenom godišnjom proizvodnjom od 25 000 GWh bila bi pokrivena oko jedna trećina tadašnjih čehoslovčakih potreba električne energije.

Prema programu izgradnje nuklearnih elektrana u Čehoslovačkoj, ugradilo bi se 12 energetskih blokova sa sovjetskim lakovodnim reaktorima, i to četiri bloka u mjestima Jaroslavske Bohunice, Dukovany i Mohovce. Prva dva bloka izručena su 1978. i 1980. u elektrani Jaroslovske Bohunice. Do 1986. predviđa se gradnja daljnjih 6 blokova, a ostali će ući u pogon do godine 1988/89. Nuklearne elektrane koje bi se gradile nakon 1990. trebale bi imati snagu blokova od 1 000 MW. Paralelno s iznesenim nuklearnim programom predviđa se odgovarajući razvoj domaće strojogradnje kako bi ona mogla preuzeti izradu potrebne opreme za nuklearne elektrane.

Energietechnik 1983, br. 10 B. M.

FUZIJSKI FEAKTOR JET U POGONU

25. lipnja 1983. u Velikoj Britaniji, u blizini Oxforda pušten je u pogon veliki evropski uređaj za nuklearnu fuziju JET (Joint European Tours). Na uređaju (tip Tokamak) provodit će se istraživanja uvjeta za kontroliranu termonuklearnu reakciju fuzije koja bi u budućnosti u fuzijskim reaktorima služila za proizvodnju energije spajanjem vodikovih jezgara.

JET je prvi fuzijski uređaj u kojem bi se mogla stvoriti temperatura plazme do tzv. točke paljenja. Izgradio ga je EURATOM u suradnji s nekoliko evropskih država. Projekti su izrađeni 1973, a gradnja je trajala 5 godina, uz cijenu od 550 milijuna njemačkih maraka. Kompletna izgradnja prema projektu traži još 400 milijuna DM. Predviđa se da će ukupni troškovi za razdoblje 1978-1990. godine, računajući investicije, osoblje i pogon stajati ukupno 2,2 milijarde DM.

Da dođe do paljenja, tj. da plazma može sama sebe održati i još davati energiju, vodikova se plazma mora ugrijati na 100 milijuna stupnjeva. Tek tada nastaje fuzijska reakcija vodikovih jezgara od kojih nastaje jezgra helija alfa-čestice, a dio energije se oslobađa. Proces je sličan onome koji se događa na Suncu. Pri ovako visokim temperaturama teći će u JET-u kroz 20 sekundi struja od 4 800 kA, a to je oko 10 puta više nego u sličnim dosadašnjim aparatima. U prvom pokusnom pogonu postignuta je struja od 60 kA u trajanju od desetinke sekunde.

Dimenzije uređaja vrlo su impozantne. Visine je 12 m, promjer 15 m, a ukupna težina 4 500 tona. Za napajanje 32 magnetne prigušnice D-oblika, visine 6 m, teške 12 tona i

pripadnog transformatora potrebne su velike energije. Energija će se uzimati s maksimalnom snagom od 600 MW iz britanske mreže 400 kV, a uz to će još dodatno služiti 2 generatora energije sa zamašnjacima (700 tona) koji mogu dati kratkotrajno 400 MW. Tolika će, naime, snaga trebati tokom prije spomenutih 20 sekundi.

Prstenasta ćelija u kojoj se stvara plazma sastoji od plemenitog čelika težine 68 tona. plazma će imati promjer od 6 m, a presjek plazme D-oblika 4,2 m na 2,5 m.

U prvoj fazi pogona radit će se s normalnim lakim vodikom, zatim s teškim vodikom-denterijem i na kraju, ako rezultati budu povoljni, s radioaktivnim tricijem. Kako pri fuziji teških vodika nastaju neutroni, dvorana gdje se vrše pokusi opremljena je tonskim zidom debljine 2,8 m.

U JET-u su predviđena ova osnovna istraživanja:
— ponašanje plazme u magnetskom polju
— međusobni utjecaj plazme i stijena komore, prvenstveno problem onečićšenja plazme
— ugrijavanje plazme do temperature paljenja
— vlastito ugrijavanje plazme u području paljenja energijom alfa-čestica.

Fuzivni uređaj JET najveći je od ukupno postojeća ili u gradnji 4 eksperimentalna uređaja tipa Tokamak. U Sjedinjenim Američkim Državama, u Princetonu postoji reaktor TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor) u Japanu JT-60 (Japat-Torus) i T-15 u SSSR-u u Moskvi. JT-60 ući će u pogon potkraj 1984, a T-15 1985. godine. Četiri fuzijska reaktora imaju različite programe istraživanja, no niti JT-60 a niti T-15 nisu predviđeni za rad s tricijem. Uređaji JET i TFTR mogu služiti za studiranje djelovanja užarenih alfa-čestica, ali je samo JET dovoljno velik da se u njemu pokuša izazvati paljenje plazme. Specifičnost uređaja JT-60 je u tome što posjeduje posebnu napravu, tzv. magnetski divertor za čićšenje plazme, a T-15 suprovodljive magnetske svitke.

Već danas se planiraju daljnja istraživanja sljedećeg nasljednika JET-a, negdje devedesetih godina. Studirala bi se dulja termonuklearna gorenja i tehnički problemi materijala za fuzijska istraživanja. Na koncepciji tog novog uređaja NET (Next European Torus) radi od 1. ožujka 1983. posebna evropska studijska grupa od 25 znanstvenika

Max-Plancek-Geselschaft (MPG)-Spiegel 1983. No 4

B. M.

MANJI UDIO NAFTE U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

U deset zemalja EZ proizvedeno je 1982. iz nafte 13% električne energije manje nego prethodne 1981. Prednjačila je SR Njemačka gdje je udio takve proizvodnje iznosio samo 5%, za razliku od Italije od 50% (1981. čak 55%). U ostalim su zemljama 1982. udjeli iznosili:

Belgija	25%
Danska	9%
Francuska	10%
Grčka	29%
Irska	27%
Luksemburg	12%
V. Britanija	24%

Najveća ušteda nafte postignuta je u Njemačkoj gdje je njen udio u proizvodnji električne energije 1981. bio 40%, a u 1982. pao na 24%.

Elektrizitätswirtschaft 1983, br. 25 B. M.

ELEKTRANE U SR NJEMAČKOJ ŠTEDE NAFTNO GORIVO

U prvom polugodištu 1983. javne su elektrane u SR Njemačkoj uštedile prema istom razdoblju 1982. 38% teškog ulja za loženje. Takva se ušteda nastavlja i u drugom polugodištu.

Elektrizitätswirtschaft 1983, br. 22 B. M.

MANJE GRIJANJA NAFTOM

U novogradnjama u SR Njemačkoj drastično je smanjena ugradnja uređaja za loženje naftom. Statistički podaci pokazuju da se od 1979. prvenstveno ugrađuju grijala na plin, a manjim dijelom električne akumulacijske peći i termopumpe. Udio grijanje naftom pao je u razdoblju od 1979. do 1981. od 55% na 38,3%, a udio plina naprotiv porasao od 36,3% na 46,6%. Ostale vrste grijanja, kao daljinsko grijanje, struja, termopumpe i solarni uređaji, porasle su od 4,3% na 8,5%

(Elektrizitätswirtschaft 1983, br. 20) B. M.

UŠTEDA ENERGIJE U ELEKTRIČNIM KUĆANSKIM APARATIMA

Njemačka industrija kućanskih električnih aparata izvršila je i premašila svoju dobrovoljnu obavezu u pogledu uštede električne energije, danu 1980. ministarstvu industrije. Ona se tada obvezala da će novo proizvedeni kućanskih aparata do 1985. moći uštedjeti 10% električne energije prema takvim modelima iz 1978. Međutim, već su u 1982. utvrđene velike uštede energije. Stroj za pranje rublja ušteđuje 8,3%, stroj za pranje suđa 15,2%, a električna pećnica 10,7% električne energije. U akumulacijskim električnim uređajima za pripremu tople vode ušteda prosječno iznosi 20,2%, a u hladnjacima i zamrzivačima oko 17%.

Elektrizitätswirtschaft 1983. br. 21 B. M.

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

SKUPOVI CIGRE — PARIS U 1984. i 1985. GODINI

Krajem ljeta ove 1984. godine održava se u Parizu XXX dvogodišnje zasjedanje CIGRE. Zasjedanje započinje svećanim otvaranjem u srijedu 29. kolovoza, a završava u četvrtak 6. rujna. U tom će razdoblju svoje sjednice održati 15 grupa, a svaka će grupa dobiti na raspologanje jedan cijeli dan tj. ujutro i popodne. Kotizacija koja daje pravo na kolekciju referata i sudjelovanje sjednicama iznosi za članove CIGRE-Paris 2.400 FF, a za nečlanove 3.000 FF.

Na ovom zasjedanju Jugoslavija je preko JUKO CIGRE dala tri referata:

— Analiza uvjeta nastajanja i mogućnosti eliminacije negativnih prigušenja u elektroenergetskom sistemu
— Prilog analizi i uvećanju naponsko-reaktivne sigurnosti elektroenergetskih sistema
— Računska i eksperimentalna istraživanja sklopnih prenapona na dalekovodima visokog napona.

Jezici zasjedanja su francuski i engleski sa simultanim prevođenjem, a referati su pisani u dvije verzije spomenutih jezika. Prilikom prijave može se odabrati verzija po želji.

Svake parne godine CIGRE-Paris organizira generalno zasjedanje koje se uvijek održava u Parizu, a u neparnim godinama održavaju se simpoziji po specijalnim temama. Tako je u 1983. održan u Firenci (26. do 28. IX) simpozij o temi »Primjena upravljanja u sigurnosti elektroenergetskog sistem«, a u Rio de Jeneiru (22. — 24. XI) simpozij: »Hidrogeneratori i sinhroni kompenzatori«.

U 1985. godini od 3. do 5. lipnja grupa studijskih komiteta CIGRE organizira u Bruxelles-u simpozij pod naslovom: »Velike struje u elektroenergetskom sistemu«. Tematika je postavljena u 4 grupe:

1. Dugoročno i kratkoročno gledanje na razvoj strujnog nivoa u visokonaponskim i ultravisokonaponskim mrežama
2. Velike struje u mrežama, stanicama i elektranama
3. Struje kratkog spoja i zemljospoja u mrežama, stanicama i elektranama.
4. Uzemljenja.

Potanje obavijesti o navedenim skupovima može se dobiti u sekretarijatu JUKO CIGRE, Zagreb, Berislavićeva 6, tel: 422-946.

NOVE KNJIGE

H. POŽAR: SNAGA I ENERGIJA U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA

Drugo, prošireno i potpuno prerađeno izdanje, prvi svezak

Izdavač: Informator, Zagreb, 1983., stranica 576, format 17 × 24, poluplatno, Cijena 2.000.– dinara.

Drugo izdanje knjige »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima«, čije je prvo izdanje objavljeno prije dvadesetak godina (Leistung und Energie in Verbundsystemen, Springer Verlag, Wien, 1963; Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd, 1956), tretira probleme izgradnje i eksploatacije elektroenergetskih sistema, što je bila i tema prvog izdanja. Novo izdanje, međutim, predstavlja potpuno novu i znatno detaljniju obradu iste problematike.

U novom izdanju autor je sumirao rezultate jedinstvenih istraživanja koje je skupa sa svojim suradnicima iz Instituta za elektroprivredu proveo u razdoblju nakon prvog izdanja. Kvaliteti knjige znatno je doprinijela i primjena računala u istraživanju problema izgradnje i eksploatacije elektroenergetskog sistema, koja je kod pisanja prvog izdanja bila u začetku, a danas se istraživanja ne mogu zamisliti bez upotrebe računala.

Važno je napomenuti da prvim sveskom nije zaokružena problematika koja je obrađena u prvom izdanju, već je obrađen samo jedan dio, a ostali dio obradit će se u drugom svesku.

Sadržaj obuhvaćene problematike izgradnje i eksploatacije elektroenergetskog sistema u ovom izdanju svrstan je u osam poglavlja. U prvom poglavlju, pod naslovom »Razvoj elektrifikacije«, dan je prikaz razvoja elektrifikacije u svijetu i našoj zemlji (posebno za svaku republiku i pokrajinu) do početka drugog svjetskog rata i nakon drugog svjetskog rada do današnjih dana. Tekst o razvoju elektrifikacije dokumentiran je s velikim brojem podataka, koji se rijetko mogu susresti u stručnoj literaturi, što mu daje posebnu vrijednost.

Drugo poglavlje posvećeno je karakteristikama potrošnje i opterećenju u elektroenergetskom sistemu. U okviru poglavlja obrađeni su problemi regulacije frekvencije, dnevnog dijagrama opterećenja, izbora vremenskog razdoblja, aproksimacija tjedne krivulje trajanja opterećenja i godišnjih oscilacija karakteristika tjedne potrošnje. Također je obrađeno predviđanje potrošnje električne energije za najkraću vremensku jedinicu (dan) i za duže vremensko razdoblje: jednu ili više godina.

Energetskim karakteristikama posvećeno je treće poglavlje. U prvom dijelu poglavlja obrađene su općenito energetske karakteristike, a zatim u nastavku poglavlja energetske karakteristike pojedinih tipova elektrana i dijelova postrojenja.

U elektroenergetskim sistemima s velikim udjelom proizvodnje hidroelektrana u zadovoljenju ukupne potrošnje električne energije, kao što je naš sistem, tretman hidroelektrana zaslužuje posebnu pažnju. Iz tog razloga je autor knjige tom problemu posvetio dva poglavlja: četvrto i peto. U četvrtom poglavlju obrađen je problem moguće proizvod-

nje hidroelektrana na tzv. nezavisnim lokacijama, bez utjecaja uzvodnih hidroelektrana, a u petom poglavlju problem hidroelektrana u lancu. Detaljnim istraživanjem obrađeni su mogući utjecaji na rad hidroelektrana, kao i potrebni volumeni akumulacijskog bazena za različite režime voda.

Sa šestim poglavljem započinje obrada problema simuliranja prilika u elektroenergetskom sistemu, ili kako se to najčešće kaže problem elektroenergetske bilance snage i energije, i to sa smještajem energije hidroelektrana u dijagram trajanja opterećenja. Sagledavanjem mogućnosti zadovoljenja dijela potrošnje proizvodnjom hidroelektrana kao rezultat se dobije krivulja trajanja opterećenja termoelektrana. Detaljno su opisane moguće prilike u sistemu za različite mogućnosti proizvodnje hidroelektrane i posljedice na potrebnu proizvodnju i vremenski raspored proizvodnje termoelektrana. Pri tome se uzimaju u obzir ograničenja u angažiranju termoelektrana u varijabilnom dijelu dijagrama trajanja opterećenja.

Proizvodnja termoelektrana obrađena je u sedmom poglavlju. Za rješenje problema neraspoloživosti termoelektrana i njegovog utjecaja na potrebnu proizvodnju termoelektrana opisane su tri metode. Svaka od njih omogućava korektno rješenje problema, što i ne znači da je svaka jednako primjenjiva, odnosno praktična. Kroz primjere proračuna autor ukazuje i na točnost pojedine metode. Također je obrađen i problem tehničkog minimuma i njegovog utjecaja na potrebnu proizvodnju termoelektrana, troškova za gorivo, kao i potrebne snage termoelektrana.

Osmo poglavlje obuhvaća iskorištenje snage i energije elektrane. U okviru poglavlja obrađeno je: međusobna energetska dopuna hidroelektrana, problem karakterističnih godina u elektroenergetskim analizama, utjecaji akumulacijskih bazena na proizvodnju hidroelektrana, utjecaj udjela hidroenergije na prilike u elektroenergetskom sistemu, kao i ostale utjecajne karakteristike postrojenja na prilike u sistemu.

Prvo izdanje ove knjige postalo je osnovni udžbenik generacije studenata i stručnjaka koji su svoja prva znanja, kao i znanstvene i stručne radove temeljili na njemu. Gotovo nema rada s područja planiranja izgradnje i eksploatacije sistema koji se ne poziva na »Snagu i energiju u elektroenergetskim sistemima«. Uspoređujući drugo izdanje s prvim sa sigurnošću se može reći da će drugo izdanje još više doprinijeti unapređenju stručne i znanstvene misli na području elektroenergetike i elektroenergetskih sistema.

Autor je napisao visokoznanstveno djelo koje na jednostavan i jasan način čitaocu približava vrlo složenu problematiku. Knjiga je dokumentirana s obiljem interesantnih podataka, koji su zanimljivi ne samo usko specijaliziranim stručnjacima, već i znatno širem broju ljudi. Ipak se mora reći da je knjiga prvenstveno namijenjena stručnjacima iz elektroprivrednih organizacija jer za potpuno ovladavanje date problematike potrebno je dobro predznanje.

U knjizi su obuhvaćena najsuvremenija kretanja znanstvene misli. Postupci su detaljno razrađeni, često popraćeni dijagramom toka za elektroničko računalo i ilustrirani primjerima, tako da će za mnoge energetičare biti pravi izazov.

Prošlo je dugo razdoblje između prvog i drugog izdanja, i na zadovoljstvo svih energetičara autor ga je na najbolji način iskoristio. Obuhvatio je stručnu literaturu s vrijednim djelom, u kojem svaki energetičar, bez obzira na složenost poslova koje obavlja, može naći nešto korisno i praktično za sebe, pa se kao takvo svima i preporučuje.

STRATEGIJA DUGOROČNOG RAZVOJA ENERGETIKE JUGOSLAVIJE
Redakcija: H. Požar

Izdavač: Informator — Zagreb, 1983. 172 stranice, format 17 × 24, broširano, cijena 450.– dinara

U knjizi su u cjelosti objavljeni rezultati rada podgrupe za izradu strategije razvoja energetike Komisije saveznih društvenih savjeta za probleme ekonomske stabilizacije a u okviru izrade dugoročnog programa ekonomske stabilizacije.

Premda ovaj rad, kao što u predgovoru ističe akademik H. Požar, predstavlja samo prvi korak u sagledavanju budućeg razvoja energetike, vrijednost ovog rada je velika jer je to do sada najcjelovitiji rad na tom području i vrlo su objektivno sagledane energetske potrebe i mogućnosti zadovoljenja.

Knjiga je podjeljena na osam poglavlja. U prvom poglavlju napravljena je analiza potrošnje energije u prošlosti i usporedba s ostalim zemljama. Vrlo dokumentirano je pokazano mjesto Jugoslavije u energetskoj potrošnji svijeta, kao i trendovi potrošnje u pojedinim razdobljima. Posebno je istaknut problem tekućeg goriva, i nepovoljni trendovi u njegovoj potrošnji ukazuju na odsustvo dobre energetske politike u prošlosti i slabu elastičnost energetskog sistema na promjene u svjetskim odnosima.

Budući razvoj potrošnje energije obrađen je u drugom poglavlju. U tri varijante, zavisno o razvoju društvenog proizvoda predviđena je potrošnja energije do 2020. godine. Posebno je također, za navedeno razdoblje procijenjena potrošnja električne energije kao podsistema u ukupnom energetskom sistemu.

Primarni oblici energije i mogućnosti njihovog iskorištenja obrađeni su u trećem poglavlju. Na temelju dosadašnjih istraživanja sagledane su rezerve i mogućnosti proizvodnje ugljena, nafte, zemnog plina, vodnih snaga, urana, bituminoznih škriljevaca, geotermičke energije, energije sunčevog zračenja, energije vjetra, biljnih i životinjskih otpadaka.

U četvrtom poglavlju razrađene su energetske bilance i elektroenergetske bilance. Sagledane su potrebne investicije i obrađen je problem iscrpljivanja vlastitih energetskih izvora.

Peto poglavlje obrađuje mjere i akcije za osiguranje opskrbe energijom. Za sve primarne oblike energije navedene su nužne aktivnosti koje bi omogućile zadovoljenje predviđene potrošnje energije. Osim toga obrađen je problem energetske opreme, kadrova i organizacije energetike.

Društveno-ekonomski odnosi u energetici obrađeni su u šestom poglavlju. U okviru teme obuhvaćeni su problemi: cijena, dohotka, samoupravnog organiziranja, proširene reprodukcije, planiranja i upotrebe domaće opreme.

Racionalizacija potrošnje energije je tema koja je jednako aktualna i danas i ubuduće, pa je našla svoje mjesto u ovoj knjizi, u sedmom poglavlju. Osnovno je da se mora mijenjati odnos prema energiji počev od potrošača, proizvođača opreme, mjernih službi, pa do energetske politike i traženja najpovoljnijih rješenja.

U zaključnim razmatranjima, poglavlje osam, sažeto su iznesene ideje koje su obrađene u prethodnim poglavljima s naznakom nužnih aktivnosti za ostvarivanje dugoročnog plana razvoja energetike u Jugoslaviji.

Knjiga je interesantna ne samo za energetičare, već i za stručnjake ostalih struka, jer realno informira čitaoca o energetskim prilikama i problemima koji postoje u zadovoljenju potrošnje energije, te se kao takva preporučuje.

ALTERNATIVNI ENERGETSKI IZVORI III (ALTERNATIVE ENERGY SOURCES III)

Izdavač: Springer-Verlag, Berlin,' Heidelberg, New York, Tokyo, 1983. Cijena: DM 1390, US $ 551.90 (Hemisphere Publishing Corporation, 1983.)

Ovaj zbornik radova s Trećeg internacionalnog savjetovanja o alternativnim energetskim izvorima (The Third Miami International Conference on Alternative Energy Sources, December 15–17, 1980, Miami Beach, Florida) je komplet od devet knjiga:

Vol. 1 Solar Energy 1 (Solarna energija 1)
Vol. 2 Solar Energy 2 (Solarna energija 2)
Vol. 3 Solar Energy 3 (Solarna energija 3)
Vol. 4 Indirect Solar/Geothermal energy
(Indirektna solarna /Geotermička energija)
Vol. 5 Nuclear Energy/Synthetic Fuels
(Nuklearna energija/Sintetička goriva)
Vol. 6 Hydrocarbon Tehnology (Tehnologija ugljikovodika)
Vol. 7 Conservation (Štednja energije)
Vol. 8 Economics/Education (Ekonomika/Obuka)
Vol. 9 Policy/Environment (Politika/Okoliš)

U prvoj knjizi su članci svrstani u šest grupa koje obuhvaćaju problematiku insolacije, kolektora i spremnika energije. Referati u vezi insolacije obrađuju evidentiranje i statističku obradu podataka o direktnom i difuznom zračenju. Teoretskim proračunima i eksperimentalnim rezultatima je prikazano nekoliko novih tipova ravnih i koncentrirajućih kolektora, te spremnika topline na bazi materijala s promjenom agregatnog stanja.

Druga knjiga obuhvaća pasivno iskorištavanje Sunčeve energije, grijanje i klimatizaciju, pripremu potrošne vode, toplinske pumpe, te primjenu Sunčeve energije u procesnoj industriji i agroindustriji. Pasivno je iskorištavanje uglavnom zastupljeno člancima o solarnoj arhitekturi obiteljskih kuća, uz poseban osvrt na interesantna rješenja stambenih objekata u bližoj i daljnjoj prošlosti. Grijanje i klimatizacija je zastupljeno prikazom tehničke izvedbe i ekonomičnosti pojedinih konkretnih rješenja, te par primjera kompjuterskih simulacijskih programa. Isto se odnosi i na preostale grupe članaka iz ove knjige.

U treću su knjigu svrstani radovi o desalinizaciji, solarnim elektranama, solarnim ćelijama, bioenergiji i biomasi. Najviše članaka tretira problematiku proizvodnje električne energije iz solarnih elektrana na principu farme i tornja, te iz Stirlingova generatorskog sistema. Radovi u vezi solarnih ćelija predstavljaju fiziku raznih fotovoltaičnih sistema. Bioenergija i biomasa su zastupljene prikazom potencijalnih energetskih mogućnosti biofarmi, te nekih postupaka ukapljivanja i plinifikacije biomase.

Članci iz četvrte knjige obrađuju tehnička rješenja, ekonomičnost i standardizaciju vjetrogeneratora, pa zatim vrlo iscrpno sisteme za iskorištavanje toplinske energije oceana. U ovu je knjigu još uključena problematika malih hidroelektrana, uglavnom s konstrukcionog aspekta i geotermička energija za samo dva općenita članka.

Referati iz pete knjige su svrstani u 6 područja: fisijski i fuzijski reaktori, proizvodnja i karakteristike sintetičkih goriva te proizvodnja i korištenje vodika. U poglavlju o fisijskim reaktorima zastavljeni su visokotemperaturnim plinom hlađeni reaktori i brzi oplodni reaktori s aspekta proizvodnje energije i dijelom nuklearne sigurnosti. Nekoliko referata tretira perspektive i moguću primjenu fuzije. Problematika proizvodnje i karakteristika pojedinih sintetičkih goriva objašnjeni su s teoretskog aspekta, a navedeni su i rezultati pojedinih pokusa i ispitivanja. U nekoliko referata prezentirani su različiti načini moguće proizvodnje vodika te njegova upotreba u cestovnom i pomorskom saobraćaju.

U referatima šeste knjige su obrađene tehnologije ugljikovodika koje bi u budućnosti mogle naći primjenu. U većini referata obrađen je tehnički i ekonomski aspekt problema.

Referati su podijeljeni u osam slijedećih skupina: likvefakcija ugljena, rasplinjavanje ugljena, rasplinjavanje ugljena i industrijska higijena, izgaranje u fluidiziranom sloju, plinske turbine na izgaranje ugljena, bituminozni pjesci, teške nafte i uljni škriljavci.

Teme koje su obrađene, čak i unutar nabrojenih grupa, vrlo su raznolike, a kreću se u rasponu od čisto teoretskih razmatranja određenih procesa do iznošenja praktičnih iskustava na pojedinim projektima.

Sedma knjiga je skup referata kojima je zajednička tema štednja i racionalna upotreba energije.

Prva grupa referata odnosi se na efekte koji se postižu arhitekturom građevinskih objekata djelomično ili potpuno ukopanih u zemlju.

Slijedi skupina sa zajedničkim nazivom: »Štednja energije«, koja sadrži referate u kojima se analiziraju utjecajni faktori, mogućnosti, trendovi i planovi štednje energije.

»Energija iz otpada« je zajednički naziv za slijedeću skupinu referata u kojima su obrađene neke mogućnosti iskorištavanja tog energetskog potencijala.

U grupi referata »Integrirani sistemi« prikazani su neki sistemi koji se mogu koristiti u poljoprivredi, kao i moguć doprinos tako dobivene energije.

Ova knjiga sadrži još dvije grupe tema u okviru kojih se najprije obrađuju prednosti i mane spojnih procesa, a zatim neki specifični kontrolni sistemi koji se koriste u različitim područjima iskorištavanja energije.

U osmoj knjizi navedeni su referati iz slijedećih područja: ekonomija korištenja pojedinih vrsta energije, međunarodni razmještaj energetskih izvora sa posebnim osvrtom na zemlje u razvoju, zatim planiranje korištenja energije u pojedinim zemljama, kao i značenje i potreba obrazovanja kadrova za racionalno korištenje energetskih izvora.

U okviru ekonomije korištenja pojedinih vrsta energije, govori se o ekonomskim gledištima korištenja biomase, solarne, geotermalne i konvencionalnih oblika energije za grijanje, zatim o tehnici evaluacije prilikom komparacija pojedinih alternativa, te o mogućnostima transporta energije. Navedene ekonomske analize izvode se u svrhu formiranja načina i politike korištenja pojedinog energetskog izvora.

Poglavlje o međunarodnom razmještaju energetskih izvora govori velikim dijelom o potrošnji i mogućnostima potrošnje energije u zemljama u razvoju. Za usporedbu navedeni su i podaci o potrošnji energije u razvijenim zemljama.

Konkretni prikazi potrošnje pojedinog oblika energije, kao i mogući razvoj potrošnje pojedinih zemalja ilustrirani su u trećem poglavlju ove knjige. U četvrtom su poglavlju naznačene neke institucije za školovanje, njihovi programi rada, kao i rezultati koje su postigli.

Referati posljednje knjige su podijeljeni u dvije grupe: »Politika i strategija« i »Ekološki aspekti«.

Područje koje obrađuju referati prve grupe vrlo je široko i raznoliko, a dominiraju problemi vezani za korištenje energije Sunčeva zračenja. Osim toga obrađuju se karakteristike iskorištavanja alternativne energije, nužnost planiranja obnovljivih energetskih izvora u novom ekonomskom i socijalnom poretku, perspektive i strategije kompjuterizacije energetskih sistema, planiranje potrošnje energije za industrijska poduzeća, pravovremeno planiranje spojnog procesa i neki drugi problemi.

Zajednička tema druge grupe referata je utjecaj iskorištavanja energije na okoliš. Dotaknuta su razna područja i problemi kao na pr. doprinos zagađivanja izgaranjem drveta, utjecaj letećeg pepela iz elektrana, djelovanje iskorištavanja nekonvencionalne energije na zdravlje, problem ekologije u vezi izgradnje malih hidroelektrana, ekološki problem prilikom proizvodnje metana iz gradskog smeća itd.

U ovih devet knjiga sakupljeni radovi predstavljaju novija dostignuća i iskustva s područja koja obrađuju, s posebnim osvrtom na njihovu ekonomičnost i mogućnost primjene. Dodaju li se tome iscrpne reference, može se konstatirati da ovaj zbornik predstavlja vrijedan materijal za sve one koji se bave problemima energetike.

UDK 621.31

ENJAAC 33 (3)-(1984) 185—284

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

»Elektroprivreda«, Rijeka
»Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić*, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić*, dipl. ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić*, dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele*, dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin*, dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković*, Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža*, dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović*, dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić*, dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović*, dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić*, dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić*, dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar*, dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić*, dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić*, dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković*, dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin*, dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen*, dipl. ec., Jure *Šimović*, dipl. ec., Petar *Kuzele*, dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ*.

Redakcija završena 1984 — 05 — 15

Godište 33 (1984) Zagreb 1984 Br. 3

S A D R Ž A J

Nevečerel D.: Redukcija pasivnih elektroenergetskih mreža (Originalni znanstveni rad) . . 187

Pešut D.: Adaptivan postupak predviđanja dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sistemu (Originalni znanstveni rad) . 191

Mužek Z.: Razvoj korištenja energije na području grada Zagreba u razdoblju 1961—1978. godine (Pregledni rad) 197

Ćurković J.-Jelavić V.: Mettode za evaluaciju demografskih, meteoroloških i radioloških karakteristika lokacija nuklearnih elektrana (Originalni znanstveni rad) 211

Boinović V.-Trbojević S.: Uloga nekonvencionalnih izvora energije u energetici Jugoslavije (Pregledni rad) 227

Tropin K. A.: Razvoj električnog grejanja u nas i u svetu (Pregledni rad) 241

Vijesti iz elektroprivrede 255

Iz strane stručne literature 258

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/I-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 500 dinara, a za poduzeća i ustanove 2000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 300 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec

UPUTE AUTORIMA

Uredništvo časopisa Eenergija nastoji da u pogledu forme bude po uzoru na svjetske standarde koji vladaju u stručnoj literaturi, a prema uputama našeg Referalnog centra.
U okviru tog nastojanja uredništvo je zaključilo da se točno pridržava pravila da se sve fizikalne veličine kao što su dužina *(l)*, vrijeme *(t)*, električni napon *(U)*, električna struja *(I)*, itd. tiskaju kosim slovima, a sve ostale oznake, kao kratice mjera (kW, A, V, tl) matematički znakovi, uključujući potencije i indekse, uspravnm slovima. Taj će se princip provoditi u tekstu, u formulama i na crtežima na što posebno upozoravamo naše suradnike.

Kao primjer neka posluži sljedeće:

a) Struja jednopolnog kvara

$$I_{Pk} = \frac{\sqrt{3}\ U}{I_k\ (2R_k + R_{ok}) + 3R_{\ N} + 3R_L}\ A$$

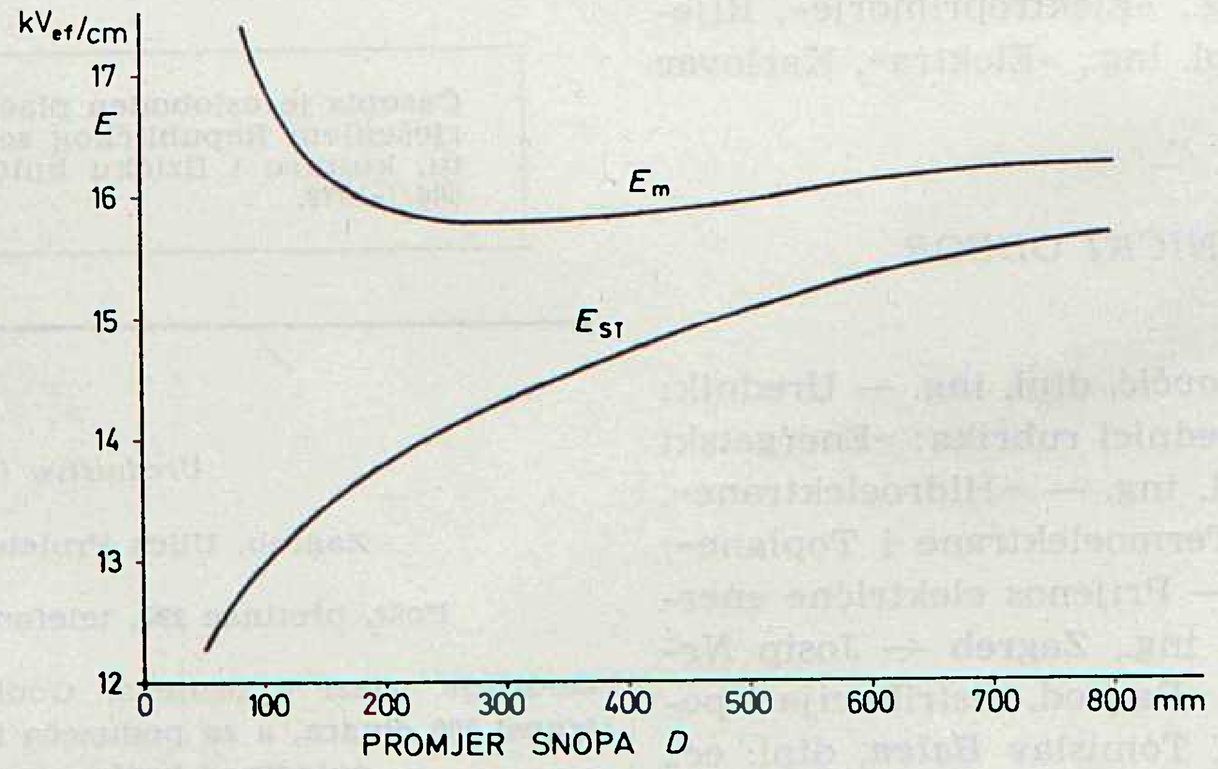
kako su *l, U, I i R* fizikalne veličine pišu se kosim slovima (kurzivom), a sve ostalo ravnim slovima:

b)

$$\cos\varphi + j\sin\varphi = e^{j\varphi}$$

U ovoj formuli u kurzivu je samo oznaka za kut φ.

c) Na priloženom dijagramu *E* i *D* su fizikalne veličine i pišu se kosim, a mjerne jedinice uspravnim slovima.



d) Članak koji nije pisan prema ovim uputama, neće se tiskati.

Uredništvo

REDUKCIJA PASIVNIH ELEKTROENERGETSKIH MREŽA

Davor N e v e č e r e l, Zagreb

UDK 621.316.1
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku je izložen matematički model s opisom programa za računski stroj i s priloženim primjerom proračuna.

Ključne riječi: redukcija, mreže, elektroničko računalo.

UVOD

Budući da su elektroenergetske prijenosne mreže na području SR Hrvatske, a pogotovo SFRJ Jugoslavije veoma velikih dimenzija, koje kudikamo premašuju raspoložive kapacitete postojećih programa za kratki spoj, nužno je pristupiti izradi programa za redukciju pasivne elektroenergetske mreže. Taj bi se program mogao kasnije povezati zajedno s programom za kratki spoj, što bi omogućilo računanje veoma velikih mreža skladnim zajedničkim radom obaju programa.

MATEMATIČKI MODEL

Matematički model izloženog proračuna redukcije elektroenergetske mreže baziran je na sljedećim pretpostavkama:

1. Stanje mreže koju treba reducirati na zadana čvorišta jest mreža u praznom hodu.
2. Matrica admitancija grana jest dijagonalna matrica.
3. Čvor ∅ je neutralna točka i pridružuje mu se najveći redni broj čvora uvečan za 1 (N + 1).
4. Iza generatorske impedancije modelira se čvor ∅ ≡ N + 1.

Nakon učitavanja ulaznih podataka provodi se reznumeracija čvorova mreže dva puta; prvi put se čvorovi, koji mogu poprimiti veličine 1 — 1 000 i ne moraju biti u kontinuiranom poretku, renumeriraju u uzlazni neprekinuti red od 1 do N (ukupan broj čvorova mreže), jer se na taj način znatno ubrzava proračun za mreže značajnije manje od 1 000 čvorova. Zatim se provodi ponovna renumeracija koja se temelji na broju grana po čvoru analizirane mreže. Tako »pripremljena« mreža zatim se reducira na zadane čvorove i čvorište ∅ ≡ N + 1. (čvorište ∅ ≡ N + 1 se nikada ne reducira!)

Optimalna numeracija mreže

Da bi se proces eliminacije čvorova mreže mogao odvijati na efikasan način, razvijen je računski postupak radi smanjenja računskih operacija, kao i zahtijevanje memorije računala. Taj se postupak temelji na broju grana po čvoru analizirane mreže i opširno je opisan u L.1. Ukratko, po tom postupku su čvorovi sa samo jednom granom pridruženi najmanjim rednim brojevima i njihovom eliminacijom se originalna mreža reducira za jednu granu i jedan čvor. Eliminacija čvorova s dvije grane rezultira brisanjem dviju grana originalne mreže uz istodobno uvođenje jedne nove grane koja može biti paralelna nekoj grani originalne mreže. Daljnjom eliminacijom rast će broj novoformiranih grana mreže uz istodobno brisanje sve većeg broja grana originalne mreže, tako da opisani postupak ima maksimum grana originalne mreže prema kojemu je dimenzionirano dinamičko radno područje programa. Efikasnost metode je funkcija konfiguracije i veličine mreže.

Matematički model proračuna redukcije pasivne elektroenergetske mreže.

Programi za redukciju pasivnih elektroenergetskih mreža mogu se prema matematičkoj podlozi modelirati na tri različita načina. To su (L.2):

1. redukcija pasivnih elektroenergetskih mreža metodom grana mreže;
2. redukcija pasivnih elektroenergetskih mreža metodom blok transformacije;
3. redukcija pasivnih elektroenergetskih mreža metodom mrežnog analizatora.

Odabrana je metoda označena pod 1. tj. metoda grana mreže, koja je posebno prikladna za velike mreže. To je klasični postupak pretvorbe opće zvijezde u opći poligon. Izvan područja transformacije električne prilike ostaju identične. Formula transformacije za opći slučaj glasi:

$$\bar{Y}_{s-t} = \frac{Y_{n-s} \cdot Y_{n-t}}{\sum_{i=0}^{n} Y_{n-i}} \qquad (1)$$

gdje su s i t čvorovi grane poligona, a reducira se čvor n.

PROGRAM ZA PRORAČUN REDUKCIJE PASIVNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE

Na temelju iznesene matematičke podloge izrađen je program RIMA3 za redukciju pasivne elektroenergetske mreže. Program se sastoji od 6 potprograma (vidi sl. 1). To su redom:

1. Potprogram ULAZ3 za učitavanje ulaznih podataka koji se sastoji od **upravljačkih naredbi** koje nemaju pridruženih podataka i **naredbi opisa programa** koje prethode numeričkim podacima. Svaka naredba, upravljačka ili naredba opisa programa, počinje od prvog stupca i FORTRAN Compiler čita prvih osam znakova. To su naredbe:

a) naredbe opisa programa
TITLE, PARAMETER, LINE DATA, GENERATOR DATA, TRANSFORMER DATA, FAULT ONLY BUSBARS,

b) upravljačke naredbe
COMPUTE, REDUCE, ZERO SEQUENCE, DATA ENDS.

Sve te naredbe posve su kompatibilne ulaznim podacima za proračun kratkog spoja (vidi L.1), gdje su i detaljno opisane. Ovdje će biti istaknute samo razlike.

Naredba PARAMETRI

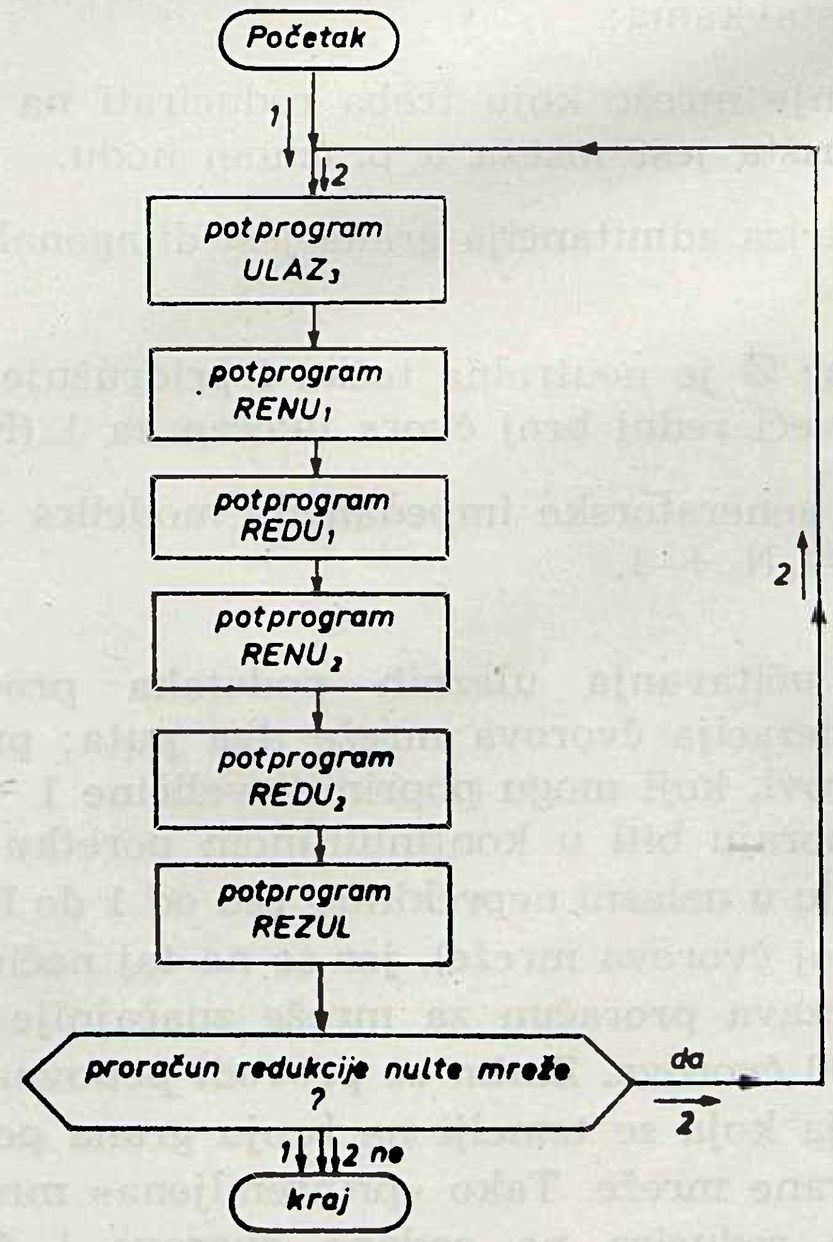
Za razliku od programa za kratki spoj ne zadaje se broj čvorova ulazne mreže N jer će ga program kasnije sam odrediti. Također je različito značenje i varijable F, gdje sad predstavlja ukupan broj čvorova reducirane mreže.

Naredba FAULT ONLY BUSBARS

Već je istaknuto različito značenje naredbe u programima za kratki spoj i redukciju mreže. Dok u prvom slučaju naredba opisuje čvorove za koje će biti štampani izlazni rezultati proračuna kratkog spoja, u drugom slučaju naredba prethodi podacima o brojevima čvorova reducirane mreže.

Naredba REDUCE

Mora biti prethođena upravljačkom naredbom COMPUTE i ima značenje zahtjeva za proračunom redukcije pasivne elektroenergetske mreže.
Preostale naredbe imaju isto značenje kao i u proračunu kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama, s tom razlikom što se odnose na proračun redukcije pasivne elektroenergetske mreže.
2. Potprogram RENU 1 što vrši prvu renumeraciju zadanih brojeva čvorova, koji mogu biti u rasponu 1 — 1 000, i ne moraju biti u kontinuiranom poretku. Renumeracija se provodi u namjeri da se zadani brojevi čvorova mreže renumeriraju u kontinuiran neprekidan uzlazni red koji počinje od 1 i završava sa najvećim rednim brojem čvorišta N radi kasnijeg ubrzanja proračuna za mreže znatno manje od maksimalno 1 000 čvorova.
3. Potprogram REDU 1 koji formira vektor impendacija grana mreže. Paralelno određuje dvije integer-matrice koje sadrže informacije za prepoznavanje i adresiranje pojedinih članova matrice impedancija grana. One su nužne u postupku koji reducira uobičajeni pristup iz sustava dvodimenzionalnih matrica na jednodimenzionalne matrice s paralelnim informacijama za prepoznavanje i adresiranje pojedinih članova različitih od nule. Zatim prelazi u račun s vodljivostima i zadanim uzdužnim granama mreže pridružuje poprečne grane mreže uz paralelno pridruživanje (N + 1)-og rednog broja čvorišta ∅.
Paralelne grane se eliminiraju zamjenom za ekvivalentnu granu.
4. Potprogram RENU2, gdje se vrši renumeracija čvorova mreže prema postupku opisanom u »Optimalna renumeracija mreže«.
5. Potprogram REDU2 u kojem se vrši eliminacija čvorova prema izrazu (1), izuzimajući čvorove koji su navedeni iza naredbe REDUCE i čvora N + 1. Paralelna eliminacija grana obavlja se blokiranjem odgovarajućeg podatka mreže, tako da on više ne ulazi u računski postupak.
Na kraju ciklusa za jedan čvor se vektor admitancija grana reducira brisanjem blokiranih grana mreže.
6. Potprogram REZUL napokon daje rezultate za reduciranu mrežu, sa po volji novom numeracijom čvorova mreže.
Blok-shema programa RIMA3 prikazana je na slici 1.



Slika 1. Blok-shema programa RIMA3 za proračun redukcije pasivne elektroenergetske mreže

PRIMJER PRORAČUNA

U toku ispitivanja i testiranja programa za redukciju pasivnih elektroenergetskih mreža obavljen je niz proračuna na manjim i većim mrežama uz istodobnu kontrolu rezultata na različite načine: ili metodom »pješke« računa za male test mreže, ili paralelnim proračunom mreže ICL-im programom.

ICL Power System 1900 Series, Passive Network Reduction
i dobiveni su identični rezultati.

Navest će se primjer redukcije mreže od 120 čvorova, 278 vodova i 46 generatora, na zadanu mrežu od (20 + 1) čvor, primjer iz podloga proračuna mreže za 1985. godinu. Primjer prikazuje redukciju mreže SR Hrvatske na području Elektroprenosa Zagreb i Elektroprenosa Osijek (L.3).


```
 PROGRAM RTMA3  - REDUKCIJA PASIVNE MREZE
****************************************

TITL
 MREZA HRVATSKE 1985. - RN II/0176 - DIR - RED. ZA MREZU A

PARA
  278    46     0    20

FAUL
    1 120 183 501 502 504 507 508 530 511 512 515 516 517 601
 602 701 703 704 705

COMP

REDU

LINE
    1     1     2  0.2531000E-01   0.2784400E+00   0.0000000E+00
    2     2    42  0.3769000E-01   0.4145600E+00   0.0000000E+00
    3     2   702  0.1500000E-01   0.1650000E+00   0.0000000E+00

  278   601   602  0.7287300E+00   0.2600870E+01   0.0000000E+00

GENE
    1     6  0.1046400E+00   0.1496350E+01
    2     7  0.5656000E-01   0.8088400E+00
    3     9  0.2397900E+00   0.3429130E+01

   46   602  0.1067220E+01   0.3718320E+01

DATA
```

Ulazni podaci

```
 MREZA HRVATSKE 1985. - RN II/0176 - DIR - RED. ZA MREZU A

= REDUCIRANA MREZA =
====================
        0         1        0.031396        0.537316
        0       120        0.240770        1.673593
        0       183        0.388264        1.569481
        0       501        0.005737        0.187382
        0       502        0.015186        0.749232
        0       504        0.014230        0.220043
        0       507        0.307418        2.200926
        0       508        0.033615        0.981612
        0       511        3.272084       21.529081
        0       512        7.089706       20.055405
        0       515        4.464023       15.307597
        0       516        6.832512       12.978540
        0       517        3.518281        8.718971
        0       530        0.017600        1.680000
        0       601        0.002381        0.056275
        0       602        1.055106        3.616159
        0       701        0.008459        0.170664
        0       703        0.041723        0.585111
        0       704        0.274302        1.065451
        0       705        0.191338        1.106066
        1       120        1.800610       10.372189
        1       183        1.936324        8.690030
        1       501        5.977757       40.408939

      703     704        3.568926        8.241342
      703     705        0.205473        1.248665
      704     705       30.609642       28.408476
```

Rezultati

Nakon redukcije mreža ima 192 grane (od toga 20 nadomjesnih generatora !), što je nešto manje od 21. (21—1)/2 = 210 grana, jer je prorgam neke grane sam isključio zbog specifične topologije zadane mreže. Ulazni podaci su zadani s oznakama čvorova 1 — 1 000, i ispitivanja su pokazala da prva renumeracija (potprogram RENU 1) skraćuje računski postupak desetak puta.

Praćenjem konkretnog primjera proračuna proizlazi da paralelnom eliminacijom grane koji više ne ulaze u račun, ukupno dinamičko područje programa ne prelazi početnu vrijednost od M+G+M grana, tako da program radi s minimalnim rednim područjem.

Skraćeni prikaz izlazne liste rezultata proračuna na str. 189.

ZAKLJUČAK

Razvijeni program za redukciju pasivnih elektroenergetskih mreža na bazi »metode grana mreže« pokazao je u primjeni vrlo dobra svojstva s obzirom na brzinu proračuna i zahtijevanu memoriju računskog stroja. Ovdje želimo istaknuti da se optimiranje programa za redukciju pasivnih elektroenergetskih mreža prevenstveno sastoji u prikladnim renumeracijama čvorova zadane mreže. Neprestanim nadzorom nad numeričkim postupkom proračuna (eliminacija grana koje više ne dolaze u račun!) postižu se također znatne uštede u memoriji računala.

Budući da su ulazni podaci pisani u kompatibilnom obliku u odnosu na program za proračun kratkog spoja, buduće povezivanje obaju programa radi lakšeg računanja velikih elektroenergetskih mreža ne bi smjelo biti neki veći problem.

LITERATURA

[1] D. Nevečerel: *Proračun kratkog spoja na digitalnom elektroničkom računalu,* Energija 2/83.

[2] M. Ožegović: *Usporedba metoda za redukciju mreže,* Referat na XIV savjetovanju CIGRE, Sarajevo 1979. godine.

[3] D. Nevečerel: *Optimiranje elektronskog sistema Hrvatske. Proračun kratkog spoja,* Institut za elektroprivredu Zagreb, 1981. godine.

KEY WORDS: REDUCTION, NET, COMPUTER

REDUCTION OF PASSIVE ELECTRIC NETS

In the article is presented a mathematical model with description of computer program as well as with an exampple of calculation.

REDUKTION PASSIVER ELEKTROENERGETISCHER NETZE

Im Artikel wurde das mathematische Model mit der Beschreibung des Programms für den Datenrechner mit dem beigefügten Beispiel für die Berechnung bearbeitet.

УПРОЩЕНИЕ ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В статье представлена математическая модель с описанием программы для ЭВМ с прилагаемым примером расчета.

Naslov pisca:

Mr Davor Nevečerel, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 ZAGREB,
Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1983-08-15

ADAPTIVAN POSTUPAK PREDVIĐANJA DNEVNOG DIJAGRAMA OPTEREĆENJA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

mr Damir P e š u t, Zagreb

UDK 621.3.01
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku je prikazan postupak predviđanja satnih opterećenja elektroenergetskog sistema do 24 sata unaprijed, njegove mogućnosti i struktura programske podrške.

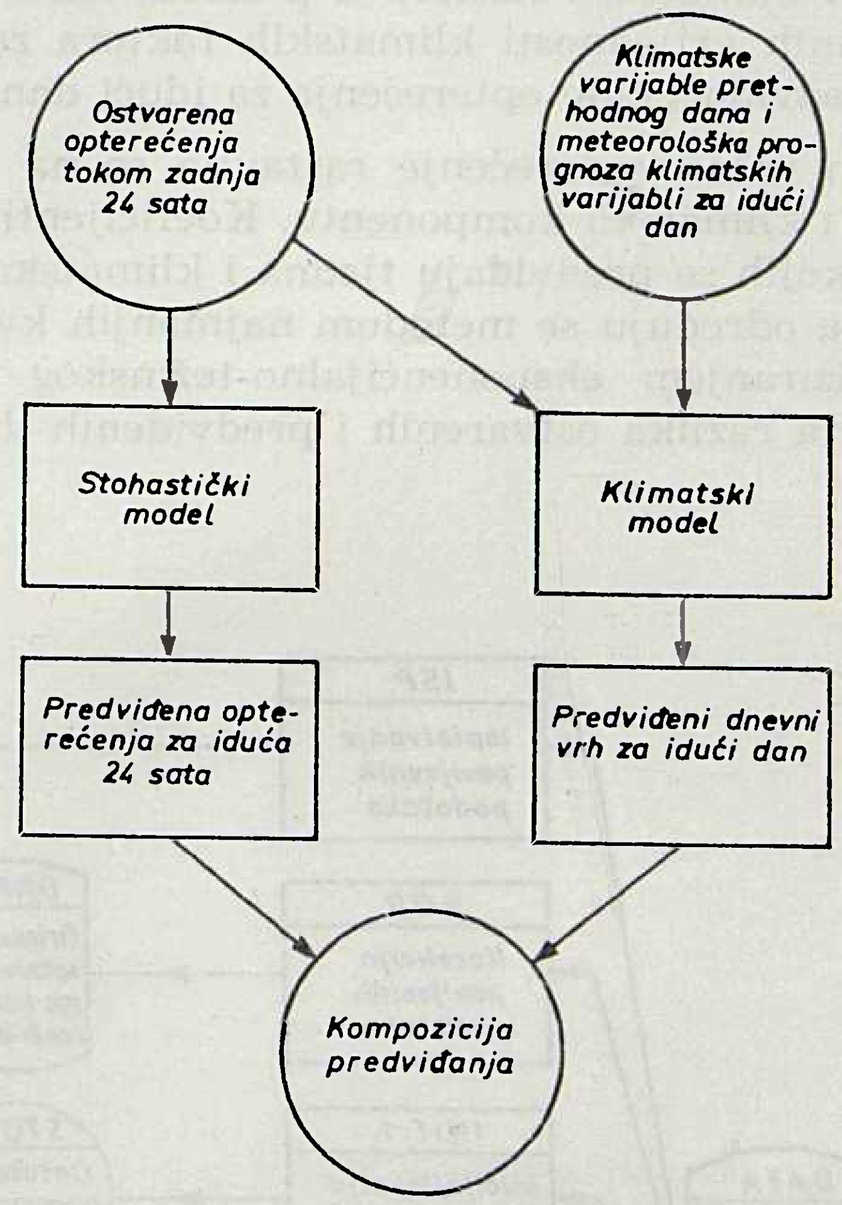
Ključne riječi: planiranje opterećenja, dnevni dijagram, optimalna raspodjela opterećenja.

1. UVOD

Predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja, koji može odgovarati opterećenju elektroenergetskog sistema, opterećenju područja ili pojedinih sabirnica, nužno je za kratkoročnu eksploataciju sistema, tj.:

- za određivanje optimalne raspodjele opterećenja između proizvodnih elemenata elektroenergetskog sistema
- za analize tokova snaga i naponskih prilika u elektroenergetskom sistemu
- za analize sigurnosti
- za određivanje najpovoljnije razmjene između različitih sistema.

Iznosi satnih opterećenja najčešće nisu slučajni. Na njih utječe stalan porast potrošnje, klimatske i životne prilike, radna aktivnost u cikličkom razdoblju od tjedan dana, radna aktivnost u toku dana, klimatski faktori, promjene radne atkivnosti u toku praznika i radnih subota, ograničenja u opskrbi električnom energijom i slučajne pojave.



Slika 1. Tok postupka za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja

2. OSNOVNI TOK POSTUPKA PREDVIĐANJA

Na slici 1. u osnovnim je crtama naznačen tok postupka za predviđanje dijagrama opterećenja za iduća 24 sata. Podaci o satnim opterećenjima iz najviše 24 prethodna sata i prognoza klimatskih faktora obrađuju se stohastičkim i klimatskim modelom. Stohastički model vrši obnavljanje parametra predviđanja i predviđa opterećenja za 24 sata unaprijed. Klimatski model također vrši regeneraciju parametara klimatskog predviđanja i daje dnevno vršno opterećenje za idući dan. Kompozicijom obaju predviđanja proizlazi konačno predviđeni dijagram opterećenja za iduća 24 sata.

2.1. Stohastički model

Stohastički model na temelju satnih opterećenja iz prošlosti detektira sezonsku, tjednu i preostalu komponentu opterećenja.

Sezonska je komponenta prosjek ostvarenih satnih opterećenja u zadnjih sedam dana.

Tjedna se komponenta određuje eksponencijalnim izglađivanjem razlike ostvarenih satnih opterećenja i sezonske komponente. Ona registrira karakteristike potrošnje svakog pojedinog dana u tjednu.

Preostala je komponenta rezultat mnogih slučajnih utjecaja, među kojima su i klimatski, a određuje se autoregresivnim postupkom uz pretpostavku da je preostala komponenta u svakom satu linearna kombinacija preostalih komponenata opterećenja u svim satima prethodnog dana.

Zbroj predviđene sezonske, tjedne i preostale komponente stohastičkim je modelom predviđen dijagram opterećenja.
Paralelno s predviđanjem satnih opterećenja predviđaju se i njihove varijance kao mjera granica unutar kojih treba očekivati ostvareno opterećenje (lit. 2).

2.2. Klimatski model

Klimatskim se modelom na temelju ostvarenih vrijednosti klimatskih faktora u prošlom danu i prognoziranih vrijednosti klimatskih faktora za idući dan predviđa vršno opterećenje za idući dan.

Dnevno vršno opterećenje rastavlja se na baznu, tjednu i klimatsku komponentu. Koeficijenti na temelju kojih se predviđaju tjedna i klimatska komponenta određuju se metodom najmanjih kvadrata minimiziranjem eksponencijalno-težinskog zbroja kvadrata razlika ostvarenih i predviđenih dnevnih vrhova. Bazna se komponenta predviđa izglađivanjem iz dana u dan.

Predviđeno je vršno opterećenje zbroj predviđenih komponenti (lit. 1).

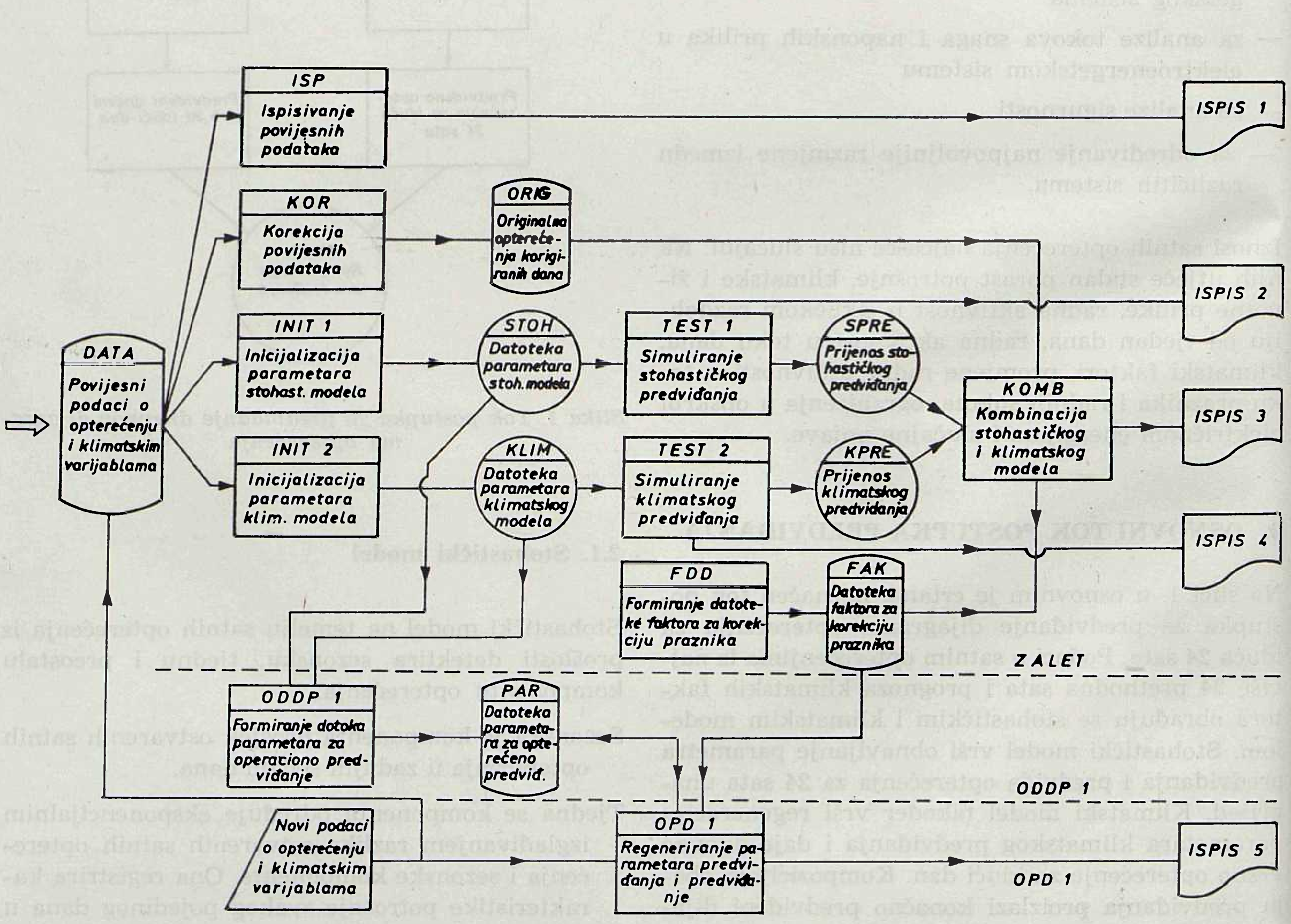
2.3. Kombinacija stohastičkog i klimatskog modela

Predviđanje dnevnog vršnog opterećenja točnije je od predviđanja stohastičkim modelom, pa se konačno predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja provodi kombinacijom obaju modela, tako da se informacijama koje sadrži predviđeni dnevni vrh korigiraju satna opterećenja i varijance predviđene stohastičkim modelom (lit. 2).

3 STRUKTURNA ORGANIZACIJA PROGRAMSKE PODRŠKE

Programska podrška za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja sastoji se od tri programa (slika 2):

- ZALET
- ODDP 1
- OPD 1



Slika 2. Strukturna organizacija programske podrške

3.1. ZALET — program za inicijalizaciju i simuliranje postupka predviđanja na povijesnim podacima

Programom ZALET provodi se:

- formiranje datoteke povijesnih podataka o satnim opterećenjima i srednjim dnevnim temperaturama — DATA
- ispisivanje po danima podataka iz DATA
- korekcija satnih opterećenja iz DATA
- inicijalizacija stohastičkog modela — INIT 1
- inicijalizacija klimatskog modela — INIT 2
- simuliranje stohastičkog predviđanja — TEST 1
- simuliranje klimatskog predviđanja — TEST 2
- simuliranje kombiniranog predviđanja — KOMB

U datoteci DATA pohranjeni su povijesni podaci o satnim opterećenjima pojedinih dana i pripadnim vrijednostima klimatskih varijabla (temperatura, brzina vjetra, relativna vlažnost) najmanje za prethodna tri mjeseca.

Potprogramom ISP omogućeno je ispisivanje povijesnih podataka iz datoteke DATA na ekran terminala ili preko linijskog štampača.

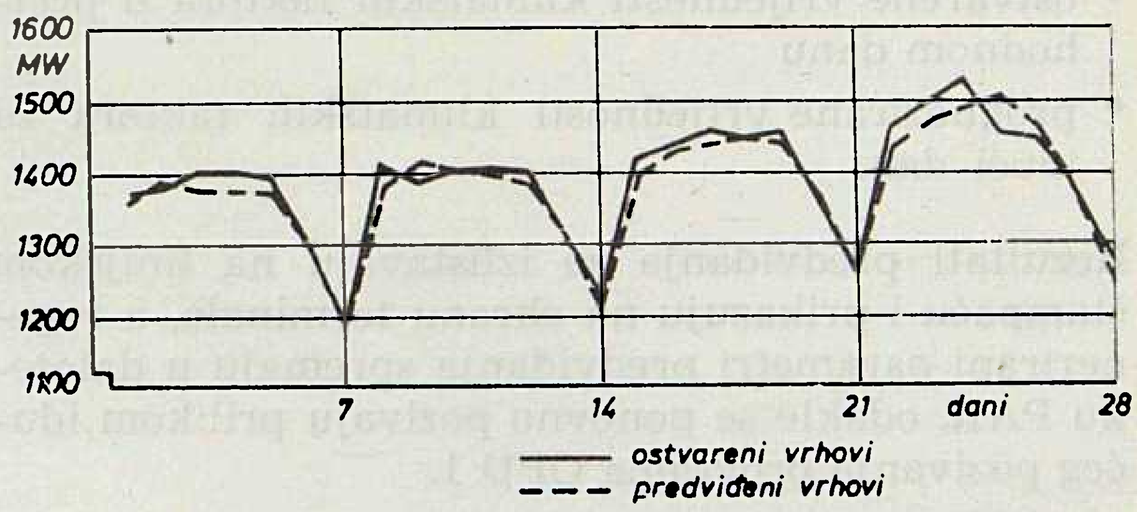
S obzirom na to da se opterećenje ne može predvidjeti na temelju ostvarenih opterećenja praznika, radnih subota i općenito svih onih dana za koje je moguće ustanoviti da su imali izvanredna opterećenja, potprogramom KOR omogućeno je korigiranje takvih opterećenja prosjekom opterećenja toga dana u prethodnom i idućem tjednu.

Potprogramima INIT 1 i INIT 2 vrši se inicijalizacija stohastičkog i klimatskog modela, čime se dobivaju parametri predviđanja potrebni za simuliranje predviđanja na već ostvarenim opterećenjima, odnosno za operaciono predviđanje satnih opterećenja.

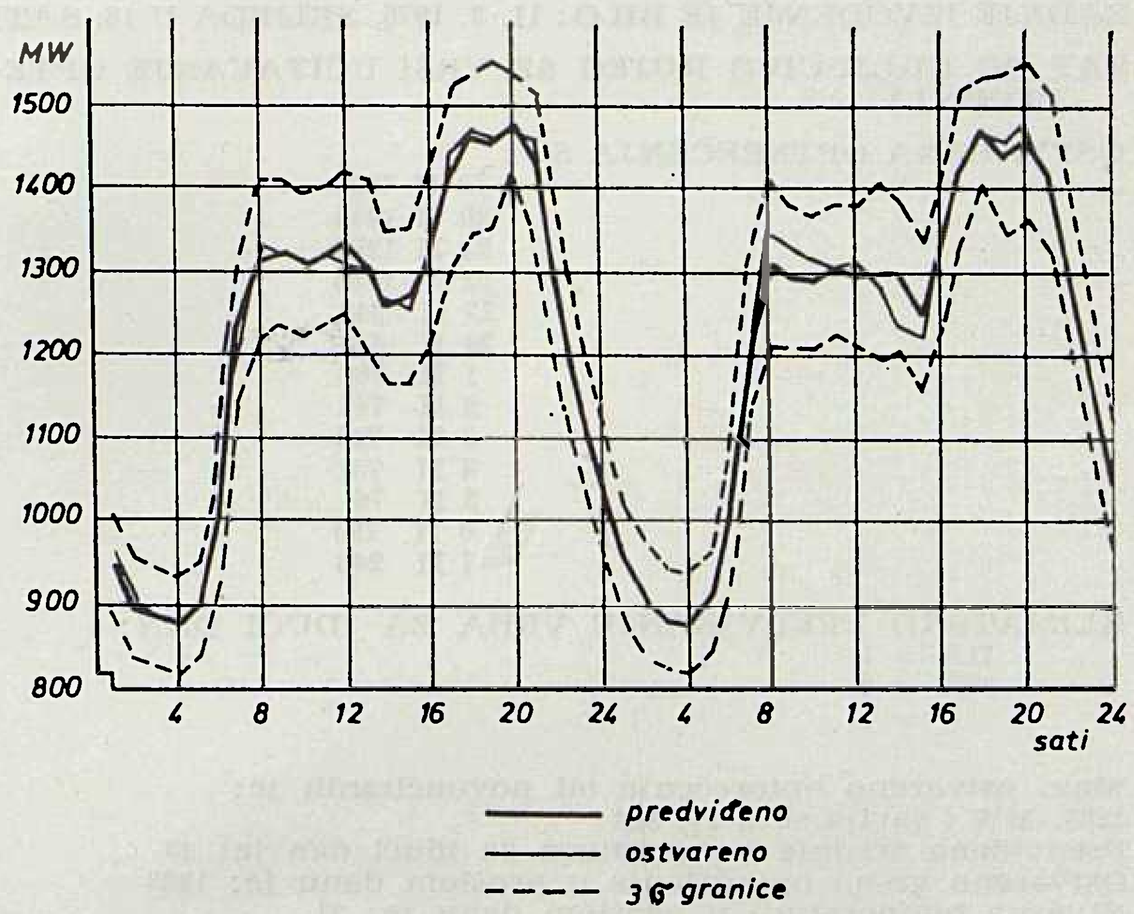
Simuliranje stohastičkog i klimatskog predviđanja obavlja se programima TEST 1 i TEST 2. Ono je potrebno radi određivanja najboljih parametara inicijalizacije, te za analizu i praćenje točnosti predviđanja. Rezultati simuliranja otiskuju se na linijskom štampaču.

Simuliranjem kombiniranog predviđanja — program KOMB — prati se točnost predviđanja i izračunavaju faktori korigiranja praznika i radnih subota. Programom KOMB se za pojedini praznik ili radnu subotu simulirano predvidi opterećenje kao da se ne radi o prazniku ili radnoj suboti, a zatim se razlike do ostvarenih opterećenja relativiziraju i izglađuju s tim vrijednostima za prethodne godine, odnosno radne subote, i kao takve spremaju u datoteku FAK.

Na sl. 3. prikazani su rezultati simuliranja klimatskim modelom u toku jednog mjeseca, a na sl. 4 rezultati simuliranja kombinacijom stohastičkog i klimatskog modela u toku dva dana.



Slika 3. Simulirano predviđanje dnevnih vrhova opterećenja u toku mjesec dana. Srednja dnevna greška iznosila je 1%, a standardna devijacija 26 MW ili 2%.



Slika 4. Simulirano predviđanje dvaju dnevnih dijagrama opterećenja programom KOMB, s ucrtanim granicama unutar kojih treba očekivati ostvarena opterećenja. Srednja satna greška za ova dva dana je 1%.

3.2. ODDP 1 — program za formiranje datoteke parametara za operaciono predviđanje

Ovaj program spaja datoteke parametara stohastičke i klimatske inicijalizacije, STOH i KLIM, u jednu datoteku parametara za operaciono predviđanje — PAR.

3.3. OPD 1 — program za operaciono predviđanje 24 iduća satna opterećenja

Ovim se programom izvodi stvarno predviđanje 24 iduća satna opterećenja nakon zadnjeg učitanog satnog opterećenja (tablica 1).

Ulazna datoteka ovog programa je PAR, a ako se radi o predviđanju praznika ili radne subote, i datoteka FAK.

U ovisnosti o dijalogu s računalom preko terminala se unose podaci:

- o zadnjem satu do kojeg se unose satna opterećenja
- nova satna opterećenja

- ostvarene vrijednosti klimatskih faktora u prethodnom danu
- prognozirane vrijednosti klimatskih faktora za idući dan.

Rezultati predviđanja se izlistavaju na linijskom štampaču i prikazuju na ekranu terminala, a regenerirani parametri predviđanja spremaju u datoteku PAR, odakle se ponovno pozivaju prilikom idućeg pozivanja programa OPD 1.

Tablica 1. Primjer dijaloga s računalom pri izvođenju programa OPD 1

```
IME DIREKTNE DATOTEKE ZA OPERACIONO IZVOĐENJE
   >PAR. DAT
ZADNJE IZVOĐENJE JE BILO: 11. 8. 1976. SRIJEDA U 18. SATI
SAT DO UKLJUČIVO KOJEG SE VRŠI UČITAVANJE OPTE-
   REĆENJA = 7
OSTVARENA OPTEREĆENJA SU:
                    19 H 1056
                    20 H 1228
                    21 H 1288
                    22 H 1136
                    23 H  942
                    24 H  844
                     1 H  766
                     2 H  747
                     3 H  725
                     4 H  731
                     5 H  761
                     6 H  790
                     7 H  943
KLIMATSKO PREDVIĐANJE VRHA ZA IDUĆI DAN:
      DA = 1
      NE = 2
         = 1

Max. ostvareno opterećenje od novoučitanih je:
1288. MW i javlja se u 21. sat
Predviđena srednja temperatura za idući dan je: 23
Ostvareno vršno opterećenje u prošlom danu je: 1288
Stvarna temperatura u prošlom danu je: 21

Praznik ili radna subota ? > DA = 1, NE = 0 : 0
Ime izlazne liste > ISPIS 5. LST
Sistem: SR Hrvatska

Predviđanje izvedeno: 12. 8. 1976. četvrtak u 7. sat
```

Dan	Mjesec	Sat	Predviđeno opterećenje (MW)	Standardna devijacija (MW)	Sezonska komponenta (MW)	Tjedna komponenta (MW)	Preostala komponenta (MW)	Korigirano opterećenje (MW)
12	8	8	1062.	24.	1005.	43.	13.	0.
12	8	9	1103.	25.	1055.	43.	4.	0.
12	8	10	1096.	25.	1063.	33.	0.	0.
12	8	11	1138.	27.	1103.	33.	1.	0.
12	8	12	1173.	30.	1148.	25.	0.	0.
12	8	13	1155.	33.	1115.	47.	—7.	0.
12	8	14	1101.	33.	1059.	40.	3.	0.
12	8	15	1040.	32.	1009.	38.	—6.	0.
12	8	16	1041.	33.	997.	45.	—1.	0.
12	8	17	1022.	37.	985.	40.	—3.	0.
12	8	18	1007.	36.	975.	34.	—2.	0.
12	8	19	1050.	34.	1013.	26.	11.	0.
12	8	20	1236.	33.	1189.	36.	11.	0.
12	8	21	1278.	18.	1247.	34.	—4.	0.
12	8	22	1106.	26.	1097.	15.	—6.	0.
12	8	23	948.	27.	930.	25.	—6.	0.
12	8	24	835.	27.	821.	13.	1.	0.
13	8	1	784.	22.	755.	8.	21.	0.
13	8	2	754.	23.	730.	14.	10.	0.
13	8	3	733.	17.	718.	14.	2.	0.
13	8	4	729.	18.	721.	5.	4.	0.
13	8	5	755.	18.	729.	19.	7.	0.
13	8	6	799.	22.	760.	30.	9.	0.
13	8	7	965.	27.	903.	38.	24.	0.

KLIMATSKIM MODELOM PREDVIĐENI VRH je 1285. MW

4. KARAKTERISTIKE I MOGUĆNOSTI POSTUPKA PREDVIĐANJA

Za inicijalizaciju i zalijetanje ovog modela predviđanja dnevnog dijagrama opterećenja potrebni su podaci o satnim opterećenjima i klimatskim varijablama unatrag barem tri mjeseca.

Temperatura je najčešće najbolji reprezentant klimatskih utjecaja. Simuliranjem predviđanja na podacima iz prošlosti utvrđeno je da se zadovoljavajući nivo točnosti (greška oko 2 %) može postići praćenjem dnevne temperature.

Ako se radi o elektroenergetskom sistemu koji se prostire preko više klimatski različitih područja, srednje vrijednosti klimatskih varijabli se određuju kao sredina klimatskih varijabli pojedinih područja, s tim da se varijable pojedinog područja uzimaju s težinom proporcionalnom udjelu energetskog sistema.

Kada se jednom obavi inicijalizacija i formiraju datoteke parametara predviđanja STOH i KLIM, parametri se predviđanja rekurzivnim izrazima obnavljaju iz dana u dan, pa su za predviđanje opterećenja u iduća 24 sata kao ulaz potrebni samo podaci o ostvarenim opterećenjima unatrag najviše 24 sata, ostvarene vrijednosti klimatskih varijabli u prošlom danu i njihove prognoze za idući dan. Postupak je adaptivan u smislu da se parametri modela automatski korigiraju prema ponašanju opterećenja i uvjetima iz neposredne prošlosti. To znači da se, recimo, promjene u strukturi potrošnje, promjene navika potrošača, poskupljenja energenata i sl. obuhvaćaju automatski i vrlo brzo.

Registriranjem ponašanja potrošnje pojedinih praznika i radne subote u prošlosti određuju se faktori korekcije koji se izglađeni upotrebljavaju za predviđanje opterećenja praznika i radnih subota. Operaciono predviđanje opterećenja zauzima vrlo malo memorije računala i kratko traje (nekoliko sekundi na prosječno opterećenom PDP 11-70).

Ovim se postupkom osim satnih opterećenja predviđa i standardna devijacija greške predviđanja za svaki pojedini sat kao mjera granica unutar kojih treba očekivati grešku predviđanja.

LITERATURA

[1] D., Pešut *Klimatski model dnevnog vršnog opterećenja u elektroenergetskom sistemu,* XVI savjetovanje, elektroenergetičara Jugoslavije, CIGRE, Opatija, 1983.

[2] D., Pešut *Predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sistemu,* XVI savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, CIGRE, Opatija, 1983.

KEY WORDS: PLANING OF DEMAND, DAILY LOAD DIAGRAM OPTIMAL LOAD DISTRIBUTION

ADAPTED METHOD FOR ESTIMATION OF DAILY LOAD DIAGRAM IN ELECTRIC POWER SYSTEM

In the article is presented a method for estimation of hourly loads in electric power system for 24 hours in advance, its possibilities and structure of computer program.

ADAPTIVES VERFAHREN DER VORAUSSEHUNG DES TAGESDIAGRAMMS DER BELASTUNG IM ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEM

Im Artikel wurde das Verfahren der Voraussage der Stundenbelastungen des elektroenergetischen Systems bis 24 Stunden im voraus, seine Möglichkeiten und der Strukturen der Programmunterstützung geschildert.

АДАПТИРОВАННЫЙ СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В статье показан способ прогнозирования часовых нагрузок ЭЭС на сутки вперед, его возможности и структура программного подкрепления.

Naslov pisca:

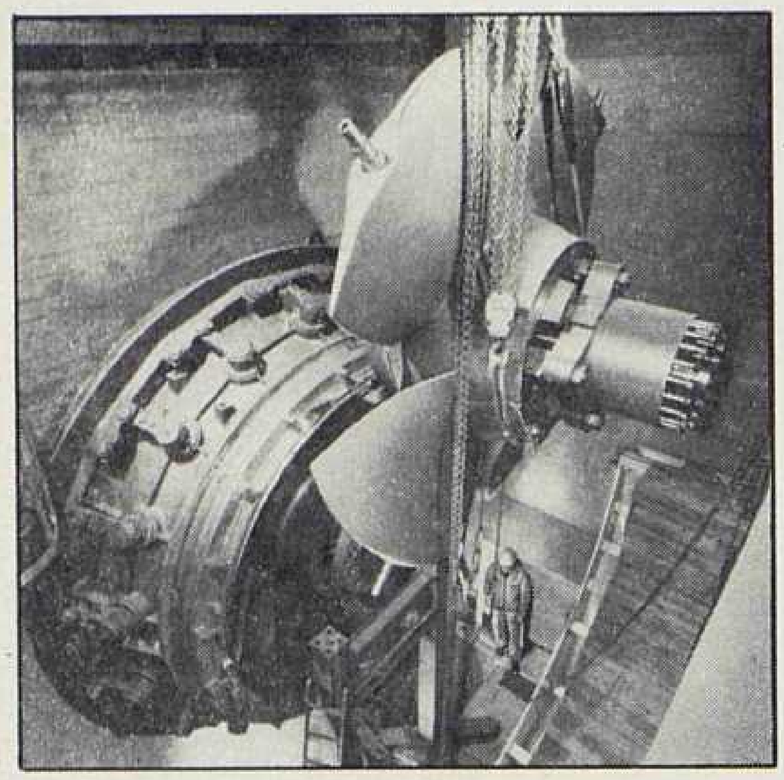
mr Damir Pešut, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb
Proleterskih brigada 37

Uredništvo primilo rukopis
1983-05-20

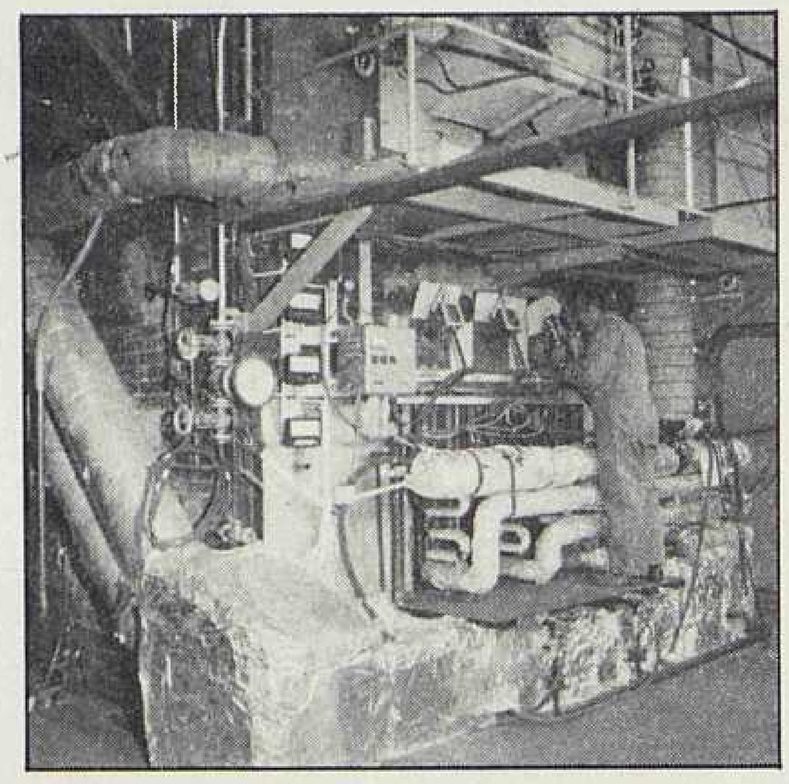
Bez obzira da li se govori o postrojenjima za proizvodnju pare, komponentama nuklearnih centrala, pumpama, cijevnim armaturama i regulacijakim sistemima, kombiniranim postrojenjima s plinskim turbinama i parnim postrojenjem, plinskim turbinama, vodenim turbinama, postrojenjima za rekuperaciju topline itd.

Sulzer je mjerodavan za energetsku tehniku

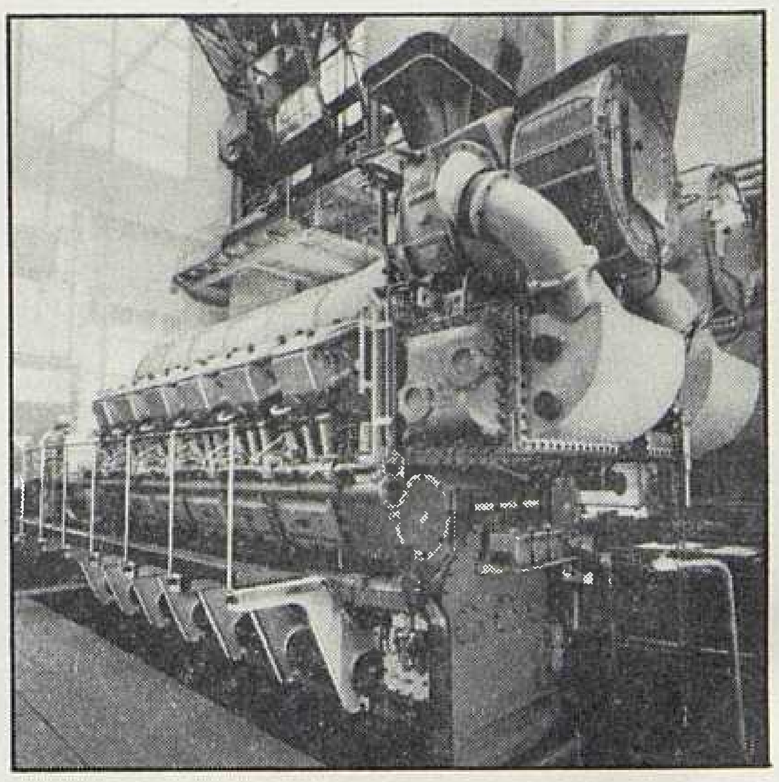
Evo tri primjera koji to i potvrdjuju:



Straflo®-turbine za »Annapolis Royal« prvu elektranu na plimu i oseku u Sjevernoj Americi.
U već postojećoj pregradnji jednog zaljeva u Kanadi izgrađena je elektrana 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 kotlovsko 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®

1834-1984 SULZER

WtP 34 sk-1

RAZVOJ KORIŠTENJA ENERGIJE NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA U RAZDOBLJU 1961—1978. GODINE

Zdravko Mužek, Zagreb

UDK 620.9
PREGLEDNI RAD

Bilancirano je korištenje energije na području Zagreba u razdoblju 1961—1978. godine. Osim bruto raspoložive energije za energetske svrhe, analizirano je korištenje energije predane korisnicima u skupini opće potrošnje, industrije i prometa.

Ključne riječi: Zagreb, energetske bilance.

1. UVOD

Statistiku korištenja energije, detaljno, kao što je to u nastavku urađeno, nije u razdoblju 1961—1973. godina vodio nitko. U SRH je Republički zavod za statistiku evidentirao samo korištenje energije u industriji, i to nepotpuno. Naime, iako je trebalo da industrijske organizacije udruženog rada u svojim mjesečnim statističkim izvještajima (Ind-1 obrasci) navedu korištenje većine energetskih oblika, sve do 1977. godine one nisu bile dužne iskazivati korištenje ukapljenog i industrijskog plina, vodene pare i vrele vode te gorivih industrijskih, tehnološki neupotrebljivih nusprodukata. Zato je, radi prikupljanja potrebnih podataka o korištenju energije u industriji, bilo potrebno posebno anketirati 140 industrijskih OUR-a.

Bilance korištenja energije u prometu te u skupini tzv. opće potrošnje (domaćinstva, obrt, trgovina, ustanove, komunalna djelatnost i sl.) izrađene su na osnovi podataka o utrošenim derivatima nafte (podaci RO INA — Razvoj i RO INA — Trgovina), podataka o prodanim količinama ukapljenog plina (podaci RO INA — Plin), podataka organizacija »Šuma« i »Plamen« o prodaji ugljena i drveta te podacima ŽTP-a Zagreb o potrošenom ugljenu i plinskom ulju za željeznički promet. Podaci o isporučenoj pari i vreloj vodi iz zagrebačkih toplana prikupljeni su od OOUR-a Elektroprivrede Zagreb (Elektrana-toplana, Termoelektrana-toplana, Toplinske mreže). Podaci o prodanim količinama prirodnog plina te proizvedenim i prodanim količinama gradskog plina dobijeni su od Gradske plinare Zagreb. Osim toga, korisno su poslužili i Statistički godišnjaci Zagreba, br. 1964, br. 1979.

2. TERITORIJALNI OBUHVAT

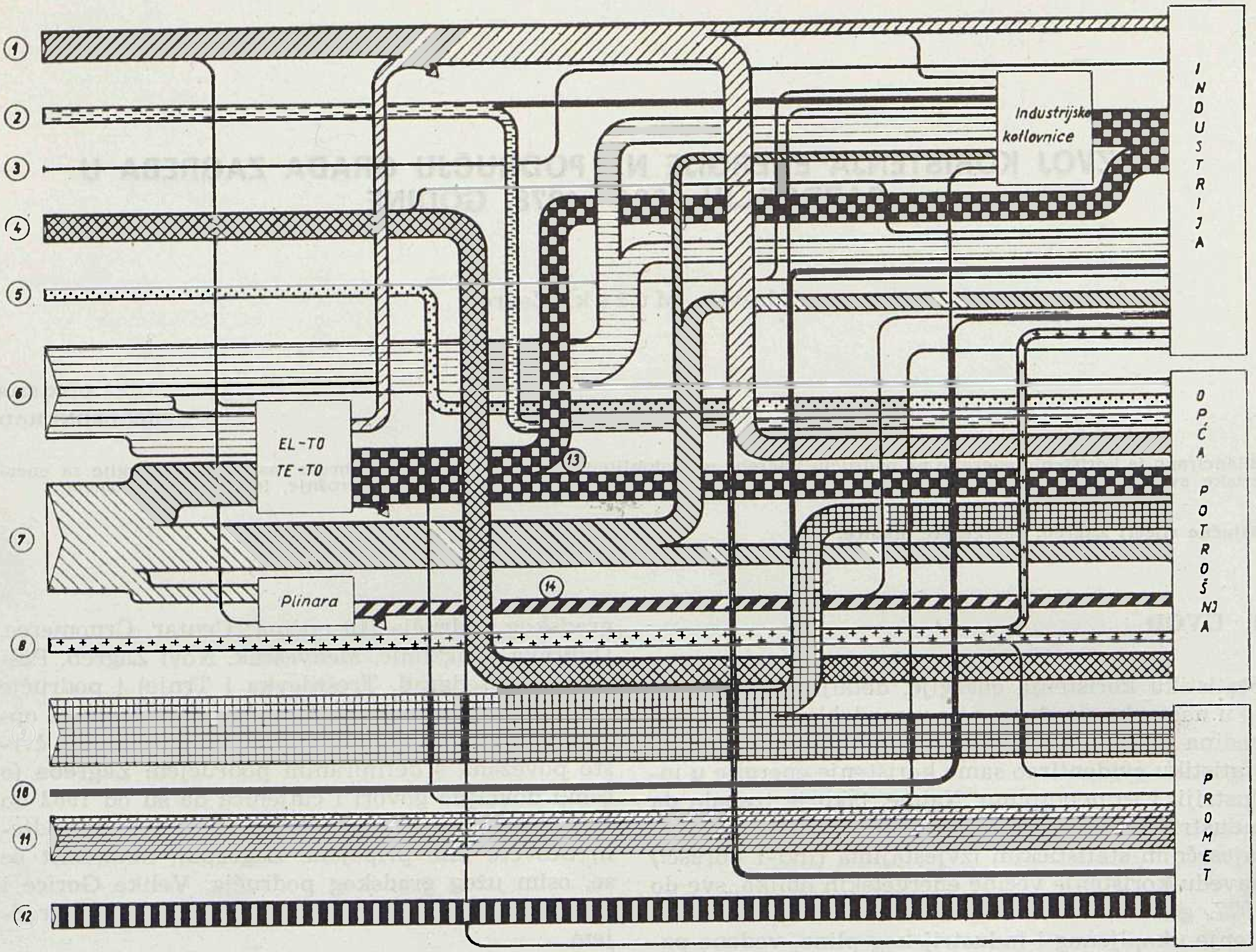
Prema političko-teritorijalnoj podjeli od 27. 2. 1974, područjem grada Zagreba obuhvaćeno je osim užeg gradskog područja (10 općina: Centar, Črnomerec, Dubrava, Maksimir, Medveščak, Novi Zagreb, Pešćenica, Susedgrad, Trešnjevka i Trnje) i područje općina Velika Gorica i Zaprešić. Budući da je općina Sesvete prostorno, privredno i društveno čvrsto povezana s definiranim područjem Zagreba (o čemu dovoljno govori i činjenica da su od 1962 do 1967, po tada važećoj političko-teritorijalnoj podjeli, Sesvete bile pripojene Zagrebu), obuhvatit će se, osim užeg gradskog područja, Velike Gorice i Zaprešića, i Sesvete zagrebačkim gradskim područjem.

3. SHEMA TOKA ENERGIJE

Energetske bilance obuhvaćaju tokove svih oblika energije od njihove pojave u energetskoj privredi promatranog područja do njihove predaje korisnicima. Budući da tokovi energetskih oblika mogu biti složeni, korisno je, radi sustavnosti i preglednosti uvida u gospodarenje energijom te izbjegavanja možebitnih nesporazuma, prikazati shemu toka energije na promatranom području.

Na slici 1. prikazana je shema toka energije na području Zagreba u 1978. godini. Tok energetskih oblika počinje od bruto raspoložive energije za energetske svrhe. Ovom sintagmom obuhvaćen je zbroj svih za energetske svrhe korištenih, na promatrano područje dopremljenih i na promatranom području pridobivnih primarnih oblika energije te na promatrano područje dopremljenih sekundarnih oblika energije, koji je umanjen za izvezenu energiju s promatranog područja.

Dio bruto raspoložive energije za energetske svrhe transformira se u postrojenjima za energetske transformacije. U Zagrebu su to postrojenja Gradske plinare, u kojima se prirodni plin transformira u gradski, zatim, Elektrana-toplana i Termoelektra-



Slika 1. Shema toka energije

1 — električna energija; 2 — drvo; 3 — koks; 4 — mrki ugalj; 5 — lignit; 6 — lož ulje; 7 — prirodni plin; 8 — ukapljeni plin; 9 — plinsko ulje; 10 — industrijski otpad; 11 — benzin — mlazno gorivo; 13 para i vrela voda; 14 — gradski plin

na-toplana, koje transformiraju loživo ulje i prirodni plin (do 1971. godine i ugljen) u električnu energiju i toplinu sadržanu u vodenoj pari ili vreloj vodi, te industrijske kotlovnice. Kod tih energetskih transformacija dio energije predaje se okolini i, ekonomski gledajući, predstavlja gubitak.

Do »gubitaka energije« dolazi i kod distribucije energetskih oblika do korisnika. Bruto raspoloživa energija za energetske svrhe uvijek je stoga veća od energije predane korisnicima. Energija predana korisnicima definira se kao energija primarnih i sekundarnih oblika energije, kojom se konačni korisnici koriste za pridobivanje mehaničke energije, topline, energije zračenja i kemijske energije (tzv. korisna energija).

4. BRUTO RASPOLOŽIVA ENERGIJA ZA ENERGETSKE SVRHE

Razvoj bruto raspoložive energije za energetske svrhe na području Zagreba dan je u tablici 1. i 2. Svi navedeni oblici energije, osim manjih količina ogrjevnog drveta, dobavljeni su iz drugih područja SRH i SFRJ ili uvezeni iz inozemstva. To je posljedica ovisnosti Zagreba o energetskim izvorima ostalih područja. Osim u ukupnim energetskim potrebama neznatnih količina ogrjevnog drveta (te do sada neiskorištavanog hidropotencijala rijeke Save), Zagreb nekih drugih konvencionalnih izvora primarne energije nema. U tablici 1. i 2. iskazana energija industrijskog gorivog »otpada« produkt je tehnoloških procesa petrokemijske industrije u Zagrebu, a biljni otpad prehrambene, drvoprerađivačke i industrije finalnih proizvoda od drva.

Prosječna godišnja stopa rasta bruto raspoložive energije za energetske svrhe iznosila je u razdoblju od 1961. do 1978. 8,14 %. U zadnjih deset godina tog razdoblja rast je bio umjereniji: 4,54 % (od 38 142 TJ ili $1{,}301 \cdot 10^6$ tona ekvivalentnog ugljena u 1969. godini na 56 856 TJ ili $1{,}940 \cdot 10^6$ tona ekvivalentnog ugljena u 1978. godini). Pri tome najveću godišnju stopu rasta bilježi plin (čak 22,33 % u raz-

Tablica 1.

Bruto raspoloživa energija za energetske svrhe (naturalne jedinice)

Godina	Primarni oblici energije						Sekundarni oblici energije								Godina
	drvo i biljni otpad	antracit	kameni ugljen	mrki ugljen	lignit	prirodni plin	električna energija	ukapljeni plin	beznin	mlazno gorivo i petrolej	plinsko ulje	loživo ulje	koks	gorivi industr. »otpad«	
	m^3	tona	tona	tona	tona	10^3 m^3	MWh	tona	tona	tona	tona	tona	tona	TJ	
1961.	294 940	1 000	54 626	429 295	418 360	23 000	443 056	2 112	16 237	4 373	19 901	8 161	5 690	—	1961.
1962.	291 390	1 000	48 447	443 757	487 040	29 260	516 111	2 349	17 179	5 090	22 688	12 865	6 060	—	1962.
1963.	298 840	1 000	56 826	459 314	971 100	36 027	287 500	2 694	19 219	6 941	26 293	19 803	5 500	—	1963.
1964.	307 720	1 000	62 370	492 988	934 100	71 453	390 833	2 784	19 824	8 098	29 993	54 562	6 030	400	1964.
1965.	314 940	1 000	51 790	448 176	788 300	75 047	505 000	3 727	23 255	9 255	42 192	115 890	5 720	455	1965.
1966.	311 610	1 000	46 441	455 338	471 840	87 582	542 778	4 841	28 929	11 106	54 741	163 358	5 160	603	1966.
1967.	306 050	1 000	34 156	444 966	266 190	104 634	604 167	6 233	33 887	14 345	67 829	194 777	5 310	603	1967.
1968.	288 840	1 000	27 528	414 430	237 470	118 523	688 889	7 499	36 153	18 279	95 270	203 883	4 930	706	1968.
1969.	264 400	1 000	24 115	421 954	238 170	116 822	913 611	9 168	53 892	21 749	119 926	192 520	4 700	880	1969.
1970.	257 740	700	15 471	389 750	202 550	150 292	931 944	10 711	61 695	23 153	136 151	203 195	4 700	924	1970.
1971.	242 180	700	11 828	375 355	177 990	166 890	1 056 389	13 365	74 141	27 055	142 589	194 214	4 700	1 024	1971.
1972.	234 400	700	9 780	349 411	164 770	190 230	1 020 555	16 954	80 309	34 642	157 714	212 147	4 660	1 145	1972.
1973.	232 180	700	7 210	351 456	148 270	193 150	960 555	18 180	93 362	39 634	164 785	256 365	4 060	1 273	1973.
1974.	227 730	300	12 970	303 422	124 180	221 797	1 155 833	21 311	92 600	33 020	177 359	219 042	4 130	1 419	1974.
1975.	222 180	300	11 220	267 877	115 370	239 432	1 061 389	26 414	101 839	50 210	176 018	256 387	3 750	1 592	1975.
1976.	231 070	300	2 850	242 786	96 950	277 538	940 278	26 041	108 724	60 917	188 574	294 854	3 490	1 764	1976.
1977.	217 740	300	200	200 768	89 060	293 074	1 184 444	33 064	115 743	63 277	200 610	267 155	3 030	1 770	1977.
1978.	226 620	300	—	195 013	96 510	340 693	1 234 167	33 862	125 054	60 741	214 165	298 977	2 580	1 354	1978.
Stopa rasta 1969/61	—1,36	0	—9,72	—0,22	—6,80	23,53	9,47	20,14	16,18	22,20	25,17	48,45	—2,36	—	%
Stopa rasta 1978/69.	—1,70	—12,52	—	—8,22	—9,55	13,03	3,40	15,62	9,80	12,09	6,66	5,01	—6,45	4,90	%

Tablica 2.

Bruto raspoloživa energija za energetske svrhe

Godina	Oblik energije (TJ)							Struktura oblika energije (%)							Godina
	električna energija	drvo i biljni otpaci	ugljen	kapljeviti naftni derivati	plin*[1]	ilustrijski gorivi »otpad«*[2]	ukupno	električna energija	drvo i biljni otpaci	ugljen	kapljeviti naftni derivati	plin*[1]	ilustrijski gorivi »otpad«*[2]	ukupno	
1961.	1 595	2 655	13 213	2 032	982	—	20 387	7,82	13,02	64,37	9,97	4,82	—	100,00	1961.
1962.	1 858	2 623	13 687	2 411	1 234	—	21 813	8,52	12,02	62,75	11,05	5,66	—	100,00	1962.
1963.	1 035	2 690	18 278	3 076	1 511	—	26 590	3,89	10,12	68,74	11,57	5,68	—	100,00	1963.
1964.	1 407	2 770	18 705	4 708	2 879	400	30 869	4,56	8,97	60,59	15,25	9,33	1,30	100,00	1964.
1965.	1 818	2 835	16 447	7 897	3 061	455	32 513	5,59	8,72	50,59	24,29	9,41	1,40	100,00	1965.
1966.	1 954	2 805	13 566	10 674	3 597	517	33 113	5,90	8,47	40,97	32,24	10,86	1,56	100,00	1966.
1967.	2 175	2 755	11 206	12 857	4 319	603	33 195	6,55	8,30	33,76	38,73	13,01	1,82	100,00	1967.
1968.	2 480	2 600	10 312	14 666	4 912	706	35 676	6,95	7,29	28,90	41,11	13,77	1,98	100,00	1968.
1969.	3 289	2 380	10 465	16 203	4 925	880	38 142	8,62	6,24	27,44	42,48	12,91	2,31	100,00	1969.
1970.	3 355	2 320	9 325	17 733	6 517	924	40 174	8,35	5,77	23,21	44,14	16,22	2,30	100,00	1970.
1971.	3 803	2 180	8 791	18 371	7 049	1 024	41 218	9,23	5,29	21,33	44,57	17,10	2,48	100,00	1971.
1972.	3 674	2 110	8 259	20 339	8 072	1 145	43 599	8,43	4,84	18,94	46,65	18,51	2,63	100,00	1972.
1973.	3 458	2 090	8 040	23 218	8 243	1 273	46 322	7,47	4,51	17,36	50,12	17,80	2,75	100,00	1973.
1974.	4 161	2 050	7 109	21 938	9 467	1 419	46 144	9,02	4,44	15,41	47,54	20,52	3,08	100,00	1974.
1975.	3 821	2 000	6 466	24 533	10 376	1 592	48 788	7,83	4,10	13,25	50,28	21,27	3,26	100,00	1975.
1976.	3 385	2 080	5 711	27 385	11 973	1 764	52 298	6,47	3,98	10,92	52,36	22,89	3,32	100,00	1976.
1977.	4 264	1 960	4 908	27 197	12 773	1 770	52 872	8,06	3,71	9,28	51,44	24,16	3,35	100,00	1977.
1978.	4 443	2 040	4 989	29 365	14 665	1 354	56 856	7,81	3,59	8,77	51,66	23,79	2,38	100,00	1978.
Stopa rasta 1969/61	9,47	—1,36	—2,79	29,63	22,33	—	8,14	1,22	—8,78	—10,11	19,86	13,11	—		%
Stopa rasta 1978/69	3,40	—1,70	—7,90	6,83	12,89	4,90	4,54	—1,09	—5,96	—11,90	2,20	7,99	0,33		%

*[1] prirodni, gradski i ukapljeni plin

*[2] kapljeviti i plinoviti nusproizvodi zagrebačke petrokemije

doblju 1961—1969. godina, a 12,89 % od 1969. do 1978 i kapljeviti derivati nafte (29,63 % od 1961. do 1969, a 6,83 % u razdoblju 1969—1978). Korištene količine ugljena te drveta i otpadaka biljnog porijekla smanjuju se nakon 1965. godine; energija ugljena s godišnjom stopom —8,77 %, a drveta i otpadaka biljnog porijekla —2,50 %. To je uvjetovalo i promjenu strukture gradu isporučenih energetskih oblika. Dok je 1961. godine udio ugljena, drveta i otpadaka biljnog porijekla u bruto raspoloživoj energiji za energetske svrhe iznosio 77,39 %, a plina i kapljevitih naftnih derivata svega 14,79 %, 1969. godine udio prvih iznosi 33,68 %, a drugih već 55,39 %. 1978. godine dominacija plina i naftnih derivata je očita: učešće ugljena, drveta i otpadaka biljnog porijekla iznosi 12,36 %, a plina i derivata nafte 77,44 %. U cijelom razdoblju od 1961. do 1978. udio električne energije uvezene na zagrebačko područje ne prelazi 9,23 % (prosječna vrijednost za cijelo razdoblje iznosi 7,28 %).

Analiza razvoja predstavlja analizu rasta, ali i analizu kvalitativnih promjena. Iz tablice 2. mogu se, osim rasta korištenja energetskih oblika, uočiti i promjene strukture energetskih oblika u promatranom razdoblju. Međutim, tek kvantifikacija tih strukturnih promjena omogućuje preglednost i potrebne usporedbe. Intenzitet strukturnih promjena u određenom razdoblju mjerljiv je na nekoliko načina. U analizama koje slijede koristit će se izraz:

$$V = \frac{\sum_{i=i}^{n} (q_{i1} - q_{i2})}{2},$$

gdje je:

- V — intenzitet strukturnih promjena od subperioda 1 do subperioda 2
- q_{i1} — učešće i-tog oblika energije u zbroju svih oblika energije u prvom subperiodu (strukturni indeks subperioda 1)
- q_{i2} — učešće i-tog oblika energije u zbroju svih oblika energije u drugom subperiodu (strukturni indeks subperioda 2)
- n — ukupni broj promatranih oblika energije

Veličina V kreće u granicama od 0 do 1 (V = 0) kad nema nikakvih strukturnih promjena.

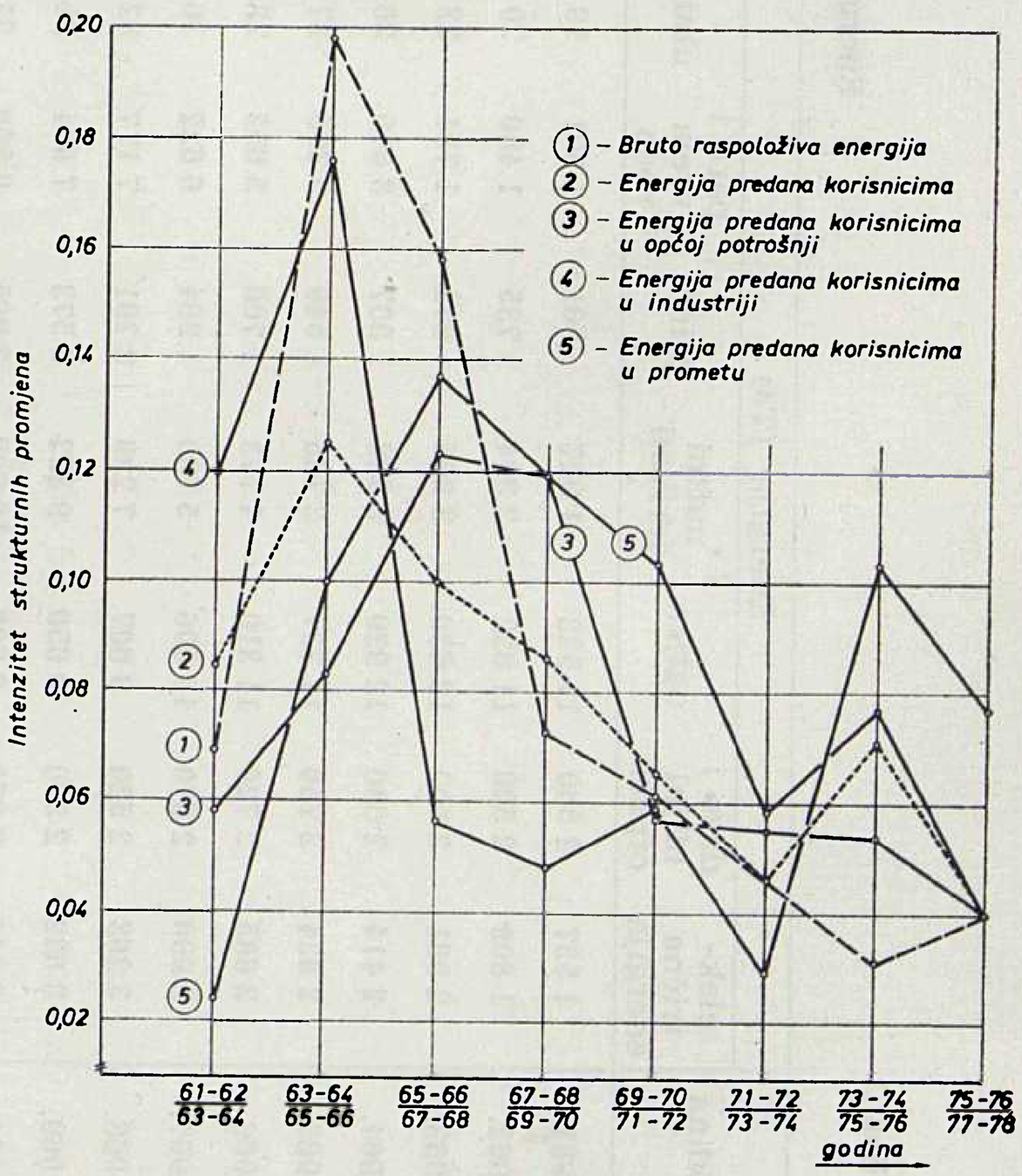
Na dijagramu, slika 2, prikazan je intenzitet promjene strukture energetskih oblika kod bruto raspoložive energije za energetske svrhe. Uspoređivani su subperiodi od po dvije godine. Vidljivo je da se ekstremne vrijednosti intenziteta strukturnih promjena pojavljuju u razdoblju od 1963/1964. do 1967/68. godina, dakle, u vrijeme nagle supstitucije ugljena i ogrjevnog drveta kapljevitim i plinovitim oblicima energije. Isto tako, može se uočiti da su nakon 1973. godine, tj. nakon izbijanja tzv. energetske krize, strukturne promjene kod bruto raspoložive energije za energetske svrhe neznatne. To je posljedica inertnosti prije 1973. godine izgrađene energetske strukture i nije značajka samo zagrebačkog područja. Promjena strukture korištenih energetskih oblika u Zagrebu u velikoj se mjeri podudara s energetskim razvojem SRH i zemlje u cjelini te prolazi slične mjene u razvoju.

5. ENERGIJA PREDANA KORISNICIMA

Energija predana korisnicima na području Zagreba iznosila je 1961. godine 19 348 TJ ($6{,}600 \cdot 10^5$ tona ekvivalentnog ugljena), 1969. godine 35 142 TJ ($1{,}199 \cdot 10^6$ tona ekvivalentnog ugljena), a 1978. godine 51 924 TJ ($1{,}772 \cdot 10^6$ tona ekvivalentnog ugljena), što je vidljivo u tablici 3. Prosječna godišnja stopa rasta u razdoblju 1961—1969. godina iznosila je 7,75 %, a u desetogodišnjem razdoblju 1969—1978. 4,43 %.

Intenzitet strukturnih promjena energetskih oblika kod energije predane korisnicima prikazan je na slici 2. Slično kao i kod bruto raspoložive energije za energetske svrhe, najveće promjene u strukturi dogodile su se u razdoblju 1963—1966, kao posljedica supstitucije ugljena i ogrjevnog drveta kapljevitim naftnim derivatima i plinom. U razdoblju 1973—1976. intenzitet strukturnih promjena također je visok, ali ne zbog težnji povoljnijoj energetskoj strukturi nakon znatnog poskupljenja nafte na svjetskom tržištu, već, upravo suprotnog, zbog ulaska u pogon novih industrijskih kapaciteta, tehnološki procesi kojih su zahtijevali korištenje loživog ulja (npr. zbog ulaska u pogon novog pogona u cementari).

Dobro mjerilo intenziteta korištenja energije pruža energija predana korisnicima po stanovniku (tablica 4). Ona je u Zagrebu 1961. godine iznosila



Slika 2.

Tablica 3.

Energija predana korisnicima

Godina	Energija (TJ)							Struktura oblika energije (%)							Godina
	električna energija	drvo i biljni otpaci	ugljen	naftni derivati	plin*	para i vrela voda	ukupno	električna energija	drvo i bilj. otpaci	ugljen	nafteni derivati	plin*	para i vrela voda	ukupno	
1961.	1 537	2 560	11 522	1 927	501	1 301	19 348	7,94	13,23	59,55	9,96	2,59	6,73	100,00	1961.
1962.	1 806	2 528	11 822	2 304	735	1 480	20 675	8,74	12,23	57,23	11,14	3,55	7,16	100,00	1962.
1963.	2 081	2 600	12 630	2 865	872	1 784	22 832	9,11	11,39	55,32	12,55	3,82	7,81	100,00	1963.
1964.	2 414	2 680	12 930	2 992	1 507	3 846	26 369	9,15	10,16	49,03	11,35	5,72	14,59	100,00	1964.
1965.	2 624	2 750	11 737	3 765	1 540	5 295	27 711	9,47	9,92	42,36	13,59	5,56	19,11	100,00	1965.
1966.	2 685	2 720	11 310	4 773	1 706	5 652	28 846	9,31	9,43	39,21	16,55	5,91	19,59	100,00	1966.
1967.	2 990	2 670	10 506	5 730	1 984	6 622	30 502	9,80	8,78	34,44	18,79	6,50	21,71	100,00	1967.
1968.	3 263	2 520	9 607	7 239	2 291	7 177	32 097	10,17	7,85	29,93	22,55	7,14	22,36	100,00	1968.
1969.	3 632	2 300	9 650	9 323	2 573	7 664	35 142	10,34	6,54	27,46	26,53	7,32	21,81	100,00	1969.
1970.	3 945	2 250	8 762	10 600	2 905	8 608	37 070	10,64	6,07	23,64	28,59	7,84	23,22	100,00	1970.
1971.	4 214	2 120	8 104	11 749	3 202	8 748	35 137	11,05	5,56	21,25	30,81	8,40	22,94	100,00	1971.
1972.	4 387	2 020	7 563	13 066	3 760	9 259	40 055	10,95	5,04	18,88	32,62	9,39	23,12	100,00	1972.
1973.	4 346	1 960	7 415	14 417	4 090	9 884	42 112	10,32	4,65	17,61	34,23	9,71	23,47	100,00	1973.
1974.	4 592	1 920	6 649	14 692	4 472	10 375	42 700	10,75	4,50	15,57	34,41	10,47	21,30	100,00	1974.
1975.	4 334	1 880	6 056	17 296	5 342	9 910	44 818	9,67	4,19	13,51	38,59	11,92	22,11	100,00	1975.
1976.	4 478	1 960	5 403	18 552	6 318	10 689	47 400	9,45	4,14	11,40	39,14	13,33	22,55	100,00	1976.
1977.	4 828	1 840	4 723	20 347	6 584	10 390	48 718	9,98	3,78	9,69	41,76	13,51	21,34	100,00	1977.
1978.	5 346	1 920	4 043	21 190	7 552	11 073	51 924	10,30	3,70	9,33	40,81	14,54	21,32	100,00	1978.
Stopa rasta 1969/61.	11,35	—1,33	—2,19	21,78	22,69	24,82	7,75	3,36	—8,43	— 9,22	13,03	13,87	15,83		%
Stopa rasta 1978/69.	4,39	—1,99	—7,37	9,55	12,71	4,17	4,43	0,01	—6,08	—11,25	4,90	7,99	— 0,19		%

* prirodni, gradski, ukapljeni i industrijski plin

Tablica 4.

Energija predana korisnicima po stanovniku i struktura korisnika

Godina	Energija (TJ)				Energija po stanovniku (GJ p.c.)				Struktura korisnika (%)				Godina
	opća potrošnja	industrija	promet	ukupno	opća potrošnja	industrija	promet	ukupno	opća potrošnja	industrija	promet	ukupno	
1961.	8 966	5 468	4 914	19 348	17,09	10,43	9,37	36,89	46,34	28,26	25,40	100,00	1961.
1962.	9 836	5 951	4 888	20 675	18,16	10,99	9,03	38,18	47,58	28,78	23,64	100,00	1962.
1963.	10 535	6 789	5 508	22 832	18,96	12,22	9,91	41,09	46,14	29,73	24,13	100,00	1963.
1964.	10 820	9 646	5 903	26 369	18,89	16,84	10,31	46,04	41,03	36,58	22,39	100,00	1964.
1965.	11 526	10 413	5 772	27 711	19,41	17,54	9,72	46,67	41,59	37,58	20,83	100,00	1965.
1966.	11 784	10 971	6 091	28 846	19,33	18,00	9,99	47,32	40,85	38,03	21,12	100,00	1966.
1967.	12 656	11 645	6 201	30 502	20,28	18,66	9,94	48,88	41,49	38,18	20,33	100,00	1967.
1968.	13 634	11 987	6 476	32 097	21,35	18,77	10,14	50,26	42,47	37,35	20,18	100,00	1968.
1969.	15 145	12 156	7 841	35 142	23,01	18,47	11,91	53,39	43,10	34,59	22,31	100,00	1969.
1970.	16 221	12 610	8 239	37 070	24,05	18,70	12,21	54,96	43,75	34,02	22,23	100,00	1970.
1971.	16 712	12 595	8 830	38 137	23,86	17,98	12,61	54,45	43,82	33,03	23,15	100,00	1971.
1972.	17 818	12 971	9 266	40 055	24,88	18,11	12,94	55,93	44,48	32,38	23,14	100,00	1972.
1973.	18 214	13 609	10 289	42 112	24,86	18,57	14,04	57,47	43,25	32,32	24,43	100,00	1973.
1974.	19 355	14 170	9 175	42 700	25,80	18,89	12,23	56,92	45,33	33,19	21,48	100,00	1974.
1975.	19 571	14 918	10 329	44 818	25,42	19,38	13,42	58,22	43,67	33,29	23,04	100,00	1975.
1976.	21 161	15 404	10 835	47 400	26,82	19,52	13,74	60,08	44,64	32,50	22,86	100,00	1976.
1977.	21 179	15 952	11 587	48 718	26,21	19,74	14,34	60,34	43,48	32,74	23,78	100,00	1977.
1978.	23 734	16 027	12 154	51 924	28,27	19,08	14,47	61,82	45,73	30,87	23,40	100,00	1978.
Stopa rasta 1961/69	6,77	10,50	6,01	7,75	3,79	7,40	3,04	4,73	—0,90	2,56	—1,61		%
Stopa rasta 1969/78.	5,12	3,12	4,99	4,43	2,31	0,36	2,19	1,64	0,66	—1,27	0,53		%

Tablica 5.

Energija predana korisnicima po stanovniku u Zagrebu, SRH i svijetu

Područje	1973. godina			1978 godina			Godišnja stopa rasta energije 1978/73.	Indeks 78. — indeks 73
	GJ p.c.	kg ekv. uglj. p.c.	Indeksi	GJ p.c.	kg ekv. uglj. p.c.	Indeksi		
Zagreb	57,47	1 961	100	61,82	2 109	100	1,45	0
SRH	43,63	1 491	76	54,18	1 849	87	4,40	11
Zapadna Evropa	149,86	5 113	260	152,53	5 204	246	0,35	—14
Sjeverna Amerika	349,40	11 922	606	352,64	12 032	569	0,18	—37
Istočna Evropa	129,90	4 432	225	153,98	5 254	249	3,46	—24
SSSR	147,73	5 041	256	173,76	5 929	280	3,30	—24

36,89 GJ p.c. (1,26 tona ekv. ugljena p.c.), 1969. godine 53,39 TJ p.c. (1,82 tona ekv. ugljena p.c.), a 1978. godine 61,82 GJ p.c. (2,11 tona ekv. ugljena p.c.). Stopa rasta od 1961. do 1969. iznosi 4,73 %, a od 1969. do 1978. 1,64 %. Budući da višem stupnju privrednog i društvenog razvoja odgovara niža stopa rasta energije predane korisnicima po stanovniku, navedeno smanjenje te stope ne mora samo po sebi značiti stagnaciju razvoja. No, usporedba energije predane korisnicima po stanovniku na području Zagreba s istom značajkom u svijetu govori o niskom stupnju energetske razvijenosti zagrebačkog područja (tablica 5). Proizlazi da je korištenje energije po stanovniku bilo 1978. godine u Sjevernoj Americi (SAD, Kanada) oko 5,5 puta veće nego u Zagrebu, a u Zapadnoj Evropi, Istočnoj Evropi i u SSSR-u oko 2,5 puta veće. Treba napomenuti da bi mnogo bolju sliku dala usporedba s adekvatnim podacima za gradove. Na žalost, takvim podacima autor nije raspolagao. Koliko je poznato, do sada je jedino prof. B. Todorović u svom radu Energetika Beograda (izdanje: Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije, Beograd, 1980) analizirao razvoj i postojeće stanje kompleksne energetske opskrbe urbane sredine, ali zbog različitog metodskog pristupa teško je uspoređivati rezultate tog istraživanja s rezultatima ovog rada. Osim energije predane korisnicima po stanovniku, dana je u tablici 4. i struktura korisnika kod energije predane korisnicima. Od ukupne energije predane korisnicima na zagrebačkom području u 1978. godini, opća potrošnja koristila je 45,73 %, industrija 30,87 %, a promet 23,40 %. Ta struktura korisnika nije se u cijelom razdoblju od 1961 do 1978. znatnije mijenjala; prosječna vrijednost udjela opće potrošnje, promatra li se cijelo razdoblje 1961—1978, iznosi 43,82 % (koeficijent varijacije 4,26 %), industrije 33,52 % (koeficijent varijacije 8,90 %), a prometa 22,66 % (koeficijent varijacije 6,18 %)

5.1. Energija predana korisnicima u općoj potrošnji

U skupini opće potrošnje (tablica 6), usprkos znatnim promjenama strukture korištenih oblika energije od 1961. do 1978. (slika 2) još uvijek dominiraju ugljen, drvo i biljni otpaci, s učešćem od 27,88 % (1978. godina). Međutim, nagli rast bilježe plemenitiji oblici energije. Tako udio plina, prvenstveno zbog sve većeg korištenja prirodnog plina, raste sa stopom 10,23 % godišnje u razdoblju 1961—1969, a 10,64 % godišnje u razdoblju 1969—1978. (od svega 3,68 % energije predane korisnicima u općoj potrošnji 1961. godine, na 8,02 % predane 1969. i 19,92 % 1978. godine). Pri tome treba naglasiti da se prirodni plin 1961. godine uopće nije koristio u općoj potrošnji, a da njegova stopa rasta u razdoblju 1969—1978. iznosi 54,97 % (stopa rasta korištenja ukapljenog plina u istom razdoblju iznosi 13,32 %, a gradskog plina 6,92 %).

Udio isporučene topline iz zagrebačkih toplana korisnicima u skupini opće potrošnje raste od 1962.

godine (kad je Elektrana-toplana počela s opskrbom ogrjevnih korisnika u zapadnom dijelu grada) do 1978. godine s prosječnom godišnjom stopom od 29,20 % (u zadnjih deset godina promatranog razdoblja taj rast je 6,91 %).

Udio kapljevitih derivata nafte u strukturi energetskih oblika ima do 1974. godine jednu od najviših stopa rasta (19,30 godišnje). Godine 1974. cijena ekstralakog loživog ulja porasla je na domaćem tržištu za 58 %, pa se to odrazilo na smanjivanje udjela kapljevitih derivata nafte u strukturi korištenih oblika energije nakon te godine.

Stopa rasta korištenja električne energije u skupini opće potrošnje u razdoblju 1969—1978. znatno je viša (8,06 % godišnje) od stope rasta ukupne energije predane korisnicima (5,90 %). Usprkos tomu udio električne energije u strukturi energetskih oblika tek se neznatno mijenja u promatranom razdoblju i ostaje u granicama od oko 10 — 16 % (maksimalna vrijednost javlja se 1971. godine).

5.2. Energija predana korisnicima u industriji

Energija predana korisnicima u industriji dana je u tablici 7. Korištenje energije zagrebačke industrije obilježava da nekoliko najvećih korisnika (INA — OKI, cementara Sloboda, Tvornica papira, INA — Rafinerija, Jugokeramika, Sljeme — Sesvete, Pliva) koriste mnogo više energije nego sva ostala industrija zajedno. Posljedica toga je da se znatnije proširenje proizvodnih kapaciteta u tim organizacijama u dobroj mjeri odražava i na značajkama korištenja energije ukupne industrije. To je npr. slučaj s ulaskom u pogon INA — OKI-a 1964. godine, povećanjem kapaciteta u cementari »Sloboda« 1975. godine te prestankom rada pogona fenola u INA — OKI-u krajem 1977. godine. Na dijagramu sa slike 2. moguće je očitati taj utjecaj na intenzitet promjene strukture energetskih oblika.

Energija predana korisnicima u industriji bilježi u razdoblju od 1961—1969. rast po godišnjoj stopi 10,50 %, dok je kasnije, u razdoblju od 1969. do 1978. stopa rasta znatno niža, svega 3,12 %.

U razdoblju 1961—1978. najvišu prosječnu godišnju stopu rasta imaju kapljeviti derivati nafte, 21.83 %, zatim plin (prirodni, gradski, ukapljeni i industrijski plin), 17,83 %, te energija sadržana u pari i vreloj vodi, 11,06 %. Stopa rasta električne energije u istom razdoblju je niža i iznosi 7,42 %. Posebno je zanimljivo da i nakon 1973. godine (razdoblje 1973—1978) kudikamo najvišu godišnju stopu rasta imaju kapljeviti naftni derivati — čak 28,28 % (prosječna godišnja stopa rasta energije predane korisnicima iznosi u istom razdoblju svega 3,32 %). U promatranom 18-godišnjem razdoblju (1961—1978) strukturne promjene kod energije predane korisnicima u industriji su znatne (slika 2). Iz tablice 6. vidljivo je da ugljen, koji 1961. godine ima veći udio nego svi ostali oblici energije zajedno, od 1964. godine sve više potiskuju plemenitiji oblici energije, osobito energija sadržana u vreloj vodi i vodenoj pari, čiji udio 1978. godine iznosi 48,30 %, te kapljeviti naftni derivati, čiji udio 1978. godine iznosi 21,68 %. Visok je i udio plina — 17,35 %.

Valja upozoriti da je nakon promatranog razdoblja, 1979. godine, zabilježen nagli skok korištenja plina u industriji naftnih derivata zbog prelaska nekih najvećih korisnika na upotrebu prirodnog plina (cementara Sloboda, Ciglane Zagreb itd.).

5.3. Energija predana korisnicima u prometu

U skupini prometa prosječna godišnja stopa rasta energije predane korisnicima iznosi 6,01 % u razdoblju 1961—1969. i 4,99 % od 1969 do 1978. (tablica 8). Treba upozoriti da energija predana prometu ne predstavlja ujedno i energiju korištenu na zagrebačkom području, već onu koja je predana prometnim sredstvima na tom području. Osiguranje te energije nužan je preduvjet da bi promatrana sredina mogla uspješno obavljati svoju privrednu i društvenu funkciju. Ovo objašnjenje pojašnjava i velik udio korištenja ugljena u prometu, naročito u prvim godinama promatranog razdoblja: radi se o ugljenu koji je na zagrebačkom području isporučivan željezničkim vučnim vozilima (prijelazom na elektrovuču i dizelsku vuču udio ugljena naglo pada). Motorni benzin bilježi u razdoblju od 1961. do 1978. prosječnu godišnju stopu rasta od 13,03 %, 1978. godine je dominantan oblik energije korišten u prometu (u energiji predanoj prometu sudjeluje s 45,25 %). Slijedi plinsko ulje (dizelsko gorivo) s udjelom 31,49 %, te mlazno gorivo s udjelom 21,60 %. Električna energija (tramvaj, uspinjača, žičara, željeznička vučna vozila) ima od 1961. do 1969. rast po stopi 3,63 %, a u razdoblju 1969. do 1978. po stopi 2,19 %, no zbog veće ekspanzije cestovnog i zračnog prometa udio joj se s godinama smanjuje. Ukapljeni plin počinje se koristiti tek u zadnjih nekoliko godina i sudjeluje u grupi prometa s manje od 1 %.

6. ZAKLJUČAK

Visoke stope rasta društvenog proizvoda i narodnog dohotka na zagrebačkom području pratile su u promatranom osamnaestogodišnjem razdoblju (1961—1978) i visoke stope rasta korištenja energije. No, usprkos tomu, i potkraj tog razdoblja korištenje energije po stanovniku Zagreba bilo je znatno niže nego u razvijenim zapadnoevropskim zemljama i Sjevernoj Americi te istočnoevropskim državama i Sovjetskom Savezu.

Najintenzivnije promjene strukture korištenih oblika energije prisutne su u razdoblju od 1963. do

Tablica 6.

Energija predana općoj potrošnji

Godina	Oblik energije (TJ)							Struktura oblika energije (%)							Godina
	električna energija	drvo	ugljen	kapljeviti naftni derivati	plin	toplina iz toplana	ukupno	električna energija	drvo	ugljen	kapljeviti naftni derivati	plin	toplina iz toplana	ukupno	
1961.	884	2 560	4 941	251	330	—	8 966	9,86	28,55	55,11	2,80	3,68	—	100,00	1961.
1962.	1 041	2 528	5 400	439	410	18	9 836	10,59	25,70	54,90	4,46	4,17	0,18	100,00	1962.
1963.	1 225	2 600	5 509	689	493	19	10 535	11,63	24,68	52,29	6,54	4,68	0,18	100,00	1963.
1964.	1 370	2 680	5 506	597	572	95	10 820	12,66	24,77	50,88	5,52	5,29	0,88	100,00	1964.
1965.	1 514	2 750	5 355	1 022	676	209	11 526	13,14	23,86	46,46	8,87	5,87	1,80	100,00	1965.
1966.	1 483	2 720	5 024	1 525	740	292	11 784	12,58	23,08	42,63	12,94	6,28	2,48	100,00	1966.
1967	1 745	2 670	4 919	1 855	862	605	12 656	13,79	21,10	38,87	14,66	6,81	4,78	100,00	1967.
1968.	1 920	2 520	4 501	2 838	975	830	13 634	14,08	18,48	33,01	20,82	7,15	6,45	100,00	1968.
1969.	2 220	2 300	4 601	3 644	1 215	1 165	15 145	14,66	15,19	30,38	24,06	8,02	7,69	100,00	1969
1970.	2 477	2 250	4 589	3 762	1 435	1 708	16 221	15,27	13,87	28,29	23,19	8,85	10,53	100,00	1970.
1971.	2 658	2 120	4 606	3 977	1 709	1 642	16 712	15,90	12,69	27,56	23,80	10,23	9,82	100,00	1971.
1972.	2 719	2 020	4 396	4 732	2 045	1 906	17 818	15,26	11,34	24,67	26,56	11,48	10,70	100,00	1972.
1973.	2 622	1 960	4 340	4 832	2 318	2 142	18 214	14,40	10,76	23,83	26,52	12,73	11,76	100,00	1973.
1974.	2 847	1 920	4 419	5 373	2 503	2 293	19 355	14,71	9,92	22,83	27,76	12,93	11,85	100,00	1974.
1975.	2 501	1 850	4 362	5 208	3 330	2 290	19 571	12,78	9,61	22,29	26,61	17,01	11,70	100,00	1975.
1976.	2 582	1 960	4 500	5 490	4 033	2 596	21 161	12,20	9,26	21,27	25,94	19,06	12,27	100,00	1976.
1977.	2 915	1 840	4 308	5 444	4 119	2 553	21 179	13,76	8,69	20,34	25,70	19,45	12,05	100,00	1977.
1978.	3 300	1 920	4 698	5 764	4 729	3 332	23 743	13,90	8,09	19,79	24,28	19,92	14,03	100,00	1978.
Stopa rasta 1969/61.	12,20	—1,33	—0,89	39,71	17,69	—	6,77	5,08	—7,58	—7,17	30,85	10,23	—		%
Stopa rasta 1978/69.	4,50	—1,99	0,23	5,23	16,30	12,39	5,12	—0,59	—6,76	—4,65	—0,10	10,84	6,91		%

Tablica 7.

Energija predana korisnicima u industriji

Godina	Oblik energije (TJ)						Struktura oblika energije (%)						Godina
	električna energija	ugljen	naftni derivati	plin*	Para i vrela voda	ukupno	električna energija	ugljen	naftni derivati	plin*	Para i vrela voda	ukupno	
1961.	562	3 313	121	171	1 301	5 468	9,68	60,99	2,23	3,15	23,95	100,00	1961.
1962.	671	3 343	150	325	1 462	5 951	11,28	56,18	2,52	5,46	24,56	100,00	1962.
1963.	758	3 656	231	379	1 765	6 789	11,17	54,85	3,40	5,58	20,00	100,00	1963.
1964.	943	3 760	257	935	3 751	9 646	9,78	38,98	2,66	9,69	38,89	100,00	1964.
1965.	1 005	3 191	267	864	5 086	10 413	9,65	30,65	2,56	8,30	48,84	100,00	1965.
1966.	1 095	3 259	291	966	5 360	10 971	9,98	29,71	2,65	8,80	48,86	100,00	1966.
1967.	1 132	3 039	335	1 122	6 017	11 645	9,72	26,10	2,88	9,63	51,67	100,00	1967.
1968.	1 228	2 752	394	1 316	6 297	11 987	10,24	22,96	3,29	10,98	52,53	100,00	1968.
1969.	1 291	2 566	442	1 358	6 499	12 156	10,62	21,11	3,64	11,17	53,46	100,00	1969.
1970.	1 341	2 317	582	1 470	6 900	12 610	10,62	21,11	3,64	11,17	53,46	100,00	1970.
1971.	1 426	1 915	655	1 493	7 106	12 595	11,32	15,20	5,20	11,86	56,42	100,00	1971.
1972	1 535	1 626	786	1 671	7 353	12 971	11,83	12,54	6,06	12,88	56,69	100,00	1972
1973.	1 588	1 551	1 000	1 728	7 742	13 609	11,67	11,40	7,35	12,70	56,88	100,00	1973.
1974.	1 607	1 506	1 073	1 902	8 082	14 170	11,34	10,63	7,57	13,42	57,04	100,00	1974.
1975.	1 689	1 074	2 594	1 941	7 620	14 918	11,32	7,20	17,39	13,01	51,08	100,00	1975.
1976.	1 754	748	2 586	2 223	8 093	15 404	11,39	4,86	16,79	14,43	52,53	100,00	1976.
1977.	1 769	394	3 530	2 416	7 843	15 952	11,80	2,45	21,95	15,03	48,77	100,00	1977.
1978	1 899	132	3 474	2 781	7 741	16 027	11,85	0,82	21,68	17,35	48,30	100,00	1978.
Stopa rasta 1969/61.	10,96	—3,14	17,58	29,56	22,27	10,50	1,17	—12,42	6,32	17,14	10,56		%
Stopa rasta 1978/69.	4,38	—28,09	25,74	8,29	1,79	3,12	1,23	—30,30	21,93	5,01	—1,12		%

* prirodni, gradski, ukapljeni i industrijski »otpadni« plin

Tablica 8.

Energija predana prometu

	Energija (TJ)							Struktura oblika energije (%)							
	električn energija	motorni benzin	plinsko ulje	mlazno gorivo	ukapljeni plin	ugljen	ukupno	električn energija	motorni benzin	plinsko ulje	mlazno gorivo	ukapljeni plin	ugljen	ukupno	Godina
1961.	91	686	680	189	—	3 268	4 914	1,85	13,96	13,84	3,85	—	66,50	100,00	1961.
1962.	94	725	770	220	—	3 079	4 888	1,92	14,83	15,75	4,50	—	63,00	100,00	1962.
1963.	98	805	840	300	—	3 465	5 308	1,76	14,61	15,25	5,45	—	62,91	100,00	1963.
1964.	101	825	963	350	—	3 664	5 903	1,71	13,98	16,31	5,93	—	62,07	100,00	1964.
1965.	105	970	1 106	400	—	3 191	5 772	1,82	16,81	19,16	6,93	—	55,28	100,00	1965.
1966.	107	1 212	1 265	480	—	3 027	6 091	1,76	19,90	20,77	7,88	—	49,69	100,00	1966.
1967.	113	1 455	1 465	620	—	2 548	6 201	1,82	23,46	23,63	10,00	—	41,09	100,00	1967.
1968.	115	1 552	1 665	790	—	2 354	6 476	1,78	23,96	25,71	12,20	—	36,35	100,00	1968.
1969.	121	2 347	1 950	940	—	2 483	7 841	1,54	29,93	24,87	11,99	—	31,67	100,00	1969.
1970.	127	2 700	2 555	1 001	—	1 856	8 239	1,54	32,77	31,01	12,15	—	22,53	100,00	1970.
1971.	130	3 240	2 708	1 169	—	1 583	8 830	1,47	36,69	30,67	13,24	—	17,93	100,00	1971.
1972.	133	3 508	2 543	1 497	44	1 541	9 266	1,44	37,86	27,44	16,16	0,47	16,63	100,00	1972.
	136	4 087	2 785	1 713	44	1 524	10 289	1,32	39,72	27,07	16,65	0,43	14,81	100,00	1973.
1974.	138	4 053	2 766	1 427	67	724	9 175	1,50	44,18	30,15	15,55	0,73	7,89	100,00	1974.
1975.	144	4 466	2 858	2 170	71	620	10 329	1,39	43,24	27,67	21,01	0,69	6,00	100,00	1975.
1976.	142	4 775	3 069	2 632	62	155	10 835	1,31	44,07	28,33	24,29	0,57	1,43	100,00	1976.
1977.	144	5 088	3 550	2 735	49	21	11 587	1,24	43,91	30,64	23,61	0,42	0,18	100,00	1977.
1978	147	5 500	3 827	2 625	42	13	12 154	1,21	45,25	31,49	21,60	0,34	0,11	100,00	1978.
Stopa rasta 1969/61.	3,63	16,62	14,08	22,20	—	— 3,38	6,01	—2,27	10,00	7,60	15,26	—	— 8,86		%
Stopa rasta 1978/69.	2,19	9,92	7,78	12,09	—	—44,21	4,99	—2,64	4,70	2,65	0,76	—	—46,70		%

1966. zbog supstitucije ugljena plemenitijim energetskim oblicima, prvenstveno naftnim derivatima i plinom. Nakon 1973. godine, koja je trebalo da bude prekretnica u pristupu energetskoj opskrbi, strukturne promjene su relativno male.

U strukturi korisnika kod energije predane korisnicima prva u rangu je opća potrošnja, koja je 1978. godine koristila 45,73 % od ukupne energije predane korisnicima. Slijede industrija s 30,87 % te promet s 23,40 %. Ta struktura nije se od 1961. do 1978. znatnije mijenjala.

KEY WORDS: CITY ZAGREB, POWER BALANCE

DEVELOPMENT OF POWER USE IN AREA OF ZAGREB CITY IN PERIOD FROM 1961 TILL 1978 YEAR

In the article is presnted a balance of power use in area of Zagreb city in period from 1961 till 1978 year. Beside bulk available power, it is analysed use of power delivered to users in group of general users, industry and traffic.

ENTWICKLUNG DER ENERGIENUTZUNG AUF DEM ZAGREBER GEBIET VON 1961 — 1978

Umfaßt wurde die Eenergienutzung auf dem Zagreber Gebiet von 1961—1978. Außer der brutto verfüsbaren Energie für Energie — zwecke wurde die Nutzung der Energie analysiert, die den Nutznießern in der Gruppe des allg. Verbrauchs, Industrie und des Verkehrs übergeben wurde.

РАЗВИТИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЗАГРЕБ В ПЕРИОД С 1961 ПО 1978 ГОД

Балансировано потребление энергии на территории г. Загреб в период с 1961 по 1978. год. Кроме брутто располагаемой энергии для энергетических целей анализировалось потребление энергии, переданной потребителям в составе общего потребления, промышленности и оборот.

Naslov pisca:

Zdravko Mužek, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis 1983-06-18.

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR Elektroprenos

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:
prijenos električne energije, izrađuje studije,
razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje
elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja, te svojim vozilom marke

Kaelble

i prikolicom

Scheuerle

prevozi teški teret do 120 tona.

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

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

METODE ZA EVALUACIJU DEMOGRAFSKIH, METEOROLOŠKIH I RADIOLOŠKIH KARAKTERISTIKA LOKACIJA NUKLEARNIH ELEKTRANA

mr Jure Ćurković — Vladimir Jelavić, Zagreb

UDK 621.039.5
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Opisane su metode za evaluaciju demogramskih, meteoroloških i radioloških karakteristika lokacija predviđenih za izgradnju nuklearnih elektrana. Na temelju prikazane metodologije razvijen je računski model DEMOS. Primjena ovog računskog modela dana je za slučaj lokacije NE Prevlaka i već izgrađene NE Krško.

Ključne riječi: nuklearna elektrana, okolina, demografska analia, lokacija, vrednovanje lokacija.

UVOD

U fazi lociranja nuklearnog postrojenja jedna od bitnijih analiza jest analiza naseljenosti i djelatnosti stanovništva u okolici lokacije nuklearne elektrane. Razumljivo je što postoji težnja da se nuklearna elektrana locira u što slabije naseljenom području, što je s druge tsrane u kontradikciji s energetski poželjnom lokacijom koja se treba nalaziti u blizini velikih potrošača električne ili toplinske energije. Ta dva, dijametralno suprotna zahtjeva, mogu se pomiriti s kompromisnim rješenjem koje zahtijeva niz analiza, od kojih je jedna od bitnijih analiza naseljenosti i privredne aktivnosti u okolici lokacije nuklerane elektrane.

1. METODE ZA USPOREĐIVANJE I VREDNOVANJE LOKOCIJA S OBZIROM NA NASELJENOST U OKOLICI

1.1. Općenito

Potreba za gradnjom nuklearnih elektrana i specifični zahtjevi koje takva gradnja uvjetuje upozorili su na potrebu za razvijanje komparativnih metoda koje se koriste za selekciju i usporedbu, kao i za konačnu ocjenu podobnosti odabranih potencijalnih mjesta za izgradnju nuklearnih elektrana. Izbor lokacije ovisi o više značajnih analiza, a jedna od bitnijih je i analiza naseljenosti i analiza djelatnosti stanovništva u okolici potencijalne lokacije za izgradnju nuklearne elektrane.

Ovisno o raspoloživim podacima, za vrednovanje lokacija za izgradnju nuklearnih elektrana s obzirom na naseljenost koristi se nekoliko metoda. Neke od njih imaju svrhu da daju kriterije prihvaćanja, odnosno odbacivanja lokacije, a neke su više usmjerene na određivanje potrebnih kriterija za uspoređivanje različitih lokacija. U odnosu na potrebne podatke razlikuju se metode koje koriste samo podatke o naseljenosti i one koje uključuju i meteorološke pokazatelje, jer je atmosfera osnovni put u prijenosu radioaktivnih tvari, a fizikalne karakteristike atmosfere imaju velik utjecaj na ozračenje stanovništva, ako do toga dođe.

Osnovna shema (format) po kojoj se obrađuju podaci svodi se na postavljanje mreže koja se sastoji od koncentričnih kružnica različitog radijusa s ishodištem u reaktoru nuklearne elektrane i radijalnih linija koje idu iz središta kružnice, a pomaknute su za određeni kut. Ako je **n** broj kružnica, a **m** broj radijalnih linija, tada se ovako dobivena mreža sastoji od $\mathbf{m} \cdot \mathbf{n}$ polja (segmenata). Uobičajeno je da se promjeri koncentričnih kružnica povećavaju po geometrijskoj progresiji tako da razmaci između dviju susjednih kružnica u zonama bliže reaktoru iznose 1 do 2 km, a razmaci u vanjskim zonama iznose 5, 10, 20, . . . km. Kut koji zatvaraju dvije susjedne radijalne linije iznosi 22,5° (16 smjerova) i 30° (12 smjerova).

Radijus udaljenosti i mreža za analizu u različitim zemljama je različita. SAD analizu naseljenosti vrše do 80 km (50 milja) i to za 1.6, 3.2, 4.8, 6.4, 8, 16, 32, 48, 64 i 80 km, a kut između susjednih radijalnih linija iznosi 22,5°. U SR Njemačkoj i Švicarskoj analiza se obavlja do 40 km s kutem od 30° (12 smjerova). Većina evropskih zemalja analizu naseljenosti obavljaju do 80 km, i to za 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 60 i 80 km s kutem koji zatvaraju susjedne radijalne linije od 22,5°.

U našoj praksi analiza naseljenosti obavlja se do radijusa udaljenosti od 80 km s kutem od 22,5°, što je

kompatibilno s meteorološki usvojenim smjerovima vjetra, pa lako omogućuju uključivanje meteoroloških parametara.

1.2. Metoda kumulativne krivulje

Metoda se sastoji u komparaciji kumulativnih krivulja u bilo kojem radijusu udaljenosti ili bilo kojem sektoru s referentnom krivuljom. Da bi se nacrtala referentna krivulja, potrebno je definirati referentnu gustoću populacije (stanovnika/km^2). Preporuka IAEA[1] i većine zemalja koje su takve analize radile je da se za referentnu gustoću stanovništva uzima nacionalna ili regionalna gustoća.

Osnovna jednadžba ove metode glasi:

$$Nr = f(r), \qquad (1)$$

gdje je:

Nr — broj stanovnika unutar kružnice radijusa r s ishodištem na mjestu reaktora nuklearne elektrane, pri čemu je

$$0 < r \leqslant R$$

R — maksimalna udaljenost do koje se obavlja analiza (npr. 80 km)

Karakteristike ove metode su:

a) jednostavnost i jednoznačnost,
b) zahtijeva samo podatke o naseljenosti,
c) određivanje referentnih krivulja može predstavljati problem i povod za diskusiju,
d) interpretacija rezultata može biti komplicirana ako se krivulje i lokacije i referentne krivulje međusobno sijeku,
e) ne uzima u obzir meteorološke parametre.

1.3. Metoda gustoće naseljenosti

Metoda se sastoji u uspoređivanju gustoće naseljenosti u određenom radijusu oko lokacije s referentnom gustoćom naseljenosti. Za ovu usporedbu uzima se u obzir:

a) broj stanovnika unutar pojedinih radijusa udaljenosti,
b) broj stanovnika unutar pojedinih sektora, a naročito unutar onih koji se nalaze u smjeru glavnog vjetra,
c) škole, bolnice, zatvori i slične institucije u okolini lokacije,
d) prometne i komunikacijske veze.

Nakon provedene analize, potrebno je usporediti dobivene rezultate unutar pojedinih radijusa udaljenosti ili unutar pojedinih sektora s referentnim vrijednostima. Prema preporukama IAEA, Safety series 50-SG-S4, usporedba se provodi ovako:

— za radijus udaljenosti 2 km
kategorija I $V_{zp} \leqslant 1/3\ V_{mzp}$
kategorija II $1/3\ V_{mzp} < V_{zp} \leqslant V_{mzp}$
kategorija III $V_{mzp} < V_{zp}$

— za radijus udaljenosti 2 — 5 km
kategorija I $V_{zp} \leqslant 1/2\ V_{mzp}$
kategorija II $1/2\ V_{mzp} < V_{zp} \leqslant V_{mzp}$
kategorija III $V_{mzp} < V_{zp}$

— za radijus udaljenosti 5 — 10 km
kategorija I $V_{zp} \leqslant V_{mzp}$
kategorija II $V_{mzp} < V_{zp} \leqslant 2\ V_{mzp}$
kategorija III $2\ V_{mzp} < V_{zp}$

— za radijus udaljenosti 10 — 20 km
kategorija I $V_{zp} \leqslant 1{,}5\ V_{mzp}$
kategorija II $1{,}5\ V_{mzp} < V_{zp} \leqslant 3\ V_{mzp}$
kategorija III $3\ V_{mzp} < V_{zp}$

gdje je:

V_{zp} — broj stanovnika unutar pojedinih radijusa udaljenosti,

V_{mzp} — prosječni broj stanovnika unutar pojedinih radijusa udaljenosti koji se dobije množenjem prosječne gustoće naseljenosti i površine.

Za udaljenosti iznad 20 km uzima se u obzir samo stanovništvo većih gradova (≥ 100 000 do 200 000 st.).

1.4. Metoda za određivanje faktora naseljenosti (SPF)[2]

Faktor naseljenosti eksplicitno uzima u obzir činjenicu da je stanovništvo udaljenije od elektrane manje osjetljivo na posljedice prouzročene ispustom radioaktivnih materijala od onoga koje je u neposrednoj okolici nuklearne elektrane. Potrebna funkcionalna ovisnost dobiva se uvođenjem u račun meteoroloških karakteristika okoline nuklearne elektrane. Obično se uzimaju u obzir najnepovoljnije atmosferske karakteristike i najnepovoljnija brzina vjetra.

Faktor naseljenosti računa se prema izrazu:

$$SPF\ (r_n) = \frac{\sum_{j=1}^{n} W_j\ P_{oj}}{\sum_{j=1}^{n} W_j\ P_{oj}} \qquad (2)$$

gdje je:

n — broj koncentričnih kružnica s ishodištem na lokaciji,

[1] IAEA — International Atomic Eenergy Agency.

[2] SPF — Site Population Factor

r_n — radijus najveće kružnice,

$W_j = r_j^{\alpha}$ — ponder ovisan o radijusu j-te kružnice (r_j) i o karakteristici atmosferske disperzije, α,

P_j — broj stanovnika unutar kružnica radijusa r_j i r_{j-1},

P_{oj} — referentni broj stanovnika unutar kružnica radijusa r_j i r_{j-1},
$P_{oj} = \Pi D_{ref} (r_j^2 - r_{j-1}^2)$

D_{ref} — referentna gustoća naseljenosti.

Karakteristika je ove metode u tome da preko jednostavnih pokazatelja uvodi u račun i meteorološke parametre. Nedostaci su da ne uzima u obzir naseljenost u pojedinim sektorima, a također SPF faktor znatno ovisi o odabranoj udaljenosti do koje se analiza vrši.

1.5. SSF[3] metoda

S ovom metodom uspoređuju se lokacije na bazi radioloških posljedica prouzročenih ispuštanjem radioaktivnog joda u akcidentalnim uvjetima nuklearne elektrane. Kumulativne krivulje doze zračenja štitne žlijezde za najgušće naseljene sektore uspoređuju se se odgovarajućim graničnim krivuljama koje se smatraju prihvatljivim za određeni tip reaktora. Za svaku lokaciju crtaju se dvije krivulje, i to kumulativna krivulja unutar zadanog radijusa udaljenosti krivulja najgušće naseljenog sektora. Izračunavanje karakterističnih točaka navedenih krivulja za pojedini radijus udaljenosti od lokacije obavlja se tako da se ukupan broj stanovnika (Pi) u svakom segmentu pomnoži težinskim faktorom (Wi) za krivulju najgušće naseljenog sektora, a kumulativna krivulja za određeni radijus udaljenosti dobije se sumiranjem po svim sektorima

$$\left(\sum_{i=1}^{n} P_i W_i\right).$$

Težinski faktor W_i ovisan je o dozi zračenja štitne žlijezde koju bi primio standardni čovjek preko kritičnog puta udisanja od radioaktivnog joda ako bi se nalazio u centru sektora. Emisija radioaktivnog joda određuje se za prizemni ispust uz najnepovoljniju meteorološku situaciju. U praksi, pretpostavlja se stabilnost atmosfere »F« uz brzinu vjetra 2 m/s s jednakom vjerojatnosti za sve smjerove.
Kumulativna i sektorska krivulja lokacije uspoređuje se s referentnim krivuljama koje su bazirane na referentnoj gustoći stanovništva (nacionalna ili regionalna gustoća). Lokacije čije se karakteristične krivulje nalaze ispod referentnih krivulja smatraju se prihvatljivima.

Karakteristike ove metode jesu:

a) težinski faktor se određuje samo na bazi radioaktivnog joda koji ne mora biti reprezentativan za radiološku zaštitu u svim situacijama,
b) preliminarni proračun se zasniva na pojednostavnjenom modelu disperzije u atmosferu,
c) na većim udaljenostima razlike među komparativnim krivuljama bivaju sve manje i teže ih je evaluirati.

1.6. MDF[4] metoda

Cilj je ove metode da osim demografskih uzme u obzir i meteorološke karakteristike lokacije preko faktora disperzije (X/Q). Faktor disperzije (X/Q) određuje se na bazi raspoloživih meteoroloških podataka u trenutku evaluacije lokacije.

Ako su poznate koordinate i broj stanovnika u okolini lokacije i ako se raspolaže meteorološkim podacima za računanje faktora disperzije, moguće je izračunati indeks meteorološko-demografske situacije:

$$IMD = \sum_i \sum_j N_{ij} \sum_j \left(\frac{X}{Q}\right)_{ijm} P_{im} \qquad (3a)$$

gdje je:

i — indeks sektora,
j — indeks radijusa udaljenosti,
m — indeks meteorološke situacije,

$\left(\frac{X}{Q}\right)_{ijm}$ — faktor disperzije za sektor i, radijus udaljenosti j i meteorološku situaciju m,

P_{im} — vjerojatnost pojavljivanja meteorološke situacije m u sektoru i,

N_{ij} — broj stanovnika u sektoru i do radijusa udaljenosti j.

Karakteristike ove metode su:

a) sve meteorološke i demografske karakteristike lokacije mogu se uzeti u obzir,
b) vjerojatnost pojavljivanja određene meteorološke situacije može se eksplicitno primijeniti,
c) zahtjeva prikupljanje relativno velikog broja meteoroloških podataka s lokacije.

U ovom radu meteorološko-demografski faktor definiran je umnoškom indeksa meteorološko-demografske situacije s konstantom $\left(\frac{10^6}{R^2}\right)$, s obzirom na to da su bitni samo relativni odnosi pri uspoređivanju lokacija.

Iz navedenog slijedi:

$$MDF\ (R) = \frac{10^6}{R^2 \Pi} \sum_i \sum_j N_{ij} \sum_m \left(\frac{X}{Q}\right)_{ijm} \cdot P_{im} \qquad (3b)$$

gdje je:

R (km) — radijus udaljenosti do kojeg se analiza provodi.

[3] SSF — Site and sector factor

[4] MDF — Meteorološko demografski faktor

1.7. PD[5] metoda

Ovom metodom obavlja se evaluacija i komparacija alternativnih lokacija, uvažavajući populacijsku dozu zračenja za svaki sektor i ukupnu populacijsku dozu zračenja za sve sektore do odabranog radijusa udaljenosti od lokacije.

Evaluacija lokacija s aspekta prostornog rasporeda stanovništva bazira se na konzervativnom proračunu populacijskih doza zračenja od plinovitih ispuštanja u normalnom (rutinskom) pogonu i u akcidentalnim situacijama nuklearne elektrane preko udisanja i uranjanja u radioaktivni oblak kao kritičnih putova ozračenja. Za određivanje ispuštanja u akcidentalnim situacijama pretpostavlja se nezgoda s gubitkom hlađenja, tzv. Loss of colant accident (LOCA).

U fazi izbora lokacija, kada se ne raspolaže s dovoljno kvalitetnih podataka nužnih za kvantificiranje doza zračenja, koristi se pojednostavljena PD metoda koja se bazira samo na ispuštanju J-131 i računanju doza zračenja preko navedenih kritičnih putova za ukupno tijelo i štitnjaču.

Osnovna jednadžba za računanje populacijske doze zračenja, za odabranu udaljenost, glasi:

$$D_j^p = 10^{-5} \sum_d N_d \sum_a D_{jda} f_{da} \qquad (4)$$

gdje je:

D_j^p — ukupna populacijska doza zračenja za promatrano vremensko razdoblje za organ j (ukupno tijelo ili štitnjaču), čovjek-Sv,

D_{jda} — doza zračenja za promatrano vremensko razdoblje, za organ j, za prosječnu starosnu grupu a u segmentu d, Sv/god.,

f_{da} — dio stanovništva u segmentu d koji se nalazi u starosnoj grupi a,

N_d — ukupno stanovništvo u segmentu d.

Specifičnosti ove metode jesu:

a) koristi se za komparaciju alternativnih lokacija,
b) meteorološke i demografske karakteristike uzimaju se s analizirane lokacije,
c) evaluacija zahtijeva veliku baza podataka.

2. METODE ZA PROJEKCIJU BROJA STANOVNIKA

Na populacijske trendove znatno utječu tokovi privrednog i društvenog rasta. Stope fertiliteta su niže u industrijaliziranim i urbaniziranim sredinama, a slično je i sa stopama smrtnosti stanovništva. Takvi demografski odnosi dovode do izrazitih promjena u starosnoj strukturi stanovništva. Kod populacija s visokim fertilitetom postotak koji otpada na omladinu kreće se između 45 i 50 %, što utječe na relativno nizak postotak aktivnog stanovništva. Radna snaga (aktivno stanovništvo) formira se uglavnom iz kontigenta stanovništva koje se nalazi u radnoj starosti.

Pošto su demografski procesi, bar oni koji se tiču demografskih pojava u užem smislu (fertilitet, smrtnost, promjene u starosnoj i spolnoj strukturi, bračna struktura itd.), po pravilu dugoročnog karaktera, to je analiza razvitka stanovništva radi dobivanja osnovnih projekcija broja stanovnika naročito interesantna kod analize naseljenosti oko lokacije svake nuklearne elektrane.

Kod projekcija broja stanovnika javljaju se veći problemi tamo gdje promjene u kretanju i strukturi stanovništva mogu biti brže zbog toga što se utjecaji privrednog i društvenog razvoja odražavaju na kretanje ukupnog stanovništva (migracije, ekonomska i socijalna struktura, obrazovna i kvalifikacijska struktura stanovništva itd.).

Da bi se projekcija broja stanovnika što kvalitetnije obavila, potrebno je naselja koja se nalaze unutar odabranog radijusa do kojeg se analiza vrši, svrstati u tri grupe, i to:

a) naselja seoskog tipa,
b) naselja s gradskim obilježjima,
c) naselja s velegradskim obilježjima.

2.1. Projekcija broja stanovnika za naselja seoskog tipa

U ovu grupu naselja potrebno je izdvojiti sva naselja unutar odabranog radijusa do kojeg se analiza obavlja, čije kretanje ukupnog stanovništva ovisi jedino o demografskim procesima. Ako se raspolaže podacima o kretanju stanovništva za n momenata (popisi stanovništva), projekcija broja stanovnika ovih naselja obavlja se pomoću analitičko-sintetičke metode mogu se svrstati one funkcije pomoću kojih se promatra cjelina vremenskog toka kretanja stanovništva s aspekta koji kaže nešto bitno o sadržaju i biti razvoja stanovništva, kao što je pravac, eksponencijalna krivulja, parabola i logistička krivulja.

Ako se raspolaže podacima za više momenata (na primjer tri ili više popisa), lako je naći jednadžbu krivulje koja se najbolje prilagođava danim uvjetima. No, ako se želi raspolagati jednom aspolutnom slikom ukupnog toka kretanja stanovništva, analitičari primjenjuju jednu od prije spomenutih krivulja. Poseban je problem da li kod pravca i eksponencijalne funkcije izračunavati konstante na osnovi podataka za sve poznate točke ili samo za neke (na primjer, po metodi najmanjih kvadrata). Vrijedi pravilo da krivulja kojom se prikazuje razvojna tendencija ne smije biti suviše komplicirana, zatim da rezultati budu objektivni i logički.

a) *Metoda linearnog trenda (MLT)*

Metoda linearnog trenda često se primjenjuje, naročito za kraće vremenske periode. Ta metoda polazi od pretpostavke da je budućnost slika prošlosti. Za trend linearnog oblika $y = a + bx$ potrebno je

[5] PD — Populacijska doza

da se na temelju podataka u vremenskoj seriji odrede parametri *a* i *b*. Označe li se originalne vrijednosti u vremenskoj seriji s Y, a vrijednosti koje će se nalaziti na liniji trenda s y, konstante *a* i *b* treba da budu tako određene da:

1) Suma svih odstupanja između originalnih vrijednosti i odgovarajućih vrijednosti trenda bude jednaka nuli

$$\Sigma\ (Y - y) = 0 \qquad (5)$$

2) Suma kvadrata spomenutih odstupanja treba dati minimum, tj. manje od bilo koje sume kvadrata odstupanja, da su odstupanja računata od bilo kojeg drugog pravca

$$\Sigma\ (Y - y)^2 \rightarrow \text{minimum} \qquad (6)$$

S $y = a + bx$, navedeni izraz glasi:

$$\Sigma\ (Y - a - bx)^2 \rightarrow \text{minimum} \qquad (7)$$

Uvjet o minimumu bit će zadovoljan ako parcijalne derivacije za *a* i *b* budu jednake nuli

$$-2\ \Sigma\ (Y - a - bx) = 0 \qquad (8)$$

$$-2\ \Sigma\ (Y - a - bx)\ x = 0, \qquad (9)$$

odnosno pomoću jednadžbi (koje se nazivaju normalnim jednadžbama)[1]

$$\Sigma Y = N \cdot a + b \cdot \Sigma x \qquad (10)$$

$$\Sigma xy = a \cdot \Sigma x + b \cdot \Sigma x^2 \qquad (11)$$

Rješenjem spomenutog sistema jednadžbi dobiju se konstante *a* i *b*, a time i jednadžbu pravca kojim se određuje razvojna tendencija kretanja stanovništva.

b) *Metoda eksponencijalne krivulje (MEK)*

Kod ekstrapolacije pomoću eksponencijalne krivulje polazi se od hipoteze o konstantnosti stope porasta (opadanja) u svakoj godini, dok se kod metode linearnog trenda pretpostavljalo da broj stangovnika raste ili opada svake godine za isti broj. Ako se koristimo istim oznakama kao kod prethodne metode, eksponencijalna funkcija glasi:

$$y = a \cdot b^x \qquad (12)$$

Logaritmiranjem prethodne jednadžbe dobije se:

$$\log y = \log a + x \log b, \qquad (13)$$

te supstitucijom za:

$\log y = Z$, $\log a = r$ i $\log b = V$, dobije se

$$Z = r + V \cdot x \qquad (14)$$

Budući da je eksponencijalna funkcija svedena na linearni oblik, mogu se primijeniti normalne jednadžbe za izračunavanje parametara *r* i *V*

$$\Sigma Z = N \cdot r + V \cdot \Sigma x \qquad (15$$

$$\Sigma Z \cdot x = r \cdot \Sigma x + V \cdot \Sigma x^2 \qquad (16)$$

Rješenjem (15 i (16) dobiju se parametri *r i V*, a antilogaritmiranjem dobivenih vrijednosti parametara *r* i *V* dobiju se parametri *a* i *b*.
S definiranjem parametara *a* i *b* definirana je i eksponencijalna funkcija, a time i porast stanovništva u željenom razdoblju.

c) *Metoda parabole drugog stupnja*

Jednadžba parabole drugog stupnja glasi:

$$y = a + bx + cx^2, \qquad (17)$$

gdje je:

y — broj stanovnika u odgovarajućoj godini,
x — godina popisa,
a, b, c — parametri ovisni o broju stanovnika i godini popisa.

Za trend parabole drugog stupnja, tj. oblika $y = a + bx + cx^2$, potrebno je izračunati vrijednost parametara a, b, c. Koristeći se metodom najmanjih kvadrata na analogan način kao kod metode linearnog trenda, može se postaviti uvjet:

$$\Sigma\ (y - a - bx - cx^2)^2 \rightarrow \text{minimum} \qquad (18)$$

Ovaj izraz bit će minimalan ako su parcijalne derivacije za *a*, *b* i *c* jednake nuli, tj.

$$-2\ \Sigma\ (y - a - bx - cx^2) = 0 \qquad (19)$$

$$-2\ \Sigma\ (y - a - bx - cx^2)\ x = 0 \qquad (20)$$

$$-2\ \Sigma\ (y - a - bx - cx^2)\ x^2 = 0 \qquad (21)$$

Iz (19), (20) i (21), pomoću normalnih jednadžba dobije se:

$$\Sigma\ y = 3 \cdot a + b\ \Sigma x + c \cdot \Sigma x^2 \qquad (22)$$

$$\Sigma\ xy = a \cdot \Sigma x + b\ \Sigma x^2 + c\ \Sigma x^3 \qquad (23)$$

$$\Sigma\ xy^2 = a \cdot \Sigma x^2 + b\ \Sigma x^3 + \Sigma x^4 \qquad (24)$$

Rješenjem navedenog sistema jednadžba dobiju se parametri *a*, *b* i *c*, a time i jednadžba parabole drugog stupnja pomoću koje se za proizvoljno odabrani *x* može dobiti procijenjeni broj stanovnika.

d) *Metoda logističke krivulje*

Najpoznatija, ali i najspornija krivulja kretanja stanovništva jest logistička krivulja (Verhulst). Ona s vremenom raste, s točkom infleksije u sredini, dolazi iz beskonačnosti kada je porast stanovništva veoma nizak i približava se asimptotski vrijednosti B.
Stanovništvo ne može rasti u beskonačnost, što je slučaj eksponencijalnog porasta. Može se pretpo-

[1] Označava statističku metodu koja se upotrebljava u analizi vremenske serije.

staviti da postoji gornja granica rasta B, što znači da se P (t) asimptotski približava vrijednosti B. Ovo implicira da se stopa rasta $\frac{dP(t)}{dt}$ približava nuli kada razlika B — P (t) postaje sve manja. Matematička formulacija izloženog opisana je kao:

$$\frac{dP}{dt} = K\,[B - P(t)] \qquad (25)$$

gdje je:

K — pozitivna konstanta koja određuje kako se $\frac{dP}{dt}$ brzo približava nuli.

Prethodna diferencijalna jednadžba može se napisati u obliku:

$P(t) = K \cdot B - K \cdot P(t)$, a njezino opće rješenje

$$P(t) = c \cdot e^{-kt} + B \qquad (26)$$

Ako je $\frac{dP}{dt}$, tj, P'(t) proporcionalan kako s P(t), tako isto i s B — P(t), onda se dobije sljedeća diferencijalna jednadžba:

$$\frac{dP}{dt} = \lambda \cdot P(t)\ [B - P(t)] \qquad (27)$$

gdje je λ pozitivna konstanta.

Opće rješenje diferencijalne jednadžbe (27) glasi:

$$P(t) = \frac{B}{1 + K \cdot e^{-\lambda Bt}} \text{ (logička funkcija)} \qquad (28)$$

Ako se uvede supstitucija $A = \lambda B$ i $P(t) = Yt$, jednadžba logističke funkcije poprima oblik:

$$Yt = \frac{B}{1 + K \cdot e^{-at}} \qquad (29)$$

Za računanje konstanti a, B i K koristi se metoda koju je razradio Tinter u članku »Eine neue Methode für die Schatzung der logistischen Funktion«, Metrika 1, 154 (1958.). Tintner se korisrio ovom transformacijom logističke funkcije:

$$Zt = \frac{1}{Yt} = \frac{1 + K \cdot e^{-at}}{B} \qquad (30)$$

$\lim Yt = K$

$t \to \infty$

Pri tome je logističku funkciju tretirao kao »zakon« razvoja stanovništva i pretpostavio da je recipročna vrijednost logističke funkcije proporcionalna gustoći stanovništva. Funkcija Zt ima linearnu diferencijalnu jednadžbu prvog stupnja:

$$Zt + 1 = \frac{(1 - e^{-a})}{B} + e^{-a}\,Zt \qquad (31)$$

Primjenom metode najmanjih kvadrata na tu jednadžbu dobije se ocjena za parametre $\frac{1-e^{-a}}{B}$ i e^{-a}, na osnovi njih se mogu odrediti konstante a i B logističke funkcije. Konstantu (K) možemo dobiti pomoću izraza Rhodesa:

$$\ln K = \frac{a\,(N+1)}{2} + \frac{\sum_{t=1}^{N} e_n\,(\frac{B}{Yt}) - 1}{N} \qquad (32)$$

N je broj promatranja u analiziranom periodu.

Točka infleksije ima ordinatu $yt = \frac{B}{2}$, dok vrijednost apscise može izračunati iz relacije:

$$\frac{B}{2} = \frac{B}{1 + K \cdot e^{-at}} \qquad (33)$$

Rješenjem jednadžbe (3.29) dobije se izraz za izračunavanje vrijednosti apscise koji glasi:

$$t = \frac{\log K}{a} \qquad (34)$$

Izložena metoda je korištena za uspoređivanje rezultata analitičke procjene stanovništva Jugoslavije do 1981. godine, koju je napravio dr Dušan Breznik (1963. god.).

2.2. Projekcija broja stanovnika za naselja gradskog tipa

U ovu grupu trebaju se izdvojiti sva naselja koja s aspekta razvoja određene regije imaju dominirajuću ulogu te čiji razvoj ukupnog stanovništva nije uvjetovan samo demografskim procesima. Na razvoj ukupnog stanovništva ovih naselja dominantnu ulogu ima razvoj privrede, vođenje socijalne i kulturne poliitke, kao i tendencija stvaranja općinskih ili regionalnih centara razvoja. Projekcija broja stanovnika za naselja ovog tipa obavlja se prema opisanim metodama u t. 3.1, a dobiveni rezultati se uspoređuju s projekcijama dobivenim uz poštivanje prostornih planova razvoja određenog mjesta, općine, regije itd. na način da se viša od ove dvije vrijednosti usvoji.

2.3. Projekcija broja stanovnika za naselja velegradskog tipa

U ovu grupu izdvajaju se sva naselja koja se mogu tretirati kao velik industrijski i administrativni

centri na čiji razvoj ukupnog stanovništva dominantnu ulogu ima brzi razvoj industrije, dok je budući razvoj ovakvih naselja uvjetovan ekonomskom snagom i prostornim ograničenjima. Ova su naselja ne samo značajna po koncentraciji velikog broja stanovnika, već zauzimaju i veliki prostor.
Zbog činjenice da naselja ovakvog tipa zauzimaju velik prostor koji može prekrivati ili djelomično biti uključen u više segmenata, ova naselja treba podijeliti u **n** manjih jedinica (kazeta), gdje svaka jedinica čini cjelinu s aspekta daljnjeg razvoja ovih naselja. Projekcija broja stanovnika ovih naselja obavlja se po manjim cjelinama (kazetama).

3. DEMOS — RAČUNSKI MODEL ZA ANALIZU NASELJENOSTI U OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRANE

Za analizu karakteristika naseljenosti oko lokacije predviđene za izgradnju nuklearne elektrane razvijen je originalni računski model DEMOS. Blok-dijagram ovog računskog modela dan je na slici 1. Osnovne smjernice za razvoj računskog modela dane su od IAEA (lit. 1), a prethodno opisane metode uvažavaju i ostalu relevantnu literaturu kao što je lit. 2, 3, 4, ...

Svaka od opisanih metoda u pog. 1. i 2. zahtijeva određen nivo ulaznih podataka. Računski model je koncipiran tako da maksimalno koristi ulazne podatke ili, bolje reći, odabire metode na bazi ponuđenih ulaznih podataka. Ulazni podaci mogu se općenito svrstati u nekoliko osnovnih skupina, i to:

- podaci o stanovništvu u manjima naseljima i gradovima unutar zadane udaljenosti od NE
- meteorološki podaci
- podaci o fizičkim karakteristikama ispusta
- podaci o ispuštenim radionuklidima
- podaci nužni za vođenje programa i izbor metoda.

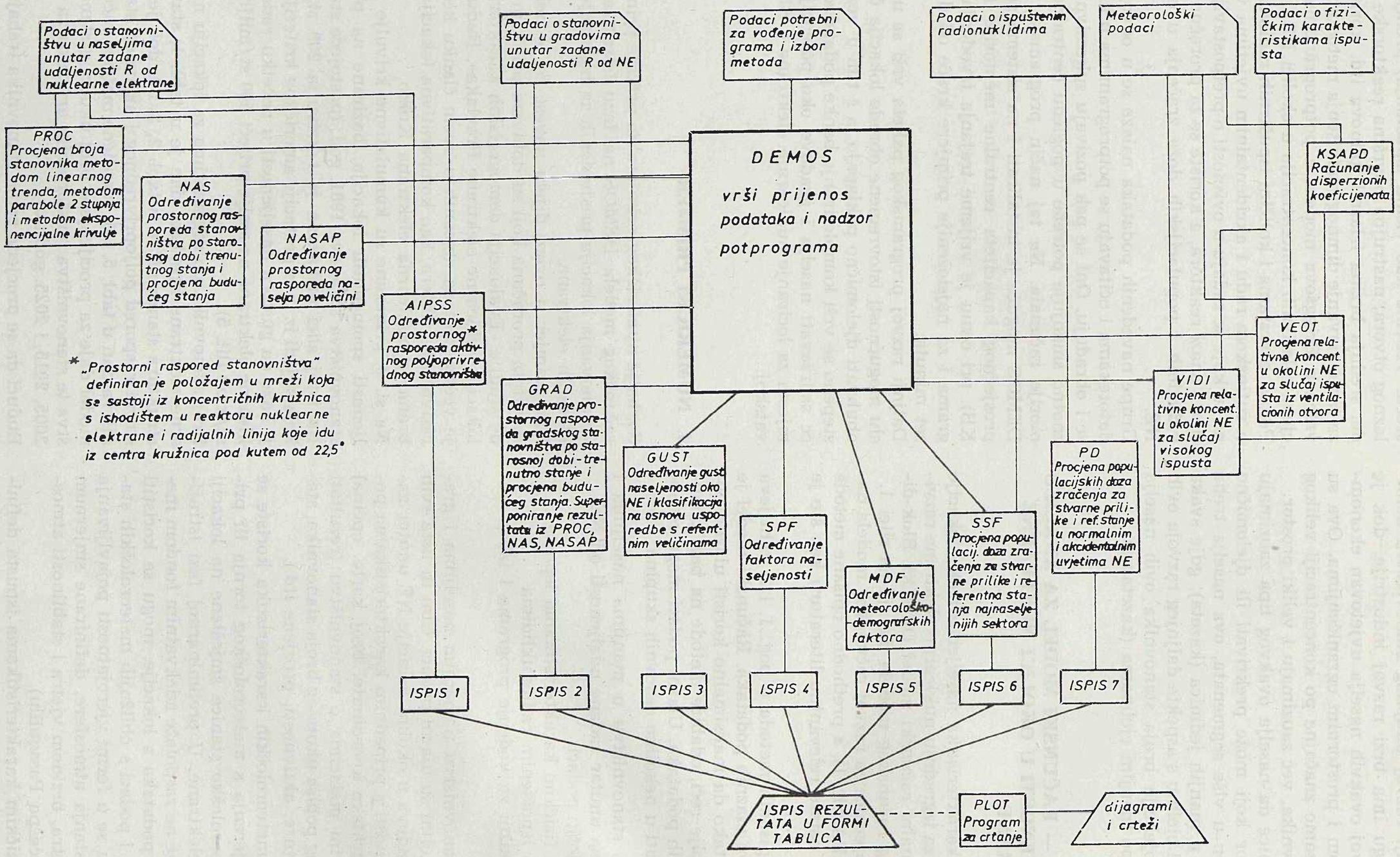
Podaci o stanovništvu u manjim naseljima i gradovima temeljni su ulazni podaci. Čini ih lista **svih** naselja i gradova u okolini lokacije NE unutar zadane udaljenosti s pripadnim karakteristikama položaja (geografske koordinate, broj karte, općina) i raspoloživim podacima o stanovništvu (rezultati višegodišnjeg popisa ukupnog broja stanovnika, starosne strukture, aktivnosti, procjene itd.).

Za analizu meteoroloških karakteristika koriste se rezultati mjerenja s meteorološkog tornja ili prizemne meteorološke stanice smještene na lokaciji nuklearne elektrane. U preliminarnoj fazi istraživanja, ako se ne raspolaže adekvatnim fondom meteoroloških podataka s lokacije, mogu se koristiti kao dopuna i podaci s obližnjih meteoroloških stanica. Zadaju se u formi vjerojatnosti pojavljivanja određenog stanja atmosfere, definirane smjernom puhanja vjetra, brzinom vjetra i stabilnosti atmosfere (najčešće po Passquillu).
Podaci o fizičkim karakteristikama ispusta definiraju uvjete ispuštanja plinovitih efluenata u atmosferu. Veličine kao visina ispuštanja, promjer izlaznog otvora, nastrujna površina reaktorske zgrade, srednja brzina izlaznih plinova itd. koriste se za izračunavanje dimnog nadvišenja metodom usavršenog Briggsova modela u potprogramima procjene relativnih koncentracija u okolici NE.
Podaci o vrstama i količini ispuštenih radionuklida u rutinskom radu i akcidentalnim uvjetima veličine su koje se zadaju u ovisnosti o pretpostavljenom tipu i snazi reaktora, a koriste se za proračun individualnih i populacijskih doza zračenja u okolici NE.
Grupe navedenih podataka nalaze se u odvojenim datotekama i očitavaju se potprogramima u kojima se i obrađuju. Oni se pak pozivaju sukcesivno, što znatno smanjuje potrebe u pogledu centralne memorije računala. Na taj način programski paket DEMOS moguće je instalirati i na sisteme sasvim prosječnog kapaciteta centralne memorije (< 64 KB), pri čemu je vrijeme trajanja izvođenja programa i za najsloženije primjere kraće od dvadeset minuta.
Daljnji razvoj programskog paketa vrši se u smislu mogućnosti istovremene obrade lokacija čiji se obuhvati djelomično poklapaju, a s tim u vezi postepeno se vrši kompletiranje banke podataka koja će sadržavati naselja i gradove oko potencijalnih mjesta za lociranje nuklearnih elektrana u SR Hrvatskoj.

4. NUMERIČKI PRIMJER

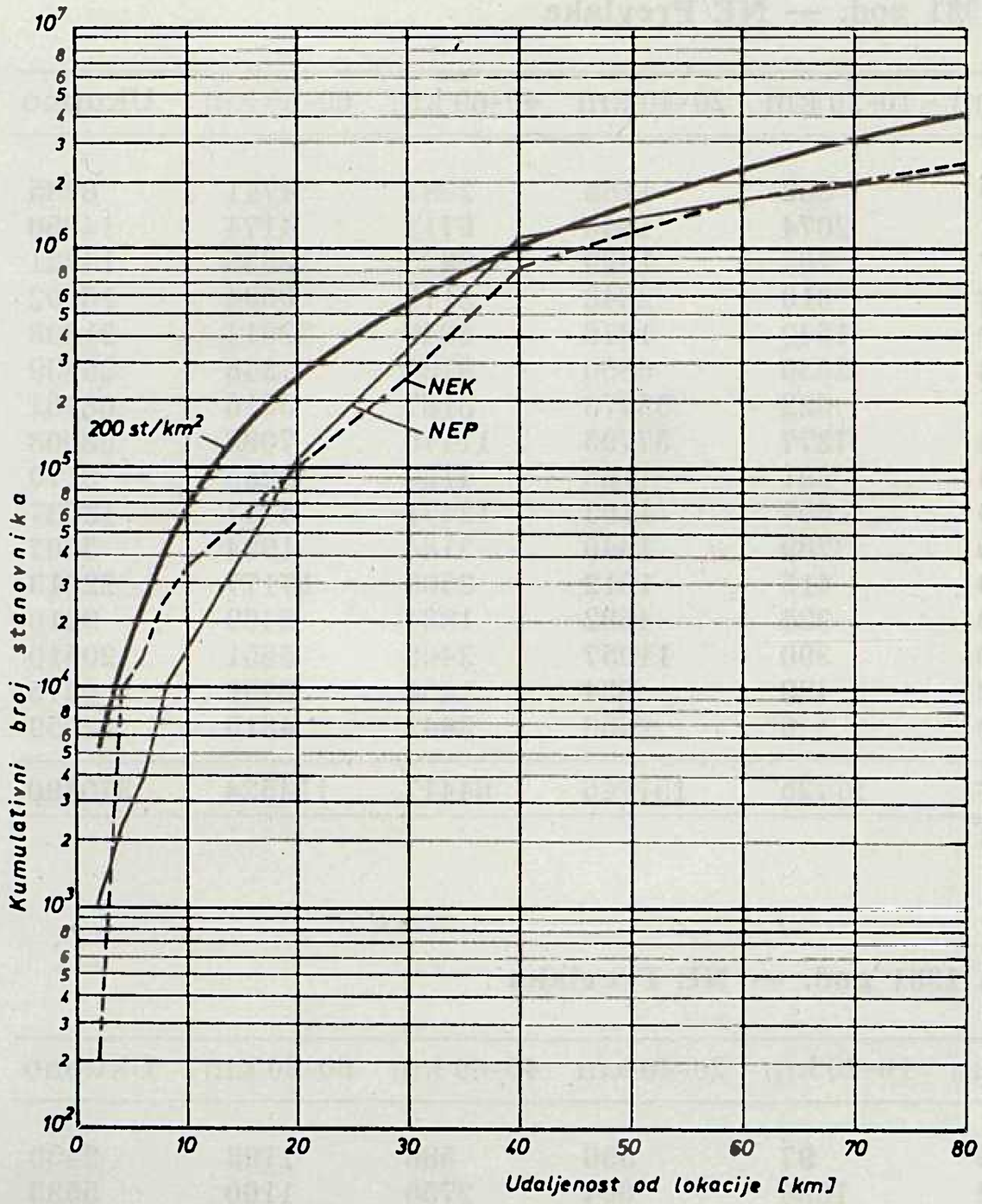
Svrha je numeričkog primjera da prikaže primjenu računskog modela DEMOS na fazu istraživanja i vrednovanja lokacija predviđenih za izgradnju nuklearnih elektrana.
Kao primjer u ovom dijelu navest će se neki od rezultata proračuna koji su dobiveni prilikom izrade studije »Evaluacija demografskih karakteristika lokacije nuklearne elektrane Prevlaka«. Budući da je većina metoda opisanih u ovom članku komparativnog karaktera, kao komparativna lokacija izabrana je nuklearna elektrana Krško.
Na sl. 2. prikazane su kumulativne krivulje naseljenosti spomenutih lokacija, bazirane na popisu stanovništva i stanova 1981. god. (postojeće stanje). Na istoj slici prikazana je i krivulja 200 st/km^2, koja slijedi iz interpretacije američkog kriterija koji kaže da gustoća naseljenosti u početku rada nuklearne elektrane ne smije prijeći 500 st/milji^2 (196 st/km^2) (lit. 5).
Broj stanovnika po segmentima za lokaciju nuklearne elektrane Prevlaka dan je u tabl. 1, starosna struktura stanovništva u tabl. 2, 3. i 4, dok je prostorni raspored poljoprivrednog i aktivnog stanovništva dan u tabl. 5. i 6. Identične matrice računski model daje za procijenjeni broj ukupnog stanovništva te stanovništva po starosnim grupama za 1955, 2005, 2015. i 2025. godinu.

Budući da se procjene broja stanovnika trebaju vršiti za godinu ulaska elektrane u pogon (za NE

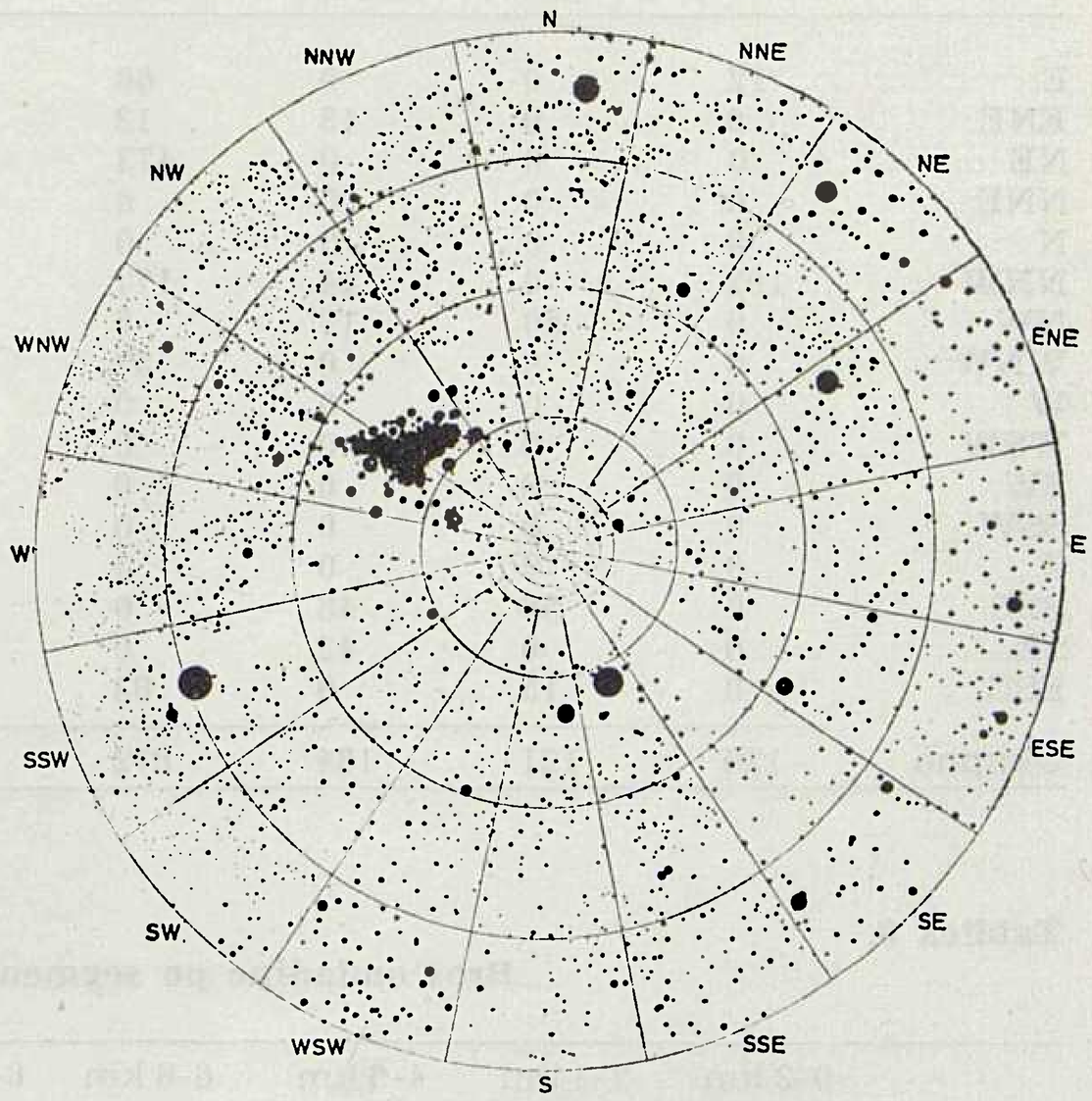


* „Prostorni raspored stanovništva" definiran je položajem u mreži koja se sastoji iz koncentričnih kružnica s ishodištem u reaktoru nuklearne elektrane i radijalnih linija koje idu iz centra kružnica pod kutem od 22,5°

Slika 1. Blok-dijagram računskog modela DEMOS



Slika 2. Krivulje naseljenosti (stanje 1981. god.)



Slika 3.

Prevlaka pretpostavljena 1995. god.), te za svaku desetu godinu do izlaska nuklearne elektrane iz pogona, odabrane su prethodno spomenute godine procjene broja stanovnika.

U tabl. 7. dan je ukupni broj naselja po segmentima u okolini nuklearne elektrane Prevlaka. Također se po istom formatu ispisuje broj naselja po broju stanovnika (primjer tabl. 8). Takav raspored također se programski ucrtava u definiranu mrežu oko lokacije kako je prikazano na sl. 3.

Faktor naseljenosti (SPF) lokacija nuklearnih elektrana Prevlaka i Krško dan je u tabl. 9. za postojeće stanje (1981) te za procijenjeno stanje (1995, 2005, 2015. i 2025. god.) za radijuse udaljenosti 6 i 20 km.

Meteorološko-demograski faktor određuje se za 16 smjerova (W, WNW, ...) i 7 udaljenosti (0 — 2, 0 —4, 0 —6, 0 —8, 0 — 10, 0 — 20, 0 — 30 km) od nuklearnih elektrana. Na slici 4. prikazan je izračunani MDF za pojedine naseljenosti, dok je na sl. 5. prikazan MDF najugroženijeg sektora. Proračun je napravljen za slučaj ispuštanja radioaktivnih plinovitih efluenata kroz ventilacijski otvor i visoki dimnjak.

Tablica 1.

Broj stanovnika po segmentima 1981 god — NE Prevlaka

	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	10-20 km	20-40 km	40-60 km	60-80 km	Ukupno
E	119	0	0	552	0	2257	8305	16911	31727	59871
ENE	0	0	103	108	707	11430	11052	41695	28465	93560
NF	0	0	0	2735	183	1744	12156	20237	54566	91619
NNE	0	0	0	0	669	2214	18645	32224	52698	106450
N	0	0	0	0	226	8587	14267	37242	119125	179447
NNW	816	0	179	1004	573	9796	39794	54770	42233	149165
NW	0	388	245	52	104	4891	342550	49587	36693	434510
WNW	0	0	0	425	723	32026	346081	63263	40029	482547
W	0	0	0	0	1692	2648	7871	27878	16407	56496
WSW	0	0	0	0	753	3575	107518	68197	29271	209314
SW	0	0	0	0	0	1807	9761	15990	15519	43077
SSW	91	0	0	0	0	2983	12362	15729	59127	90292
S	0	0	0	0	0	2199	27422	12820	12616	55057
SSE	0	652	533	0	0	2362	60266	22978	23078	109869
SE	0	0	483	0	344	3494	4388	10525	36801	56035
ESE	0	202	0	882	0	0	17175	30402	29580	78241
Ukupno	1026	1242	1543	5758	5974	92013	1039613	520448	627933	2295550

Tablica 2.

Broj djece po segmentima 1981 god. — NE Prevlaka

	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	10-20 km	20-40 km	40-60 km	60-80 km	Ukupno
E	12	0	0	68	0	362	1265	2287	4741	8735
ENE	0	0	13	13	121	2074	1543	6712	4174	14650
NE	0	0	0	473	27	262	1699	2925	8835	14221
NNE	0	0	0	0	68	310	2848	5172	8594	16992
N	0	0	0	0	29	1542	1876	5849	22314	31608
NNW	102	0	14	177	88	2030	6850	8730	7348	25339
NW	0	50	17	5	11	922	53473	8167	5816	68461
WNW	0	0	0	53	104	7377	57795	11176	7098	83603
W	0	0	0	0	235	391	1166	4123	2255	8170
WSW	0	0	0	0	110	607	1102	12471	4347	18637
SW	0	0	0	0	0	289	1340	2184	1994	5807
SSW	6	0	0	0	0	415	1912	2503	17177	22013
S	0	0	0	0	0	325	4582	1834	2469	9210
SSE	0	56	48	0	0	390	11057	3408	5551	20510
SE	0	0	42	0	38	429	634	1434	6998	9575
ESE	0	15	0	83	0	0	2606	5442	4815	12959
Ukupno	120	121	134	872	831	17725	151746	84417	114524	370490

Tablica 3.

Broj omladine po segmentima 1981 god. — NE Prevlaka

	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	10-20 km	20-40 km	40-60 km	60-80 km	Ukupno
E	3	0	0	15	0	97	556	586	1193	2450
ENE	0	0	4	3	22	1050	604	2750	1100	5533
NE	0	0	0	266	4	74	537	742	3716	5339
NNE	0	0	0	0	13	94	1007	2024	2150	5288
N	0	0	0	0	8	582	474	1877	9453	12394
NNW	24	0	6	78	17	760	2508	3246	2933	9572
NW	0	8	4	0	2	200	22749	2913	1789	27665
WNW	0	0	0	12	29	2360	25509	3500	1654	33064
W	0	0	0	0	57	103	251	1380	586	2377
WSW	0	0	0	0	21	165	282	7153	1017	8638
SW	0	0	0	0	0	66	336	481	585	1468
SSW	2	0	0	0	0	118	888	674	3827	5509
S	0	0	0	0	0	73	2255	481	695	3504
SSE	0	18	12	0	0	78	5712	866	1580	8266
SE	0	0	10	0	15	131	171	378	2311	3016
ESE	0	5	0	20	0	0	647	1253	1157	3082
Ukupno	29	31	36	394	188	5951	64486	30304	35746	137165

Tablica 4.

Broj odraslih po segmentima 1981 god. — NE Prevlaka

	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	10-20 km	20-40 km	40-60 km	60-80 km	Ukupno
E	103	0	0	469	0	1795	6463	14001	25751	48582
ENE	0	0	85	91	562	8296	8871	32185	23159	73249
NE	0	0	0	1994	151	1403	9885	16507	41975	71915
NNE	0	0	0	0	585	1805	14730	24946	41769	83835
N	0	0	0	0	187	6450	11845	29430	87254	135166
NNW	688	0	159	747	466	6996	26479	42706	31877	110118
NW	0	328	223	46	89	3755	266319	38409	28933	338102
WNW	0	0	0	359	587	22280	268718	48482	31054	371480
W	0	0	0	0	1397	2150	6444	22297	13432	45720
WSW	0	0	0	0	622	2796	106105	48507	23799	181820
SW	0	0	0	0	0	1447	8055	13285	12868	35655
SSW	82	0	0	0	0	2448	9537	12518	38080	62665
S	0	0	0	0	0	1797	20553	10469	9424	42243
SSE	0	578	471	0	0	1890	43465	18653	15899	80956
SE	0	0	430	0	290	2926	3572	8699	27461	43378
ESE	0	181	0	778	0	0	13902	23680	23571	62112
Ukupno	873	1087	1368	4484	4936	68234	824943	404774	476306	1787005

Tablica 5.

Broj aktivnog stanovništva po segmentima — NE Prevlaka

	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	10-20 km	20-40 km	40-60 km	60-80 km	Ukupno
E	80	0	0	355	0	928	4043	9209	15513	30128
ENE	0	0	64	55	324	5155	5950	13850	14707	50105
NE	0	0	0	1458	69	943	6848	9712	27505	46535
NNE	0	0	0	0	398	1069	10836	16033	27528	55864
N	0	0	0	0	127	3646	8494	19031	57243	88541
NNW	493	0	111	498	282	4109	19006	24932	20746	70177
NW	0	196	163	34	63	2373	160202	24758	18592	206381
WNW	0	0	0	163	390	15305	169958	29682	18798	234296
W	0	0	0	0	647	1287	3695	12719	8785	27133
WSW	0	0	0	0	360	1707	3796	32543	14299	52705
SW	0	0	0	0	0	721	4854	7430	8233	21246
SSW	57	0	0	0	0	1281	6632	7475	18016	33461
S	0	0	0	0	0	1076	12829	6694	5354	25953
SSE	0	274	283	0	0	987	26929	10109	10483	49065
SE	0	0	262	0	222	2060	1844	5109	14334	23831
ESE	0	130	0	463	0	0	6596	13225	12848	33262
Ukupno	630	600	883	3026	2882	42647	452512	252519	292984	1048683

Tablica 6.

Broj poljoprivrednog stanovništva po segmentima — NE Prevlaka

	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	10-20 km	20-40 km	40-60 km	60-80 km	Ukupno
E	63	0	0	228	0	298	1643	6164	6914	15310
ENE	0	0	48	36	149	818	3219	8202	9372	21844
NE	0	0	0	406	37	569	5022	6830	11177	24041
NNE	0	0	0	0	240	398	6169	8416	14737	29960
N	0	0	0	0	74	660	5526	9446	12697	28403
NNW	363	0	78	264	122	329	5903	8748	7261	23068
NW	0	126	114	17	49	733	1819	8267	8880	20005
WNW	0	0	0	56	231	799	4147	3742	4967	13942
W	0	0	0	0	122	443	1737	5768	4569	12639
WSW	0	0	0	0	4	734	2449	4592	3634	11413
SW	0	0	0	0	0	199	3746	3946	5494	13385
SSW	45	0	0	0	0	529	3109	4811	13843	22337
S	0	0	0	0	0	514	3798	4550	2806	11668
SSE	0	201	221	0	0	220	2533	4041	7684	14900
SE	0	0	248	0	190	1666	1074	3164	5712	12054
ESE	0	104	0	293	0	0	1942	3084	4394	9817
Ukupno	471	431	709	1300	1218	8909	53836	93771	124141	284786

BROJ I VELIČINA NASELJA

Tablica 7.

Ukupni broj naselja po segmentima — NE Prevlaka

	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	10-20 km	20-40 km	40-60 km	60-80 km	Ukupno
E	1	0	0	1	0	8	27	44	52	133
ENE	0	0	1	1	2	12	42	60	41	159
NE	0	0	0	3	1	8	44	77	51	184
NNE	0	0	0	0	3	6	80	105	108	302
N	0	0	0	0	2	19	68	99	129	317
NNW	2	0	1	2	3	16	52	116	103	295
NW	0	2	1	1	2	18	57	136	179	396
WNW	0	0	0	1	3	20	86	148	280	538
W	0	0	0	0	3	5	15	110	174	307
WSW	0	0	0	0	1	12	27	46	139	225
SW	0	0	0	0	0	5	34	51	86	176
SSW	1	0	0	0	0	6	32	41	52	132
S	0	0	0	0	0	4	39	43	32	118
SSE	0	1	2	0	0	4	36	61	56	160
SE	0	0	3	0	2	10	11	22	34	82
ESE	0	1	0	3	0	0	26	31	61	122
Ukupno	4	4	8	12	22	153	676	1190	1577	3646

Tablica 8.

Broj naselja po segmentima sa manje od 100 st. — NE Prevlaka

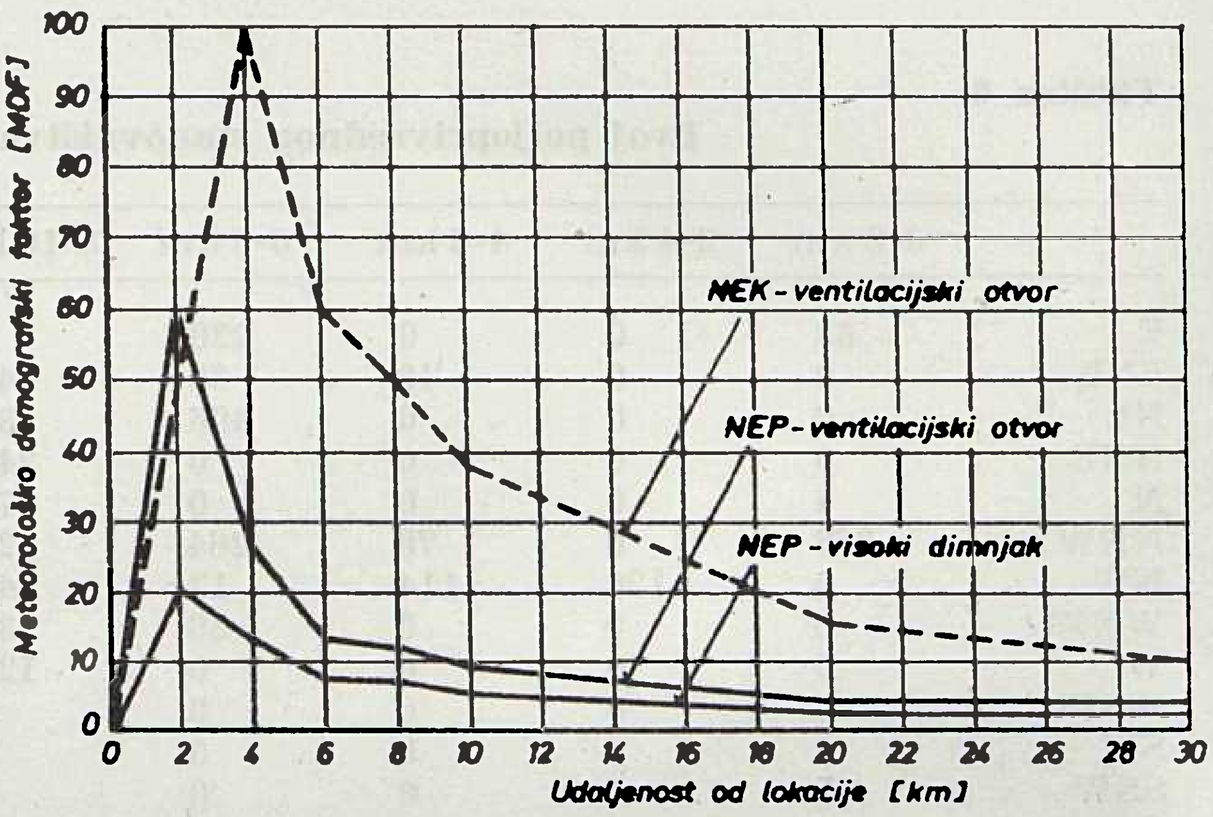
	0-2 km	2-4 km	4-6 km	6-8 km	8-10 km	10-20 km	20-40 km	40-60 km	60-80 km	Ukupno
E	0	0	0	0	0	1	7	4	6	18
ENE	0	0	0	0	0	2	8	4	1	15
NE	0	0	0	0	0	2	4	15	3	24
NNE	0	0	0	0	0	1	22	24	15	62
N	0	0	0	0	1	4	18	10	5	38
NNW	0	0	0	0	0	4	4	10	13	31
NW	0	1	0	1	2	3	3	18	47	75
WNW	0	0	0	0	0	2	5	32	167	206
W	0	0	0	0	0	0	0	36	123	159
WSW	0	0	0	0	0	4	5	8	60	77
SW	0	0	0	0	0	1	4	9	42	56
SSW	1	0	0	0	0	1	6	0	0	8
S	0	0	0	0	0	0	3	3	1	7
SSE	0	0	0	0	0	0	2	5	2	9
SE	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
ESE	0	0	0	0	0	0	1	0	12	13
Ukupno	1	1	0	1	4	26	93	178	497	801

Tablica 9.

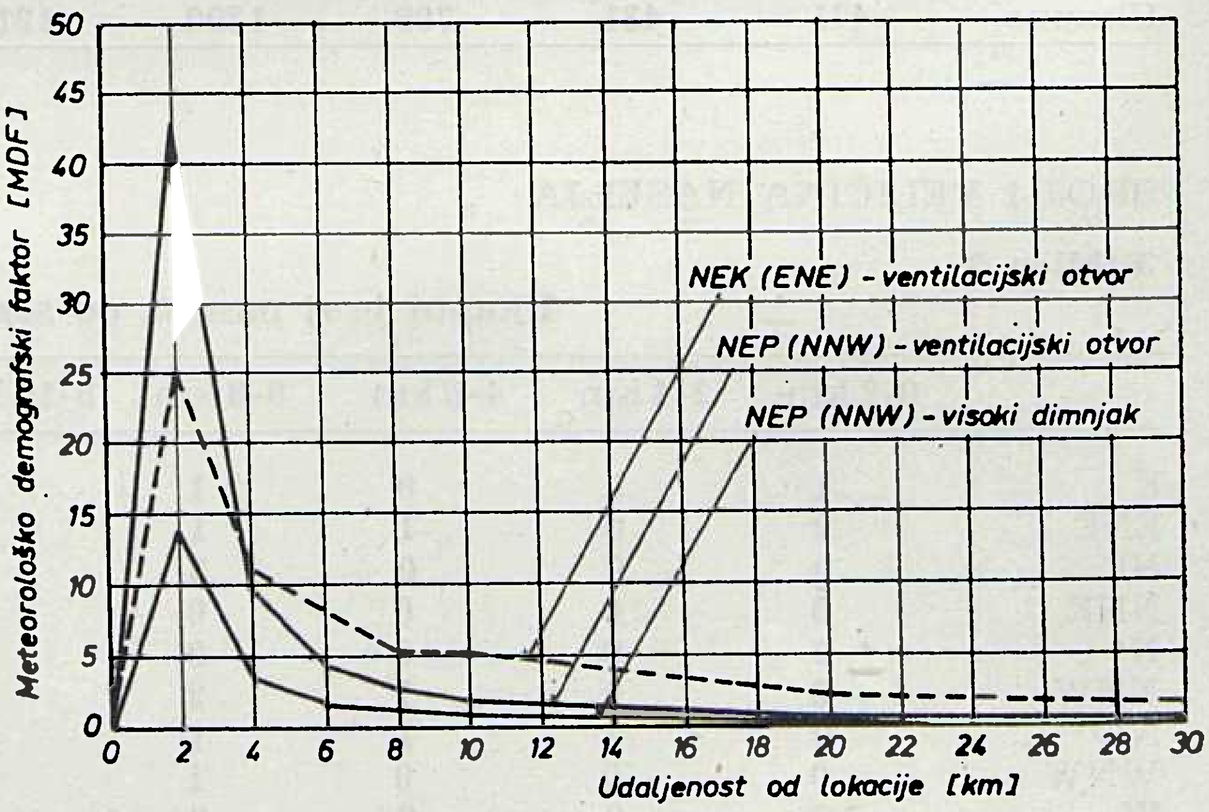
Faktor naseljenosti u okolici lokacije NE Krško i NE Prevlaka

Lokacija	Udaljenost od lokacije (km)	Godina				
		1981.	1995.	2005.	2015.	2025.
NE Krško	6	0,943	1,115	1,250	1,395	1,546
	20	0,892	0,996	1,078	1,169	1,256
NE Prevlaka	6	0,551	0,403	0,299	0,199	0,118
	20	0,695	0,711	0,768	0,841	0,884

Način vrednovanja lokacija SSF metodom prikazan je na slici 6. i 7. za dvije spomenute varijante ispuštanja plinovitih efluenata iz nuklearne elektrane. Individualne i populacijske doze zračenja za ukupno tijelo i štitnjaču, za slučaj najveće projektne nezgode (LOCA — Loss of Colant accident) dane su u tabl. 10. i 11. Iste doze zračenja za navedene organe procijenjene su i za slučaj normalnog (rutinskog) pogona i prikazane u tabl. 12. i 13.



Slika 4. Meteorološko demografski faktor (sumirano po svim sektorima)

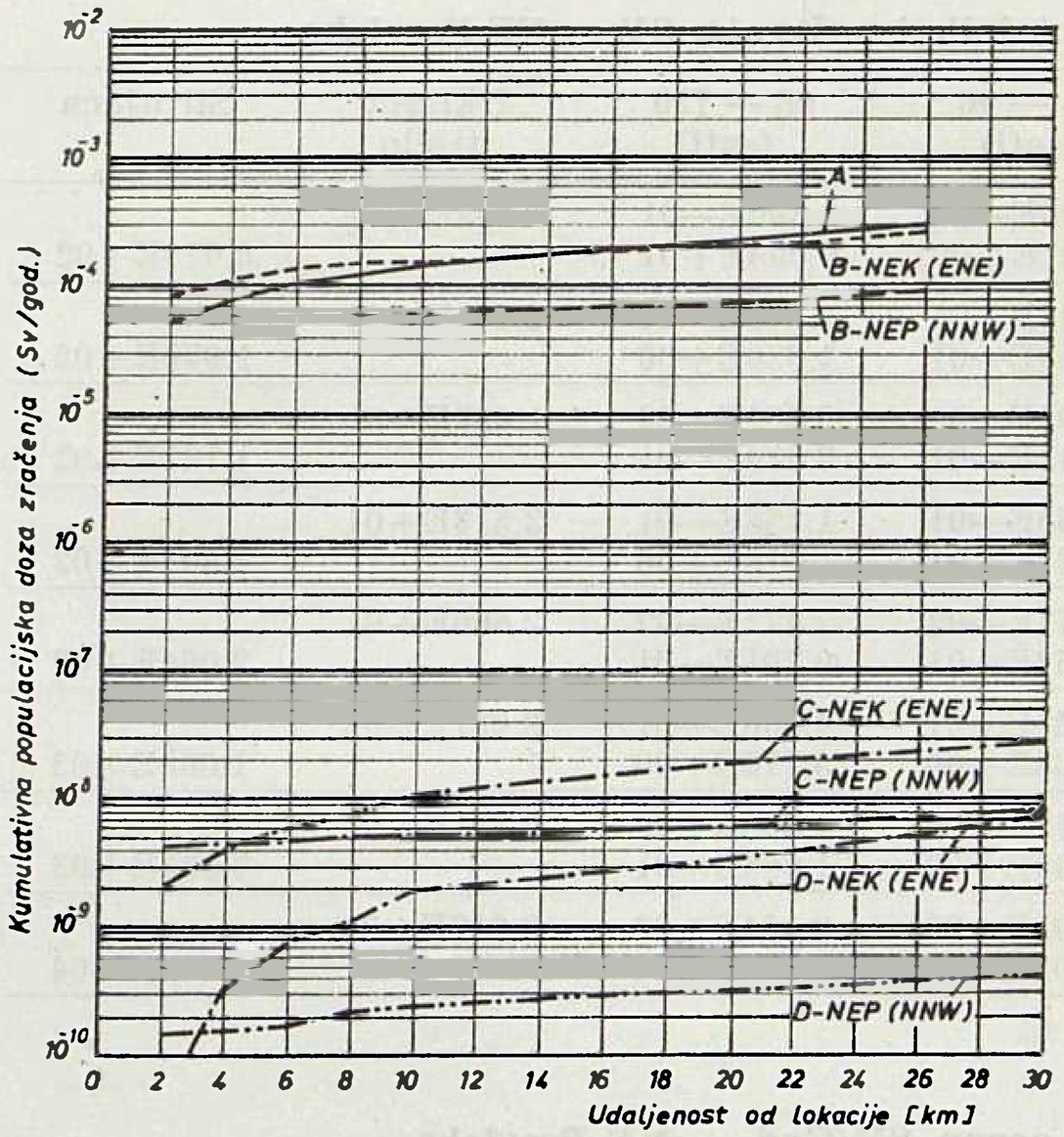


Slika 5. Meteorološko demografski faktor za najugroženiji sektor

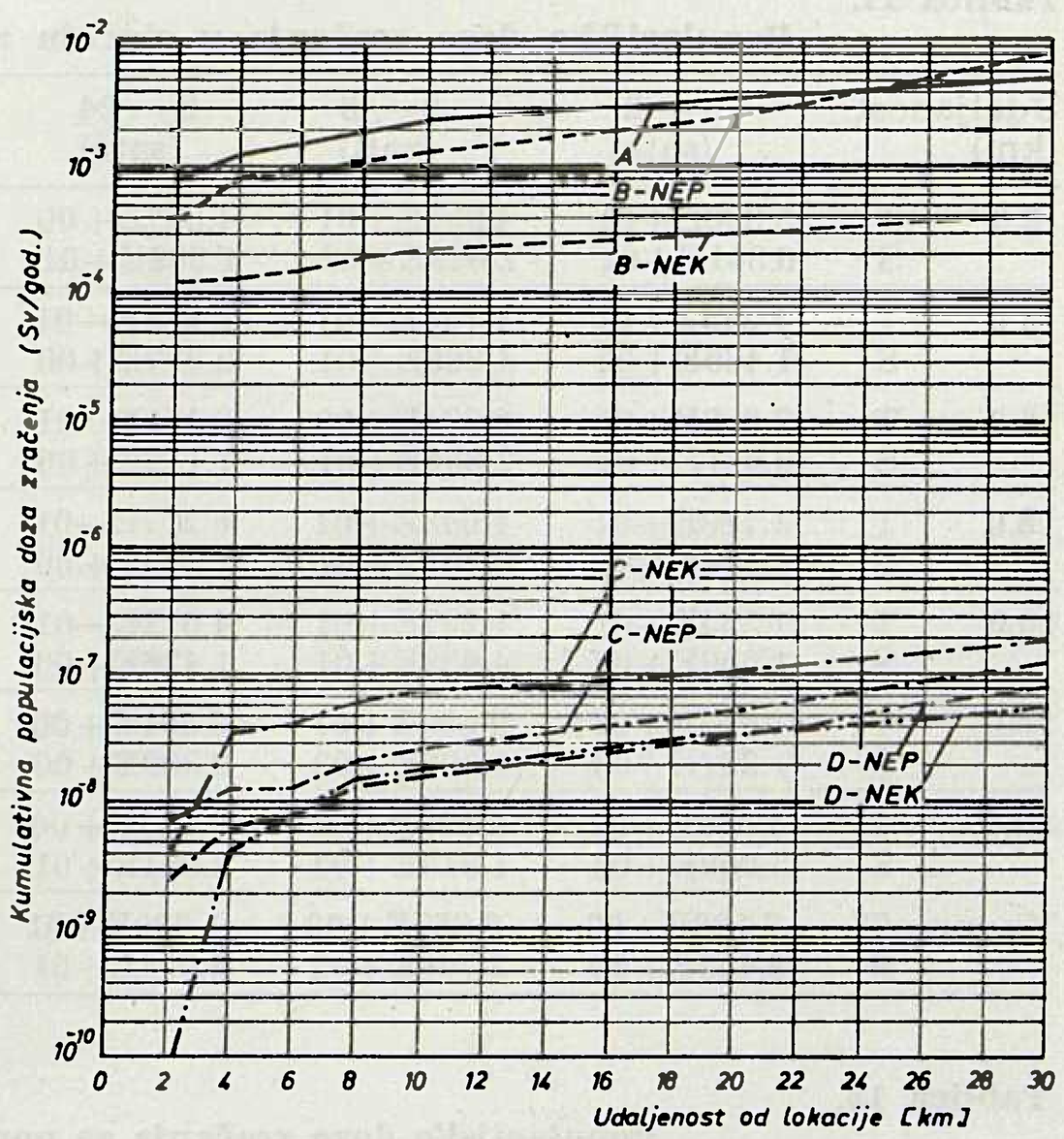
5. ZAKLJUČAK

Razvijen računski model DEMOS može se koristiti od početne do konačne evaluacije demografskih te za početnu evaluaciju meteoroloških i radioloških karakteristika lokacija predviđenih za izrgadnju nuklearnih elektrana. Prednost ovog modela pri istraživanju lokacija jest u tome što se lako može prilagoditi različitim nivoima raspoloživih ulaznih podataka, pa se može koristiti u svim fazama istraživanja lokacija nuklearnih elektrana. Rezultati dobiveni ovim modelom daju dobru osnovu za vrednovanje lokacije s demografskog, meteorološkog i radiološkog aspekta.

Također treba napomenuti da se ovaj model može lako prilagoditi za obradu svih podataka koji se mogu specificirati po pojedinim naseljenim mjestima u okolini neke lokacije ili za procjenu utjecaja nekog zagađivača na odabrano naseljeno mjesto.



Slika 6. Sektorska populacijska doza zračenja za štitnjaču



Slika 7. Populacijska doza zračenja za štitnjaču

NEK — Nuklearna elektrana Krško
NEP — Nuklearna elektrana Prevlaka

A — Referentna krivulja populacijske doze zračenja za štitnjaču
Uvjeti: stabilnost atmosfere F
brzina vjetra 2 m/s
Q (J-131) 1 Ci/god.
vrsta ispusta prizemni ispust
gustoća naseljenosti 100 stan./km²

B — Kumulativna krivulja populacijske doze zračenja za štitnjaču
Uvjeti: stabilnost atmosfere F
brzina vjetra 2 m/s
Q (J-131) 1 Ci/god.
vrsta ispusta prizemni ispust
postojeća gustoća naseljenosti

C — Kumulativna krivulja populacijske doze zračenja za štitnjaču
Uvjeti: meteorološka situacija s lokacije
Q (J-131) 0,042 Ci/god. — NEP
0,030 Ci/god. — NEK
vrsta ispusta: ventilacijski otvor
postojeća gustoća naseljenosti

D — Kumulativna krivulja populacijske doze zračenja za štitnjaču za najugroženiji sektor
Uvjeti: meteorološka situacija s lokacije
Q (J-131) 0,042 Ci/god. — NE
0,030 Ci/god. — NEK
vrsta ispusta: visoki dimnjak (150 m)
postojeća gustoća naseljenosti

PID METODA

Tablica 10.

Individualna doza u slučaju akcidentalnih ispuštanja, SV — NE Prevlaka

Udaljenost (km)		0 — 2 (sata)	2 — 8 (satt)	8 — 24 (sata)	24 — 96 (satt)	96 — 720 (satt)	Ukupno tijelo	Štitnjača
2.0	T	5.254E-02	4.864E-02	4.393E-03	7.533E-04	8.178E-04	1.071E-01	
	Š	6.180E-01	1.978E-01	1.561E-02	3.130E-03	1.071E-02		8.452E-01
4.0	T	1.003E-02	0.285E-03	5.386E-04	9.223E-05	1.002E-04	2.004E-02	
	Š	1.180E-01	3 775E-02	1.914E-03	3.832E-04	1.312E-03		1.593E-01
6.0	T	4.882E-03	4.520E-03	2.041E-04	3.496E-05	3.800E-05	9.679E-03	
	Š	5.743E-02	1.838E-02	7.254E-04	1 453E-04	4.976E-04		7.717E-02
8.0	T	3.092E-03	2.862E-03	1.080E-04	1.850E-05	2.011E-05	6.101E-03	
	Š	3.637E-02	1.164E-02	3.836E-04	7.685E-05	2.633E-04		4.873E-02
10.0	T	2.218E-03	2.053E-03	6.716E-05	1.151E-05	1.252E-05	4.362E-03	
	Š	2.609E-02	8.349E-03	2 386E-04	4.782E-05	1.639E-04		3.489E-02
20.0	T	1.156E-03	1.070E-03	2.566E-05	4.403E-06	4.789E-06	2.261E-03	
	Š	1.360E-02	4.352E-03	9.117E-05	1.829E-05	6.271E-05		1.813E-02
30.0	T	6.222E-04	5.761E-04	9.838E-06	1 691E-06	1.840E-06	1.212E-03	
	Š	7.319E-03	2.342E-03	3.496E-05	7.026E-06	2.409E-05		9.728E-03

Tablica 11.

Populacijska doza zračenja u slučaju akcidentalnih ispuštanja, SV — NE Prevlaka

Udaljenost (km)		0 — 2 (sata)	2 — 8 (satt)	8 — 24 (sata)	24 — 96 (satt)	96 — 720 (satt)	Ukupno tijelo	Štitnjača
2.0	T	5.390E+01	4.991E+01	4.507E+00	7.729E—01	8.390E—01	1.099E+02	
	Š	6.341E+02	2.029E+02	1.602E+01	3.221E+00	1.099E+01		8.672E+02
4.0	T	1.245E+01	1 153E+01	6.689E—01	1.145E—01	1.245E—01	2.489E+01	
	Š	1.465E+02	4.689E+01	2.377E+00	4.759E—01	1.630E+00		1.979E+02
6.0	T	7.532E+00	6.974E+00	3.150E—01	5.395E—02	5.864E—02	1.493E+01	
	Š	8.861E+01	2.836E+01	1.119E+00	2.241E—01	7.679E—01		1.191E+02
8.0	T	1.780E+01	1.648E+01	6.217E—01	1.065E—01	1.158E—01	3.513E+01	
	Š	2.094E+02	6.701E+01	2.209E+00	4.425E—01	1.516E+00		2.806E+02
10.0	T	1.325E+01	1 227E+01	4.012E—01	6.877E—02	7.477E—02	2.606E+01	
	Š	1.559E+02	4.988E+01	1.426E+00	2.857E—01	9.791E—01		2.084E+02
20.0	T	1.064E+02	9.850E+01	2.361E+00	4.051E—01	4.406E—01	2.081E+02	
	Š	1.251E+03	4.005E+02	8.389E+00	1.683E+00	5.770E+00		1.668E+03
30.0	T	5.074E+02	4.698E+02	8.023E+00	1.379E+00	1.500E+00	9.881E+02	
	Š	5.969E+03	1.910E+03	2.851E+01	5.730E+00	1.965E+01		7.933E+03
Ukupno	T	7.188E+02	6.655E+02	1 690E+01	2.901E+00	3.154E+00	2.617E+03	
	Š	8.455E+03	2.706E+03	6.004E+01	1.205E+01	4.129E+01		2.087E+04

Tablica 12.

Populacijska doza zračenja za normalni pogon, SV/God. — NE Prevlaka

Ukupno tijelo

Tip ispusta: ventilacijski otvor

	0 — km	0 — 4 km	0 — 6 km	0 — 8 km	0 — 10 km	0 — 20 km	0 — 30 km
E	2.491E—04	2.491E—04	2.491E—04	3.447E—04	3.447E—04	4.213E—04	5.156E—04
ENE	0.000E—01	0.000E—01	1.408E—04	2.227E—04	5.644E—04	2.755E—03	3.006E—03
NE	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	3.513E—03	3.671E—03	4.339E—03	5.062E—03
NNE	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	9.201E—04	2.310E—03	5.070E—03
N	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	3.760E—05	6.436E—04	8.317E—04
NNW	2.241E—03	2.241E—03	2.330E—03	2.607E—03	2.708E—03	3.385E—03	4.131E—03
NW	0.000E—01	4.165E—04	5.298E—04	5.428E—04	5.589E—04	8.409E—04	7.670E—03
WNW	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	1.819E—04	3.745E—04	3.574E—03	1.289E—02
W	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	3.281E—04	5.321E—04	5.850E—04
WSW	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	3.740E—04	1.162E—03	1.155E—02
SW	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	6.837E—04	1.130E—03
SSW	9.936E—04	9.936E—04	9.936E—04	9.936E—04	9.936E—04	1.714E—03	1.965E—03
S	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	3.166E—04	1.446E—03
SSE	0.000E—01	1.737E—03	2.344E—03	2.344E—03	2.344E—03	2.688E—03	5.590E—03
SE	0.000E—01	0.000E—01	2.320E—04	2.320E—04	2.890E—04	5.138E—04	5.615E—04
ESE	0.000E—01	2.832E—04	2.832E—04	5.589E—04	5.589E—04	5.589E—04	6.998E—04
Ukupno	3.484E—03	5.920E—03	7.102E—01	1.154E—02	1.407E—02	2.645E—02	6.271E—02

Tablica 13.

Populacijska doza zračenja za normalni pogon, SV/God — NE Prevlaka

Štitnjača

Tip ispusta: ventilacijski otvor

	0 — km	0 — 4 km	0 — 6 km	0 — 8 km	0 — 10 km	0 — 20 km	0 — 30 km
E	1.666E—09	1.666E—09	1.666E—09	2.304E—09	2.304E—09	2.883E—09	3.447E—09
ENE	0.000E—01	0.000E—01	9.412E—10	1.489E—09	3.774E—09	1.842E—08	2.010E—08
NE	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	2.349E—08	2.454E—08	2.901E—08	3.385E—08
NNE	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	6.152E—09	1.544E—08	3.390E—08
N	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	2.514E—10	4.303E—09	5.561E—09
NNW	1.498E—08	1.498E—08	1.558E—08	1.743E—08	1.810E—08	2.263E—08	2.762E—08
NW	0.000E—01	2.785E—09	3.542E—09	3.629E—09	3.737E—09	5.623E—09	5.128E—08
WNW	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	1.216E—09	2.504E—09	2.389E—08	8.621E—08
W	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	2.194E—09	3.558E—09	3.911E—09
WSW	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	2.500E—09	7.769E—09	7.723E—08
SW	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	4.571E—09	7.554E—09
SSW	6.643E—09	6.643E—09	6.643E—09	6.643E—09	6.643E—09	1.146E—08	1.314E—08
S	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	0.000E—01	2.117E—09	9.667E—09
SSE	0.000E—01	1.161E—08	1.567E—08	1.567E—08	1.567E—08	1.797E—08	3.737E—08
SE	0.000E—01	0.000E—01	1.551E—09	1.551E—09	1.932E—09	3.436E—09	3.754E—09
ESE	0.000E—01	1.894E—09	1.894E—09	3.737E—09	3.737E—09	3.737E—09	4.679E—09
Ukupno	2.329E—08	3.958E—08	4.748E—08	7.716E—08	9.405E—08	1.768E—08	4.193E—07

LITERATURA

[1] IAEA Safety Guide No. 50-SG-S4, *Site Selection and Evaluation for Nuclear Power Plant with Respect to Population Distribution,* Vienna, 1980.

[2] USNRC Regulatory Guide 1.70, *Standard Format and Content of Safety Analysis for Nuclear Power Plants*, Rev. 3, 1978.

[3] USNRC Regulatory Guide 4.2, *Preparation of Environmental Reports for Nuclear Power Stations,* Rev. 2, July 1976.

[4] USAEC WASH-1235, *Technical Report on a Technique for Consideration of Population in Site Comparison,* October 1974.

[5] USNRC 10 CFR 100, *Population Center Distance of Reactor Site Criteria,* 1976.

[6] USNRC Regulatory Guide 1.109, *Calculation of Annual Dose to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR Part 50,* Appendix I, October 1977.

[7] USNRC Regulatory Guide 1.111, *Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light — Water — Cooled Reactors,* July 1977.

[8] USNRC Regulatory Guide 1.145, *Atmospheric Dispersion Models for Potential Accident Consequence Assesssments at Nuclear Power Plants,* August 1979.

[9] USNRC Regulatory Guide 1.4, *Assumptions Used for Evaluating the Potential Radiological Consequences of a Loss of Coolant Accident for PWR,* Rev. 2, June 1974.

[10] USNRC Regulatory Guide 4.2, *Preparation of Environmental Reports for Nuclear Power Stations,* Rev. 2, July 1976.

[11] IAEA Safety Guide No. 50-SG-S3, *Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting,* Vienna, 1980.

[12] J. Ćurković: *Radiološki utjecaj na okolinu zbog ispuštanja plinovitih efluenata u akcidentalnim situacijama nuklearne elektrane,* Energija br. 2, Zagreb, 1983.

[13] J. Ćurković: *Procjena ugroženosti stanovništva radioaktivnim plinovitim efluentima iz nuklearne elektrane u normalnom pogonu i u akcidentalnim situacijama,* magistarski rad, Zagreb, 1982.

[14] N. Malbaša, J. Ćurković, Z. Tonković: *Izbor mikrolokacije za nuklearnu elektranu Slavonija,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

[15] Breznik: *Demografija (Analiza, Metodi i Modeli),* Beograd, 1977.

[16] USNRC Regulatory Guide 4.7, Rev. 1, *General Site Suitability Criteria for Nuclear Power Stations,* November 1975.

[17] J. Ćurković, N. Malbaša: *Procjena doza zračenja pri normalnim eksploatacijskim stanjima nuklearne elektrane Slavonija,* Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.

KEY WORDS: SUROUNDING, DEMOGRAFIC ANALYSIS, SITE, SITE ESTIMATION

METHODS FOR EVALUATION OF DEMOGRAFIC METEOROLOGIC AND RADIOLOGIC SITE CHARACTERISTIC FOR NUCLEAR POWER PLANTS

In the article is described method for evaluation of demografic, meteorologic and radiologic site characteristics for construction of nuclear power plants. On the base of that method is developed computer program DEMOS. Appplication of that program is given for site of NPP Prevlaka and NPP Krsko that is already in operation.

METHODEN ZUR EVALUATION DER DEMOGRAPHISCHEN, METEOROLOGISCHEN UND RADIOLOGISCHEN CHARAKTERISTIKA DER LOKATION VON KRAFTWERKEN

Beschrieben wurden Methoden für die Evaluation demographischer, meteorologischer und radiologoischer Charakteristika der Lokationen die für den Ausbau von Kernkraftwerken vorgesehen wurden. Aufgrund der geschilderten Methodologie wurde ein Datenrechner — Demos entwickelt. Die Anwendung dieses Modells wurde für den Fall der Lokation Atomkraftwerkes Prevlaka und des schon asugebauten Atomkraftwerkes Krsko vorgeschlagen.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Описани методы оценки демографических, метеорологических и радиологических характеристик местоположения ядрных электростанций, предусмотренных планом строительства. На основе изложенной методики развит вычислительный ДЕМОС. Применение данной вычислительной модели показано для случая местоположения АЭС »Превлака« и уже сооруженной АЭС »Кршко«.

Naslov pisaca:

mr Jure Ćurković, dipl. ing.
Vladimir Jelavić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis 1983—11—07.

PROJEKT

INA-PROJEKT, Radna organizacija za istraživanje, inženjering i izgradnju postrojenja i objekata sa n. sol. o. OOUR-a u sastavu SOUR-a INA-Industrija nafte, Zagreb,

Proleterskih brigada 78. Telefon 533-444 Telex 22228

INA-PROJEKT je nastao 1983. god. integracijom dviju poznatih radnih organizacija inženjerske djelatnosti, tj. INA-INŽENJERING-a, Zagreb, Proleterskih brigada 78, osnovanog 1967, godine i INDUSTRO-PROJEKT-a, Zagreb, Savska cesta 88a, osnovanog 1951. godine, te je tako postao jedna od najvećih inženjering organizacija u SFRJ. Kolektiv INA-PROJEKT-a obuhvaća preko 1400 iskusnih radnika raznih specijalnosti od kojih je preko 40% sa visokom stručnom spremom, dok je i većina ostalih sa višom ili srednjom stručnom spremom.

Organizaciono INA-PROJEKT se sastoji od tri OOUR-a i jedne Radne zajednice:

OOUR — Inženjering (oko 1050 uposlenih)
OOUR — Proizvodnja i razvoj specijalne opreme (oko 100 uposlenih)
OOUR — Kompleksna geološka istraživanja (oko 100 uposlenih)
RZ — Radna zajednica (oko 200 uposlenih) obavlja zajedničke poslove za sve OOUR-e kao što su financijski, planski, pravni, kadrovski i drugi opći poslovi.

OOUR — INŽENJERING, Proleterskih brigada 78, Zagreb

Izrađuje i nudi za naftnu, petrokemijsku i kemijsku industriju, za industriju obojenih metala, za energetske objekte:

— Predinvesticijsku dokumentaciju, kao što su studije procesa, tržišta, lokacije itd., te kompletne investicijske programe.
— Projektnu i izvedbenu dokumentaciju
— Nabavku opreme i materijala.
— Organizaciju, planiranje i nadzor pri izgradnji.
— Specijalne usluge pri izgradnji.
— Obuku kadrova, puštanje u pogon, predaja postrojenja.
— Izgradnju objekata »pod ključ«.

OOUR — PROIZVODNJA I RAZVOJ SPECIJALNE OPREME, Savska cesta 88a, Zagreb

Proizvodi i nudi:

— Razne vrste ventila, redukcione i mjerne plinske stanice.
— Pumpne stanice, vakum pumpe.
— Instalacije za loženje u manjim industrijama, zgradama i slično.

OOUR — KOMPLEKSNA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA, Savska cesta 88a, Zagreb

Obavlja:

— Opće geološke istrage
— Istraživanja na mineralne sirovine
— Istraživanja energetskih izvora
— Hidrogeološka istraživanja
— Inženjersko-geološka i geotehnička istraživanja.

ULOGA NEKONVENCIONALNIH IZVORA ENERGIJE U ENERGETICI JUGOSLAVIJE

Vesna Boinović - dr Slobodanka Trbojević, Zagreb

UDK 620.9
PREGLEDNI RAD

U radu je prikazan način iskorištavanja nekonvencionalnih izvora energije interesantnih za Jugoslaviju. Posebna je pažnja posvećena mogućnostima korištenja sunčane energije kojoj pripada najveći udio u ukupnom energetskom potencijalu nekonvencionalnih izvora.

Ključne riječi: nekonvencionalni izvori energije, energetika Jugoslavije, sunčana energija

UVOD

Energija je značajan faktor ekonomskog razvoja i dalekosežno utječe na uvjete i mogućnosti ukupnog ekonomskog razvoja svake zemlje. Otuda proizlazi potreba intervencije u području energetike sredstvima energetske politike. Energetska politika je skup ciljeva, zadataka i mjera koji se poduzimaju u sklopu privredne politike u istraživanjima i razvoju, pridobivanju[1], distribuciji i korištenju energije s namjerom se privredni i ukupni društveni razvoj podrži dovoljnim količinama stalno dostupne energije uz što niže cijene (1).

U pravilu se primarni oblici energije[2] ne mogu upotrebljavati u svom prirodnom obliku, već se transformiraju u oblike pogodne za primjenu, ekonomičnije korištenje i transport. Krajnji korisnik primljenu energiju prevodi u neki od korisnih oblika energije: toplinsku, mehaničku, rasvjetnu ili kemijsku energiju (2).

Često se u energetici koristi podjela primarnih izvora energije na konvencionalne i nekonvencionalne. Takva podjela je fleksibilna i uvjetovana je stupnjem tehničkog i tehnološkog razvoja energetike te stanjem rezervi primarnih izvora energije. Konvencionalni primarni oblici energije jesu:

— drvo, treset, ugljen, nafta, uljni škriljevci i zemni plin[3]
— vodne snage, tj. potencijalna energija vodotokova
— nuklearna goriva na bazi fisije $^{235}_{92}U$ i $^{232}_{90}Th$.

U nekonvencionalne primarne oblike energije ubrajaju se:

— energija zračenja Sunca (koja se neposredno iskorištava)
— energija zračnih strujanja
— geotermalna energija (unutrašnja energija Zemlje, koja se pojavljuje ili ne pojavljuje na površini Zemlje)
— energija plime i oseke
— unutrašnja energija mora (iskorištavanje razlike u temperaturi mora na površini i unutrašnjosti)
— energija morskih valova
— nuklearna goriva na bazi fuzije lakih atoma.

Energetika i energetska politika čine osnovu svake industrijske proizvodnje, visokoproduktivne poljoprivrede, osobnog standarda stanovništva i nezavisnosti, a time i sigurnosti države. Potrošnja energije po stanovniku jedno je od najpouzdanijih mjerila materijalnog stupnja razvoja društva. Visok koeficijent korelacije između dinamike privrednog razvoja i porasta potrošnje energije uvjetovan je, između ostalog, i činjenicom da najveći dio prirasta proizvodnje dolazi zbog sve bolje opremljenosti proizvođača sredstvima rada pokretanim mehaničkom energijom.

Mogući razvoj svjetske energetske situacije istražuje se i analizira u obliku složenih energetskih scenarija baziranih na proračunima koji obično uključuju ekstrapolaciju prošlog razvoja tokova energetike i tehnologije, zalihe energetskih izvora, dinamiku rasta stanovništva i niz drugih faktora. Međutim, potrebno je računati i s nepoznanicama kao što su npr. potpuno nova nepredvidiva znanstveno-tehnološka otkrića ili moguće klimatske katastrofe do kojih bi moglo doći u sljedećem stolje-

---

[1] Sa stajališta prvog zakona termodinamike, koji kaže da se energija ne može ni proizvesti, ni izgubiti, već samo transformirati, pravilno je umjesto termina proizvodnja i potrošnja energije upotrebljavati termine pridobivanje i korištenje energije.

[2] Nazivaju se još izvori energije ili primarna energija: drvo, ugljen, nafta, zemni plin, nuklearna goriva, vodne snage, plima i oseka, morski valovi, zračna strujanja, geotermalna energija i energija zračenja Sunca.

[3] Ova grupa se često naziva gorivima.

ću zbog tzv. efekta staklenika koja bi mogla izbaciti iz upotrebe fosilna goriva.

Godine 1981. objavljeni su rezultati opsežnih istraživanja poznatog Međunarodnog instituta za primijenjenu sistematsku analizu[4] u Austriji, koji vjerojatno predstavljaju najrealnije procjene što se danas mogu učiniti (3). S obzirom na brojne neodređenosti na području svjetske energetike izrađena su dva scenarija: »brzog« i »sporog« rasta. U optimističkijem scenariju brzog rasta pretpostavljeno je da bi se društveni proizvod udvostručio do 2000. godine, ali da će omjer društvenih proizvoda između visokorazvijenih zemalja i zemalja u razvoju ostati nepromijenjen. Početna godina u analizi bila je 1975. a završna 2030. Pretpostavljeno je da će se stanovništvo udvostručiti do 2030. U tablici 1. pokazan je udio pojedinih energetskih izvora za 1975, 2000. i 2030. po oba scenarija.

Tablica 1.

Godišnja svjetska potrošnja energije (3)

(Podaci u 10^{18} J)

Izvor energije	1975.	2000.		2030.	
		brzi rast	spori rast	brzi rast	spori rast
nafta	120,75	184,8	149,1	214,2	157,5
zemni plin	47,25	97,65	79,8	187,95	109,2
ugljen	71,4	155,4	122,85	375,9	202,65
konvencionalna nuklearna energija	4,2	53,55	39,9	100,8	59,85
oplodna nuklearna energija	0	1,05	1,05	153,3	100,8
hidroenergija	15,75	26,25	26,25	46,2	46,2
Sunčeva energija	0	3,15	3,15	15,75	9,45
ostalo	0	7,35	5,25	25,2	16,8
ukupno	259,3	529,2	426,3	1119,3	702,45

Iz tablice je vidljivo da se u sljedećim desetljećima očekuje rast potrošnje svih primarnih izvora energije, ali s različitim brzinama. Udio nafte[5] bi se smanjivao, a udio ugljena bi se povećao. Pretpostavka je da se veći dio ugljena trošio za proizvodnju umjetnih tekućih goriva tzv. umjetne nafte. Najveći porast očekuje se u primjeni nuklearne energije dobivene iz breeder-reaktora (oplodna nuklearna energija). Prema tom scenariju svi ostali izvori enrgije, uključivši tu i obnovljive izvore energije, sudjelovali bi samo sa oko 10%. Ostvarivanje energetskog scenarija MIPSA povezano je sa znatnim ekonomskim ograničenjima. Prema njemu zemlje u razvoju bi do 2000. trebale ulagati tri puta veći dio društvenog proizvoda od današnjeg da bi samo održale veličinu današnjeg privrednog jaza između visokorazvijenih zemalja i zemalja u razvoju.

[4] Dalje u tekstu MIPSA.

[5] Danas je gotovo sva nafta proizvedena konvencionalnim putem. Scenarij predviđa da bi udio konvencionalne nafte u 2000. iznosio 74%, a u 2030. samo 31%, dok bi ostalo bila nafta proizvedena iz uljnih škriljevaca ili likvefakcijom ugljena.

Energetska situacija u Jugoslaviji velikim dijelom ima karakteristike sadašnje energetske situacije u većini svjetskih zemalja, tj. pojavu deficita u energetskim bilancama, pojačanu potražnju za tekućim i plinskim gorivima i stalan porast potrošnje energije. S obzirom na nedovoljnu količinu energije dobivene iz domaćih izvora, karakteristika je potrošnje energije u Jugoslaviji određena ovisnost o uvozu energije.

Predviđa se da će se ukupna potrošnja i udio vlastitih izvora u opskrbi energijom u razdoblju 1985—2020. kretati prema podacima prikazanim u tablici 2, a specificiran prema vrstama primarnih izvora energije na način prikazan u tablici 3. Budući da ne postoji dugoročna procjena razvoja društvenog proizvoda, jer se radi o dugoročnom predviđanju, promatrani razvoj potrošnje energije i udio vlastitih izvora u opskrbi energijom promatran je uz sljedeće pretpostavke o razvoju društvenog proizvoda. U prvoj varijanti računa se s malim porastom društvenog proizvoda, koji u cijelom promatranom razdoblju nije veći od 3,5%. Druga varijanta koja se može nazvati poželjnom računa u početku s postepenim povećanjem stope porasta društvenog proizvoda koja bi 1990. dostigla iznos od 5% godišnje, ali s postepenim smanjenjem do kraja promatranog razdoblja (4).

Tablica 2.

Potrebna energija i udio vlastitih izvora u opskrbi Jugoslavije energijom (4)

	Potrebna energija (u 10^6 t ekv. ugljena[6])		Udio vlastitih izvora %	
	Varijanta		Varijanta	
	prva	druga	prva	druga
1985.	57,91	59,17	65,4	64,7
1990.	70,03	73,15	74,5	74,4
1995.	84,56	94,44	81,1	81,0
2000.	102,02	119,34	83,5	82,9
2010.	147,31	181,43	79,3	74,0
2020.	210,00	264,92	70,3	65,5

Iz dosada pokazanih predviđanja vidljive su svagdje prisutne rastuće potrebe za energijom, pa se s obzirom na ograničenost i nedostatnost postojećih konvencionalnih izvora energije može očekivati i sve veća orijentacija na iskorištavanje nekonvencionalnih izvora energije.Sunčeva energija, geotermalna energija, energija vjetra, energija plime i oseke i energija morskih valova posebno su zanimljive s obzirom na mogućnost rješavanja energetskih problema, jer se one obnavljaju u prirodi, što istovremeno znači da su praktično neiscrpive. Realno je očekivati da će se obnovljivi izvori koristiti samo u određenim područjima pogodnima za njihovo ekonomično korištenje, što znači da su razmjeri njihova korištenja dosta ograničeni.

Jedna od zadaća koje se postavljaju pred energetičare Jugoslavije jest mobilizacija svih mogućih

[6] Tona ekv. ugljena sadrži enrgiju od 29,307 GJ.

Tablica 3.

Projekcije kretanja potrošnje pojedinih izvora energije u Jugoslaviji u razdoblju 1985—2020. (4)

(Podaci u %)

	Varijanta	Sve vrste ugljena	Sirova nafta	Zemni plin	Vodne snage	Nukl. gorivo	Ogrijevno drvo	Nekonv. oblici
1985.	V_1	40,3	41,9	7,8	6,4	1,3	2,3	—
	V_2	40,3	41,9	7,8	6,4	1,3	2,3	—
1990.	V_1	44,6	34,7	10,7	6,7	1,1	2,2	—
	V_2	45,6	34,2	10,4	6,5	1,1	2,2	—
1995.	V_1	48,8	28,5	11,5	6,7	2,3	2,0	0,2
	V_2	51,5	27,2	11,1	6,0	2,2	1,8	0,2
2000.	V_1	49,3	25,7	12,4	6,5	3,8	1,6	0,7
	V_2	52,3	24,5	11,6	5,6	3,8	1,5	0,7
2010.	V_1	54,2	23,9	10,4	4,7	4,4	1,3	1,1
	V_2	48,7	24,6	10,7	3,8	9,8	1,2	1,2
2020.	V_1	45,7	25,4	9,8	3,3	12,5	1,0	2,3
	V_2	39,3	25,2	9,3	2,6	20,4	0,9	2,3

nekonvencionalnih izvora energije kako bi se, što je više moguće, smanjila ovisnost o uvozu energije i otvorile mogućnosti trajnih, ekonomski i ekološki povoljnih rješenja energetskih poteškoća.

U ovom radu pokazani su osnovni principi primjene onih nekonvencionalnih izvora energije koji se već iskorištavaju u Jugoslaviji, kao i onih koji još nisu našli komercijalnu primjenu, ali se s njihovim potencijalima može računati.

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA NEKONVENCIONALNIH IZVORA ENERGIJE U JUGOSLAVIJI

1. Sunčeva energija

Danas se u svijetu među nekonvencionalnim izvorima enrgije naveće značenje pridaje iskorištavanju energije Sunčeva zračenja. Pri tome se misli na neposredno energetsko iskorištavanje Sunčeva zračenja koje predstavlja njegovo iskorištavanje u trenutku kada stigne do površine Zemlje[7]

U našoj zemlji od nekonvencionalnih izvora energije za sada se znatnije iskorištava samo energija Sunčeva zračenja, pa je u ovom radu taj izvor energije i opširnije prikazan.

Prednost je Sunca kao izvora energije prije svega što ono predstavlja obnovljiv izvor, praktično neograničen i vremenski i kvantitativno, ne daje nikakve ekološki štetne proizvode, ne nosi mogućnosti opasnih incidenata i na kraju predstavlja svakom dostupan i neotuđiv izvor energije (5).

Ne ulazeći u teorije o porijeklu sunčeve energije[8], navodeći samo da je ona rezultat spajanja (fuzije) lakih atomskih jezgara u teže tzv. termonuklearnih reakcija kod temperature koje dosežu i nekoliko milijuna K i desetke milijardi MPa. Važno je istaći da je za praktično iskorištavanje sunčeve energije u prvom redu potrebno poznavati Sunčevu konstantu.

Sunčeva konstanta definirana je kao snaga (W) Sunčeva zračenja na ulasku u Zemljinu atmosferu koja dospijeva na jedinicu površine (m^2) normalne na Sunčevo zračenje i na srednjoj udaljenosti između Sunca i Zemlje. Vrijednost Sunčeve konstante iznosi 1353 W/m^2. Snaga koja stiže na površinu Zemlje umanjena je za dio zračenja koje se reflektira od atmosfere (34%) i za dio koji se u njoj apsorbira (19%). Također, prispjela snaga ovisi i o kutu pod kojim Sunčeve zrake prolaze kroz atmosferu u meteorološkim uvjetima i zagađenosti atmosfere. U tablici 4. sadržani su podaci o mogućim gubicima Sunčeva zračenja ovisno o tim uvjetima.

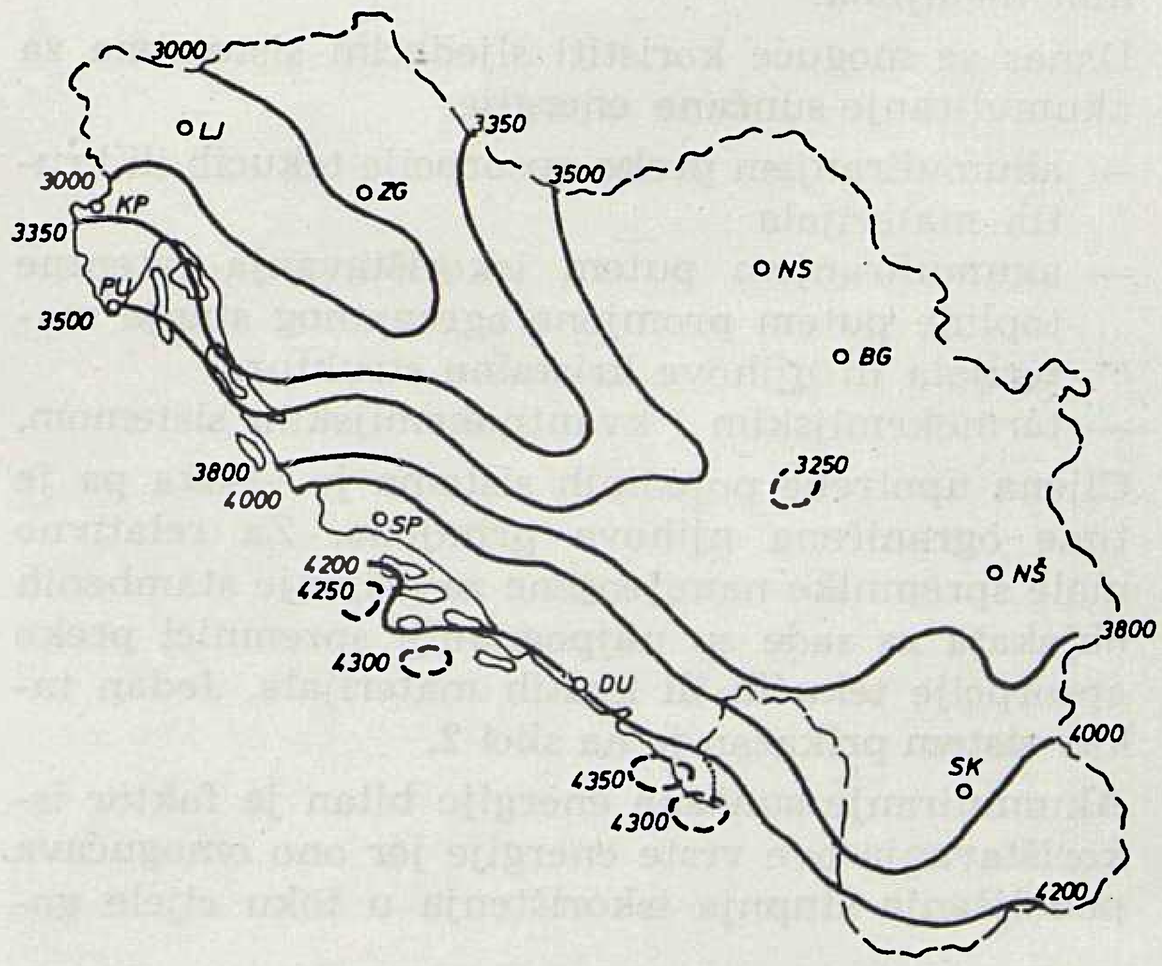
Tablica 4.

Gubici Sunčeva zračenja pri prolasku kroz suhu i čistu atmosferu u ljetnom i zimskom periodu (2)

(Podaci u W/m^2)

Gubici	Neposredno nakon izlaska Sunca	U podne ljetno razdoblje	U podne zimsko razdoblje
zbog raspršivanja	600	140	240
zbog apsorpcije	300	90	120

Na slici 1. pokazani su podaci o srednjim godišnjim sumama ukupnog Sunčeva zračenja u Jugoslaviji. Tehnološke mogućnosti korištenja raspoloživog Sunčeva zračenja svode se na pretvorbe ili konverzije u tri oblika energije:



Slika 1. Srednje godišnje sume ukupnog zračenja Sunca u Jugoslaviji (Wh po m^2 i danu) (2)

[7] Djelovanjem Sunčeva zračenja nastala je većina oblika energije: fosilna goriva, vodne snage, toplina mora, a stalno se obnavlja energija vjetra i morskih valova, tako da su to zapravo energije dobivene posredstvom Sunca.

[8] Knjiga B. Lalovića, **Nasušno Sunce,** Nolit, Beograd, 1982. najcjelovitije je djelo o primjeni sunčane energije i sadrži sve važnije podatke koji se odnose na principe i načine njezina korištenja.

— toplinsku konverziju
— električnu konverziju
— biokemijsku konverziju.

1.1. *Toplinska konverzija*

Sada se najuspješnije obavlja pretvorba sunčane energije u toplinu. Pri tome se mogu postići temperature i do 3 500 °C. Međutim, najveću su primjenu našli uređaji koji rade na temperaturama ispod 100 °C. Te niže temperature se u pravilu najčešće traže i koriste kako u svakodnevnom životu, tako i u mnogim industrijskim procesima. U tom načinu primjene može se postići stupanj iskorištenja sunčane energije do 80%.

Toplinska konverzija sastoji se u tome da se dozračena energija u pojedinim tijelima apsorbira, reflektira i dijelom prolazi kroz zračeno tijelo. Apsorbirana energija pretvara se u toplinu. Različita je mogućnost apsorpcije pojedinih materijala i najbolje se vrši preko tamnih metalnih površina. Povišenje temperature može se postići ako se ploha izložena zračenju zaštiti staklom ili prozirnom folijom od plastičnog materijala koji praktički potpuno propuštaju Sunčeve zrake do plohe. Ti materijali nepropustljivi su za infracrvene zrake većih valnih dužina koje emitira zračenjem zagrijana ploha. Uređaj u kojem se taj proces događa zove se kolektor ili prijemnik sunčane energije. Prema konstrukciji kolektori se dijele na dvije osnovne vrste — ravne i fokusirajuće, od kojih svaki ima više idejnih i konstruktivnih rješenja[9].

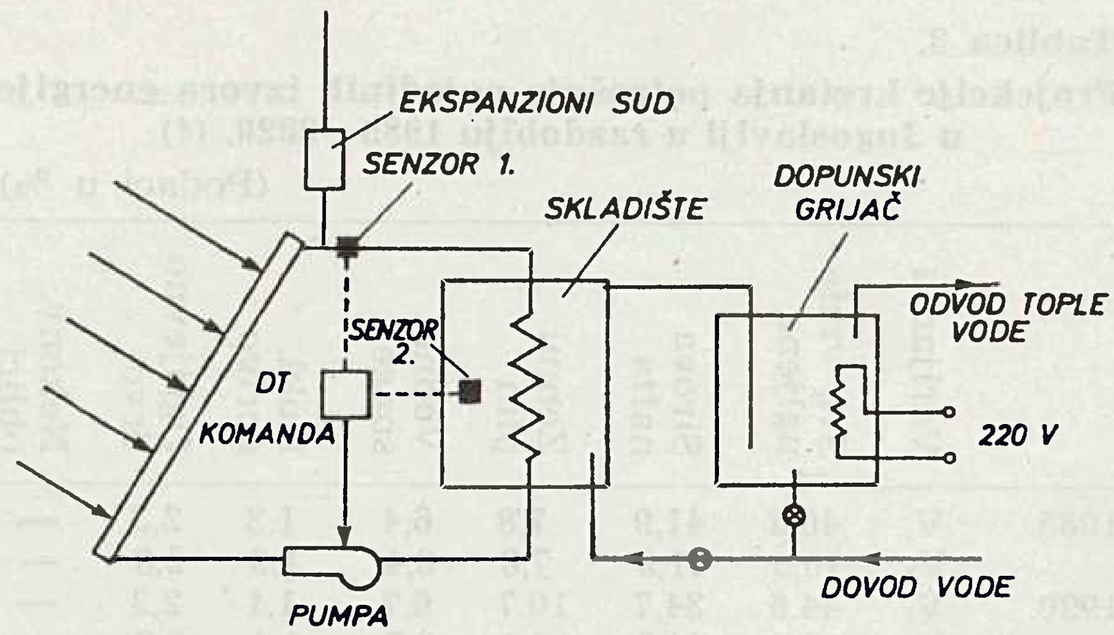
Budući da se Sunčevo zračenje apsorbira s prekidima i varira u intenzitetu, potrebno je kapacitete kolektora projektirati tako da se dio topline odmah koristi, a dio akumulira za razdoblje kada Sunčevo zračenje prestaje ili slabi. Toplina se akumulira u izoliranim spremnicima (rezervoarima) na određenim medijima.

Danas se moguće koristiti sljedećim sistemima za akumuliranje sunčane energije:

— akumuliranjem preko apsorpcije tekućih ili krutih materijala
— akumuliranjem putem iskorištavanja latentne topline putem promjene agregatnog stanja materijala ili njihove kristalne strukture
— termokemijskim i kvantnokemijskim sistemom.

Cijena upotrebe pojedinih sistema je visoka pa je time ograničena njihova primjena. Za relativno male spremnike namijenjene za grijanje stambenih objekata za sada su najpogodniji spremnici preko apsorpcije tekućih ili krutih materijala. Jedan takav sistem prikazan je na slici 2.

Akumuliranje sunčane energije bitan je faktor iskorištavanja ove vrste energije jer ono omogućava poboljšanje stupnja iskorištenja u toku cijele godine, čime se povećava cjelokupna efikasnost postrojenja za iskorištavanje energije Sunčeva zračenja. Cijena koštanja sunčane energije u tehnici grijanja u velikoj mjeri ovisna je o odnosu površine kolektora i toplinskog spremnika. Njihov odnos uvjetovan je rasporedom sunčanih dana u toku sezone grijanja i ako je optimalan, omogućava najekonomičnije korištenje.



Slika 2. Sistem za zagrijavanje vode (5)

Volumen spremnika[10] ovisi o potrebnoj rezervi topline. Povećanje volumena dovodi do povećanja troškova investicije, što smanjuje ekonomičnost, ali s druge strane i potrebe za energijom iz dodatnog sistema. Broj dana koje može pokriti akumulirana toplina izračunavamo relacijom (6):

$$n = \frac{Q_{ak}}{Q_{gr} + qg} - \quad \text{(dana)},$$

gdje je:

n = broj dana koje može pokriti akumulirana toplina,
Q_{ak} = kapacitet spremnika (Wh),
Q_{gr} = potrebna dnevna količina topline za grijanje (Wh),
qg = toplinski gubici u instalaciji

Površinu kolektora ovisno o broju dana koje poriva akumulirana toplina određujemo jednadžbom:

$$A = \frac{Q_{gr} \cdot (n + 1) + qg}{E_{sr} \cdot \eta k \cdot t} \quad (m^2)$$

gdje je:

A = potrebna površina kolektora (m^2),
Q_{gr} = potrebna dnevna količina topline za grijanje (Wh),
n = broj dana koje pokriva akumulirana toplina,
qg = toplinski gubici u instalaciji,
E_{sr} = jačina Sunčeva zračenja (W/m^2),
ηk = korisni koeficijent kolektora,
t = prosječan broj sati u danu za određeni mjesec.

[9] U navedenoj knjizi B. Lalovića detaljno su opisani kolektori koji se nalaze u široj primjeni i njihove potencijalne prednosti.

[10] Aproksimativno se računa da je po m^2 stana potreban volumen spremnika od oko 0,04 m^3, za jedan dan grijanja ako je temperatura vode 65°C (2).

Dakle, optimalno rješenje parametara[11] kolektora i spremnika povećava ekonomičnost i racionalnost instalacije i smanjuje cijenu jedinice iskorištene sunčane energije.

Za posrednu konverziju sunčane energije u električnu energiju koriste se solarne termoelektrane. Riječ je o termodinamičkoj konverziji koja predstavlja višestruko pretvaranje: prvo se energija Sunčeva zračenja pretvara u toplinsku energiju (za što se koriste kolektori za postizanje visokih temperatura), a zatim se dobivena vodena para termodinamičkim procesom preko turbina i generatora koristi za proizvodnju električne energije. Stupanj iskorištenosti Sunčeve energije u solarnim elektranama kreće se od 10 do 15%.

Najveći tehnički problem solarnih termoelektrana predstavlja prijemnik velikih razmjera koji treba apsorbirati koncentrirano Sunčevo zračenje koje se u obliku topline prenosi na radni fluid (vodu, pregrijanu paru, rastaljene soli ili metal ili plinove, npr. zrak i helij). Drugi važan problem jest skladištenje topline na duži rok. O njegovu uspješnom rješenju prvenstveno ovisi da li će solarne termoelektrane postati pouzdan i stalno moguć izvor električne energije.

Za sada su cijene električne energije proizvedene u solarnim elektranama više od ekonomski prihvatljivih jer se radi o eksperimentalnim postrojenjima. Cilj je postići konkurentne cijene električne energije dobivene u solarnim elektranama cijenama električne energije dobivene iz termoelektrana s fosilnim gorivima.

I na kraju, može se reći da je toplinska konverzija u praktičnoj primjeni danas i ekonomski najprostudiraniji oblik primjene Sunčeve energije.[12]

1.2. *Električna konverzija*

Direktnu pretvorbu Sunčeva zračenja u električnu energiju predstavlja tzv. fotonaponska konverzija pomoću solarnih ćelija. Solarne ćelije koriste se već treće desetljeće kao solarni generatori električne energije za posebne svrhe, među kojima je naročito značajna njihova primjena u opskrbi satelita električnom energijom.

Solarna ćelija je uređaj koji se temelji na poluvodičkom p-n spoju koji se bazira na kvantim procesima u čvrstom stanju.

Interesantno je spomenuti da je veliki jugoslavenski učenjak Nikola Tesla predvidio tu mogućnost korištenja Sunčeva zračenja. Još 1922. Tesla je rekao: »Celokupna energija — talasi okeana, tok reka, vetar, kiše, grad, sneg — sve su to proizvodi Sunca. Mi čak upotrebljavamo flaširanu sunčevu energiju u obliku uglja i nafte, ali ipak, rasipanje Sunčeve energije još nije zaustavljeno. A računice pokazuju da sunčeva energija samo na prostoru od jedne kvadratne milje odgovara snazi od milion konjskih snaga koju bismo mogli da pretočimo u turbine. U vezi s time, nauka će u budućnosti rešiti mnogo komplikovanije zadatke, kao npr. stvaranje mašine koja će električnu energiju dobijati direktno od Sunca«.

Pronalazak i primjena solarnih ćelija sigurno se može ubrojiti među najgenioznije izume čovječanstva. Taj uređaj nema pokretne dielove i u primjeni ne daje nikakve otpadne materijale pa se može očekivati da u budućnosti postane izvor neiscrpivih količina energije. Korištenje Sunčeva zračenja pomoću solarnih ćelija ima sljedeće prednosti:

- teoretski neograničen, tj. praktično izuzetno dug vijek trajanja solarnih ćelija
- praktički ne gube nikad sposobnost pretvorbe sunčane energije u električnu
- mijenjanje pojedinih dijelova nije potrebno jer ne teče nikakav mehanički proces niti nastaje trošenje materijala trenjem
- njihovo održavanje vrlo je jednostavno
- iskorištavaju neposredno i difuzno zračenje pa mogu proizvoditi električnu energiju u toku cijele obdanice
- ne postoje bilo kakvi produkti koji bi zagađivali okolinu
- solarnim ćelijama može se postići snaga od vrlo velike do vrlo male, jer je dovoljno povećati ukupnu površinu ćelija, a nije potrebno koncentrirati zračenje,
- stupanj iskorištenja Sunčeve energije u komercijalno prihvaćenim solarnim ćelijama iznosi 12 do 16%.

Jedini je nedostatak solarnih ćelija visoka cijena njihove proizvodnje, ali se danas u cijelom svijetu ulažu veliki napori da se pojednostavi njihova proizvodna tehnologija i snizi cijena. Međutim, važnije od trenutne cijene električne energije dobivene pomoću solarnih ćelija jest njezin trend, a on je veoma povoljan. Cijene solarnih ćelija stalno se smanjuju: predviđa se da će one od sadašnjih 6 US $/W vršne snage do 1986. opasti na oko 1 US $/W . Tržište je upravo ponudilo ćelije od semikristalnih[13] traka sa stupnjem iskorištenja od 12%, površine 200 cm² i cijene nekoliko US $/W vršne snage. U toku je izgradnja potpuno automatiziranih tvornica za proizvodnju ovih ćelija, pa se očekuje da će njihove cijene u naredne 2—3 g. pasti na 1 US $/W, što prema ekonomskim analizama postaje rentabilno, uz uvjet da je takva elektrana ukopčana i na dodatni energetski sistem (8).

---

[11] Prosječni kapacitet spremnika s vodom iznosi 0,5 m $^3/m^2$ kolektora (prema tome bi stan ukupne površine 100 m² imao površinu kolektora od 40 m² i spremnik od 20 m³ (7).

[12] Primjer ekonomske analize koji se odnosi na identifikaciju troškova i ekonomičnost sistema za toplinsku konverziju Sunčeva zračenja može se naći u literaturi: P. Novak, **Sunčeva energija 1,** br, 2, Rijeka, 1979.

[13] Jeftinija vrsta silicijeva kristala.

1.3. *Biokemijska konverzija*

Dio Sunčeve energije koji dospijeva na površinu Zemlje (0,1 — 0,3%) putem asimilacije pretvara se u energiju biomasa. Biljke fotosintezom sintetiziraju $2 \cdot 10^{11}$ t biomase godišnje, od čega se samo 1,2% utroši za hranu, 1% za papir i celulozna vlakna i 1% za gorivo, dok više od 96% biomase ostaje neiskorišteno. Mnogi istraživački radovi pokazali su da je u raznim podnebljima moguće odabrati pogodne brzorastuće biljke koje ne zahtijevaju gotovo nikakvu obradu zemljišta niti posebna gnojiva, a mogu dati dovoljan prinos da bi njihova eksploatacija kao gorivog materijala za termoelektrane bila ekonomična. Tom zahtjevu najviše odgovara alga Chlorella, koja se može gajiti svuda u svijetu, a pretežno u morima. Smatra se da se može dobiti oko 100 t po hektaru godišnje (9). Postoje i prijedlozi za uzgajanje »energetskih biljaka« na velikim plantažama i preradu njihove mase u energetski pogodno gorivo. Takve biljke su npr. Eucaliptus, trava Sorghum vulgare i sl.

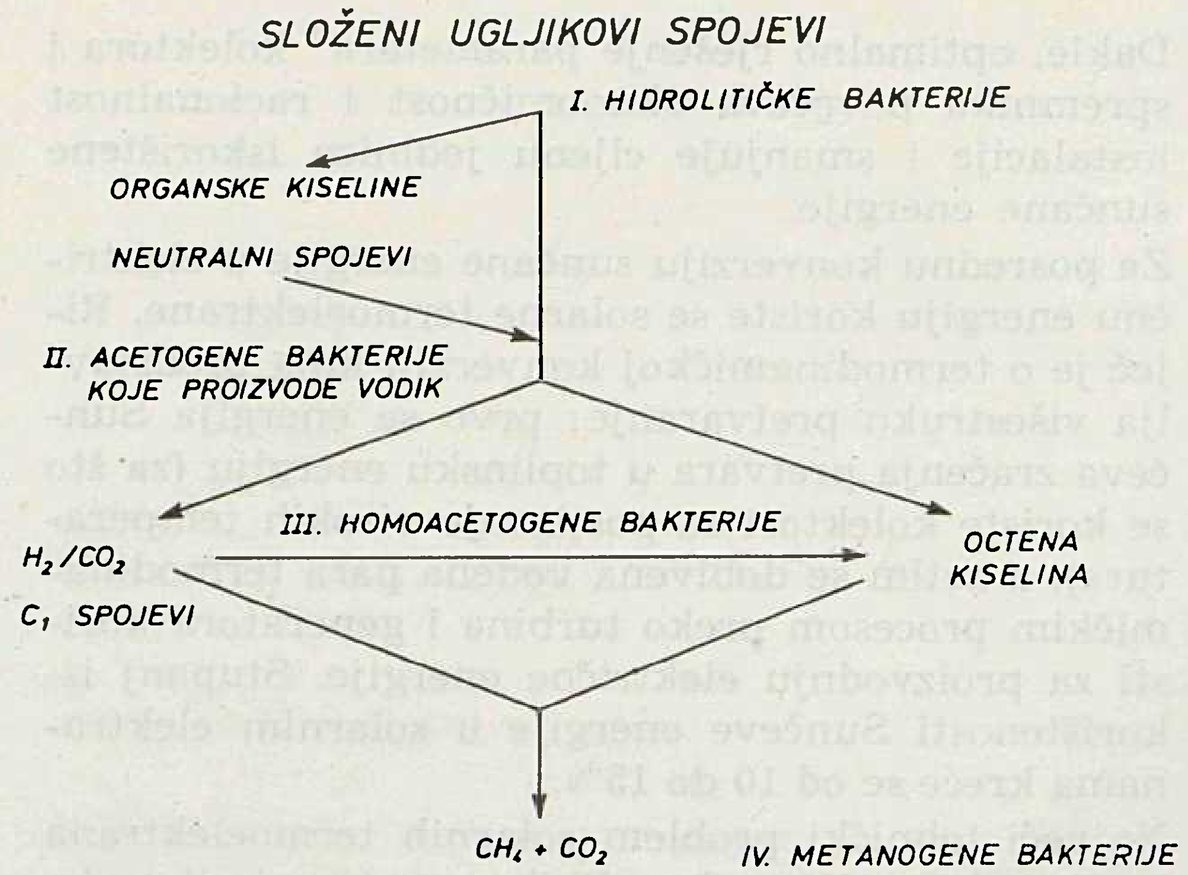
Transformaciju biomasa moguće je ostvariti na dva načina, ovisno o fizikalnom stanju biljnog materijala:

— termokemijskim putem, kod suhog materijala kao što su drvo, slama, iverje
— biokemijskim putem, koji je pogodniji za vlažne materijale.

Među termokemijskim postupcima najstariji i najčešće korišten postupak jest postupak izgaranja. Pri tome se ne misli na drvo, jer je ono važan industrijski i građevni materijal, već na ostatke pri obradi drva i poljoprivrednih proizvoda (iverje, slama i biljne stabljike). Od biokemijskih postupaka najvažniji je postupak metanizacije, tj. dobivanje metana anaerobnim vrenjem (fermentacijom bez zraka) životinjskih i biljnih otpadaka. Postupak uplinjavanja odvija se u zatvorenom prostoru bez prisutnosti kisika pri temperaturi između 10 i 40 °C.

Uspješna fermentacija organskog materijala u bioplin rezultat je kombinirane i kontrolirane metaboličke aktivnosti različite anaerobne mikrobne populacije koja se sastoji od četiri osnovne grupe bakterija, a teče u specifičnim bioreaktorima — digestorima prema shemi pokazanoj na slici 3.

Anaerobna fermentacija sastoji se od dvije uzastopne faze: faze kiselog i faze metanskog vrenja. Brzinu vrenja određuje druga faza, jer je rast metanogenih bakterija mnogo polaganiji od brzine rasta acetogenih bakterija. Zbog toga u sistemu uvijek postoji višak octene kiseline koja inhibira rast metanogenih bakterija. U takvom procesu po 1 kg otpadnog materijala može se dobiti 0,816 kg bioplina prosječne energetske vrijednosti od 25 MJ/m³, što odgovara energiji dobivenoj izgaranjem 0,6 kg nafte.



Slika 3. Shematski prikaz anaerobne razgradnje organskog materijala do metana (CH_4) i ugljik (IV)-oksida (CO_2) (22)

Bioplin može naći svoju primjenu:

— u direktnom izgaranju za grijanje: peći, radijatora ili posredstvom kotlovnice
— za proizvodnju tople vode za centralno grijanje
— za pogon dizel-motora
— za proizvodnju električne energije.

Osnovni nedostatak ovog načina iskorištavanja sunčane enrgije jest nizak stupanj iskorištenja. Iako se u samom procesu fotosinteze iskoristi oko 18% sunčane energije, kada se uzmu u obzir svi gubici vezani za transformacije i sezonu biljnog rasta, iskorištavanje energije biomasa ima jedinstvenu prednost jer su biomase kao sirovina neiscrpne, prije svega obnovljive, a njihovim energetskim korištenjem rješava se pitanje otpada, tj. osim energetskog značaja koritšenje biomasa ima i ekološko značenje jer ne zagađuje okolinu, a korisni otpad (mineralni ostatak) može se koristiti kao umjetno gnojivo.

Toplinska konverzija najčešći je oblik primjene sunčane energije u Jugoslaviji.

Što se tiče toplinske konverzije, prema analizama utvrđenim za turističke objekte na Jadranu, vrijeme amortizacije uloženih investicijskih sredstava iznosi 6 do 9 godina, ovisno o porastu cijena konvencionalnih goriva. Pri tome se za zagrijavanje potrošne vode koriste ravni kolektori koje u našoj zemlji proizvodi već oko petnaest proizvođača. Tako je 1980. proizvedeno 2 700 m² površina kolektora, 1981. 15 000 m², a za 1982. bilo je planirano proizvesti 33 000 m² površina kolektora (10). Cijena kolektora u nas, ovisno o proizvođaču, kreće se od 6 000 do 11 500 d/m² kolektora, a cijena kolektora instaliranog u čitav sistem iznosi oko 30 000 d/m² kolektora. Sljedeći najperspektivniji način iskorištavanja sunčane energije za naše uvjete sastoji se u primjeni sunčane energije za grijanje prostorija, što je moguće ili aktivnim ili pasivnim načinom. Pasivna solarna arhitektura ne zahtijeva primjenu

kolektora ili drugih uređaja, već se odnosi na dobar proračun izgradnje objekta, povoljan položaj u odnosu na Sunčevo zračenje i materijal koji smanjuje toplinske gubitke. Ovakvo pasivno iskorištavanje pogodno je jer nije uvjetovano brojem katova nekog objekta, niti su potrebna velika investicijska ulaganja (8, 10).

Aktivni način korištenja sunčane energije za grijanje prostorija zahtijeva ugradnju kolektora, kao i dodatni sistem za grijanje. Pri tome se kolektori smještaju na krov zgrade i zauzimaju 30 do 40% površine objekta.

Korištenje sunčane energije za proizvodnju električne energije primjenom solarnih termoelektrana kod nas se tek planira. U blizini Skopja predviđa se u 1983. (u suradnji s američkom tvrtkom ACUREX) izgraditi pokusno postrojenje instalirane snage od 350 kW. Ta pokusna solarna elektrana sastojala bi se od četiri podsistema: sunčanih kolektora (koncentratora), sistema za akumuliranje topline, parnog generatora i sistema za električnu distribuciju. Ovaj projekt značajan je ne samo sa gledišta izgradnje solarne elektrane, nego i sa gledišta razvoja vlastite industrije solarne tehnike.

Korištenjem sunčane energije u području industrijske primjene (koja osim topline u tehnološkom procesu troši i električnu energiju) mogle bi se postići znatne uštede konvencionalnih goriva. Pri tome je potrebno znati potrebnu površinu kolektora za pojedine industrijske grane. U tablici 5. dan je pregled potrošnje konvencionalnih goriva i električne energije godišnje te površine kolektora koje bi korištenjem energije Sunčeva zračenja zamijenile njihovu potrošnju. Da bi se zadovoljile energetske potrebe navedenih grana industrije, potrebna je ukupna površina kolektora od oko 80 km^2, pri čemu se podrazumijeva da se ta površina dijeli na veći broj malih solarnih elektrana smještenih na solarno povoljnim lokacijama. Površina od 47,9 · 10^6 m^2 kolektora koja bi zamijenila tekuće i plinsko gorivo navedenih industrija mogla bi uštedjeti godišnje oko 4 · 10^6 t nafte (11).

Tablica 5.

Primjena sunčanih uređaja u nekim industrijama u Jugoslaviji (11)

Grana industrije	Tekuće i plinsko gorivo	Površina kolektora	Elektr. energ.	Površina kolektora	Ukupna površina kolektora
	10^9 kWh	10^6 m^2	10^9 kWh	10^6 m^2	10^6 m^2
tekstilna	4,32	6	1,11	4,6	10,6
prehrambena	6,17	8,5	1,02	4,25	12,75
kemijska	7,8	10,8	3,08	12,8	23,6
papirna	4,3	5,9	1,12	4,66	10,56
građevnog materijala	12,07	16,7	1,13	4,7	21,4
Ukupno	—	47,9	—	31,01	78,91

Iskorištavanje energije biomasa (biokemijska konverzija) u nas je zastupljeno ali još uvijek ne na komercijalnom nivou. Naša zemlja raspolaže velikim količinama biomase; procijenjeno je da samo Vojvodina godišnje raspolaže sa oko 7 · 10^6 t raznih celuloznih otpadaka, čijim bi se iskorištavanjem moglo uštedjeti nekoliko stotina tisuća tona mazuta godišnje (12).

Biokemijskom transormacijom, tzv. anaerobnom fermentacijom u digestorima, godišnje bismo od 25—30 milijuna tona organskog otpada (izmet životinja kojim raspolažemo) dobili količinu bioplina koja odgovara količini od 1,3 do 1,5 milijuna tona ekvivalentne nafte[14].

Energetsko iskorištavanje Sunčeva zračenja u nas nailazi na razne ograničavajuće faktore: financijske, urbanističke, normativne, proizvođačke. Sunčana energija može dobiti značajniju ulogu u energetici samo onda ako se tom području da politička, društvena i fiskalna podrška, kakve su već uvele neke zemlje (SAD, Francuska, SR Njemačka), npr. uvođenjem beskamatnih dugoročnih kredita za izgradnju solarnih postrojenja i oslobađanjem od plaćanja poreza. Carinske olakšice primjenjuju se i u našoj zemlji, ali za sada u neznatnom opsegu. Također bi se ekonomičnost iskorištavanja sunčane energije uz izbor tehnologije mogla povećati standardizacijom i okrupnjavanjem proizvođačkih serija.

2. Geotermalna energija

Korištenje unutrašnje toplinske energije Zemlje (geotermalne enrgije) putem prirodnih geotermalnih izvora jedno je od najstarijih načina korištenja izvora energije.

Prema današnjim spoznajama temperatura u središtu Zemlje, udaljenom od površine 6 370 km, iznosi oko 6 000 °C. Povišenje temperature po km dubine ili tzv. temperaturni gradijent Zemljine kore uz samu površinu tla iznosi u prosjeku oko 30 °C/km i on se s udaljenošću od površine Zemlje postepeno smanjuje. Zbog neravnomjernog zagrijavanja različitih slojeva Zemljine kore među njima se odvija neprekidno izmjenjivanje topline.

S obzirom na termodinamičke i hidrološke karakteristike geotermalni energetski izvori dijele se u četiri grupe (2):

— hidrogeotermalna energija izvora vruće vode
— hidrogeotermalna energija izvora vodene pare
— hidrogeotermalna energija vrele vode u velikim dubinama
— petrotermalna energija vrućih i suhih stijena.

Budući da prirodno vođenje topline nije dovoljno za praktično iskorištavanje geotermalne energije, potrebno je iskoristiti ili prirodnu cirkulaciju vode ili stvoriti uvjete za takvu cirkulaciju: odvesti vodu s površine u dublje slojeve u kojima se ona

[14] t ekv. nafte sadrži energiju od 41,87 GJ.

ugrije i tako ugrijanu ponovno je dovesti na površinu.

Termalne vode često se izdvajaju kao najpogodniji izvor s obzirom na to da su široko rasprostranjene i da na nekim nalazištima mogu imati visok stupanj topline koji se povećava s povećanjem dubine. Karakterizira ih obnovljivost, tj. stabilnost toplinskog izvora pri uvjetima racionalnog korištenja.
Mali je broj nalazišta u kojima dominira vodena para jer se s povišenjem tlaka povećava temperatura isparavanja. Temperatura u nalazištu kreće se obično između 220 i 250 °C. Eksploatacija izvora vodene pare jednostavna je jer se ostvaruje bušenjem na pogodnim mjestima kroz koju će bušotinu para strujiti na površinu.

Općenito, geotermalna ležišta dijele se na niskotemperaturna (50—120 °C) i visokotemperaturna (120—250 °C). Malobrojnija su geotermalna ležišta visoke temperature i u svijetu uglavnom služe za proizvodnju električne energije. Niskotemperaturna izvorišta, zbog njihove niske temperature, neposrednu i ekonomičnu primjenu nalaze u poljoprivredi, ekstrakciji mineralnih sirovina, za tehnološke procese u industriji, za zagrijavanje prostorija, za rekreaciju i balneološke svrhe i drugdje. Upravo zbog mogućnosti iskorištavanja u neposrednoj blizini nalazišta, jer je transport vruće vode na velike daljine vrlo skup i povezan s gubicima energije, potenciran je lokalni značaj geotermalne energije.

Do danas nije tehnički riješen način iskorištavanja toplinske energije akumulirane u suhim stijenama, niti toplinske energije u vodi akumuliranoj u velikim dubinama. Da bi se iskoristila energija akumulirana u suhim stijenama, potrebno je na velikoj dubini razdrobiti suho stijenje i osigurati drobljenje[15] kroz cijeli vijek trajanja termoelektrane (25—30 godina). Dakle, ostaju na raspolaganju energetski izvori na manjim dubinama (do dubine od 3 km) i taj iskoristivi dio geotermalne energije iznosi nešto više od 7% ukupne geotermalne energije.

Energetsko iskorištavanje geotermalne energije samo s manjih dubina, iako je time reducirano iskorištavanje ove vrste energije, ima ove prednosti u odnosu na ostale izvore energije:

— stalnu raspoloživost geotermalnog energetskog potencijala
— neovisnost o godišnjem dobu i vremenu u danu.

Da bi korištenje geotermalne energije bilo ekonomski prihvatljivo, potrebno je ispuniti ova dva uvjeta:

— da budu utvrđene njene veće količine u Zemljinoj kori i
— da su te utvrđene količine pogodne za eksploataciju.

Prvi uvjet je prirodno dan, a pogodnost za eksploataciju je tehničko-ekonomski uvjet koji se mijenja u skladu s općim razvojem nauke, tehnike i ekonomike.
Faktori koji utječu na mogućnosti iskorištavanja geotermalne energije jesu:

— faktor rizika
— visoka investiciona ulaganja
— složenost vođenja procesa u površinskim instalacijama.

Svi ti faktori određuju se posebno za svaki slučaj, a sistemi se uglavnom, da bi se termički i ekonomski optimalno koristili, tehnički izvode uglavnom nestandardno.
Na današnjem stupnju razvoja u korištenju geotermalne energije pojavljuju se ove prepreke:

— heterogenost sustava Zemljine kore
— složenost tehničko-tehnoloških rješenja
— nizak stupanj iskorištenja
— trajna otpornost materijala energetske opreme prema utjecaju agresivnih sredina.

Zone s povišenim temperaturnim gradijentom pojavljuju se u svjetskom geotermalnom pojasu na kojem se nalazi i naša zemlja. Svojim povoljnim geografskim položajem Jugoslavija ima znatne geotermalne potencijale, koji još uvijek nisu dovoljno istraženi, ali postoje podaci na temelju bušotina načinjenih prilikom istraživanja nafte i plina. Otkrivene su određene lokacije s akumulacijama vode čije temperature dosežu vrijednost mogućeg ekonomičnog iskorištavanja. Na području naše zemlje postoji mnogo vrućih izvora, ali je njihova temperatura između 20 i 80 °C i dominiraju izvori temperature 30 do 35 °C, od kojih se stotinjak izvora iskorištava za balneološke i rekreativne svrhe, a neznatan dio za zagrijavanje staklenika.

Na temelju vrijednosti temperaturnih gradijenata u bušotinama za naftu i plin moguće je izvršiti sljedeću regionalnu geotermalnu podjelu. U području Hrvatske izdvajaju se tri karakteristična bazena:

— panonski sedimentni bazen s temperaturnim gradijentom 40—50 °C/km,
— Dinaridi s temperaturnim gradijentom 10—15 °C/km,
— jadransko podmorje s temperaturnim gradijentom 20—25 °C/km (13).

Posebno je interesantan panonski bazen zbog relativno visokog temperaturnog gradijenta koji iznosi: u dravskoj potolini 55 °C/km, murskoj potolini 50 °C/km i u savskoj potolini 45 °C/km (14)
Panonski sedimentni bazen ima karakteristike takvog geotermalnog područja gdje se mogu očekivati vode s temperaturama i preko 200 °C, ali ne i geotermalna polja na kojima bi se mogla proizvoditi para za proizvodnju električne energije. Panonski bazen zbog blizine potencijalnih korisnika (poljoprivredna i industrijska proizvodnja) ima povoljne mogućnosti za iskorištavanje geotermalne energije. Na području Podravine (između Ludbrega, Kopriv-

[15] S konvencionalnim načinom drobljenja ne može se računati, ali postoje mogućnosti drobljenja stijena hidrostatskim tlakom te nuklearnom eksplozijom, koje je još u fazi ispitivanja.

nice i Đurđevca) lociran je prostran karbonatni akvifer[16] na srednjoj dubini od 2 km s temperaturom vode od 100 do 120 °C i izdašnosti 100 m^3/h.
Na slavonskom području nalaze se akviferi s dobrim termalnim karakteristikama, ali s povišenim sadržajem otopljenih anorganskih soli, a time i promjenljivim rezervoarskim svojstvima zbog mogućnosti izdvajanja kamenca.
Osječki pješčanici debljine do 300 m imaju povoljne rezervoarske karakteristike s temperaturom višom od 70 °C.
Nedaleko od Koprivnice (Lunjkovec) nalazi se naše najperspektivnije ležište termalne vode. Volumen ležišta iznosi $3{,}2 \cdot 10^9$ m^3, gdje se pod tlakom od 1 500 kPa na ušću proizvodi 2 016 m^3 vode dnevno temperature 110 °C. Utvrđeno je da bi bušotina ovu količinu vode davala 6 do 7 godina uz pretpostavku da problem sadržaja mineralnih soli ne postoji.
Na području Srbije (bez pokrajina), prema do danas provedenim istražnim bušenjima za naftu, dobiveni su rezultati o temperaturnim gradijentima koji se povećavaju od juga prema sjeveru, k središnjem dijelu panonskog bazena (od 46 °C/km u čačanskom bazenu do 58 °C/km u Palanačkom Kiseljaku). U istočnoj Srbiji temperaturni gradijenti su niži i prosječno iznose 35 °C/km (15).
Istraživanja na području Vojvodine pokazala su da postoje četiri hidrogeološka sistema (I do IV) i da na tom području nema prirodnih pregrijanih para (od 175 °C i više) za proizvodnju električne energije. Hidrogeološki sistem I ima najveće značenje; sadrži vodonosne slojeve u velikim rezervama; malo mineralizirane vode izlazne temperature od 25—60 °C. Taj sistem pokriva područje gotovo cijele Vojvodine. Hidrogeološki sistem II nema naročito značenje zbog slabe propusnosti slojeva, nedovoljnih rezerva i povećane mineraliziranosti (do 15 g/l). U hidrogeološkom sistemu III vode su visoko mineralizirane (do 40 g/l i više). Tek bi s rješenjem načina deponiranja upotrebljive vode ili vraćanja vode u akvifer bila moguća njihova primjena, iako dospijevaju na površinu putem bušotina sa dubine preko 2 km i temperature više od 90 °C. Hidrogeološki sistem IV predstavljaju uglavnom stijene. Nije još dovoljno istražen, ali se pretpostavlja da su to vode s visokim stupnjem mineralizacije zbog hidrauličnе veze sa sistemom III (16).
Hidrogeološki sistem I ima najveće značenje jer se u njemu nalaze vodonosni slojevi u velikim rezervama malo mineraliziranih voda. Vode ovog kompleksa najmanje utječu na pojavu korozije, ne zagađuju okolinu i ne utječu na ekološke prilike. Očekuje se njihova primjena dijelom bez primjene izmjenjivača topline, a uz primjenu toplinskih pumpa može se povećati stupanj iskorištenja geotermalne energije i postići raznovrsnost primjene — od zagrijavanja stanova i komunalnih objekata do grijanja staklenika, sušenja poljoprivrednih proizvoda, u rekreacijske svrhe i dr.

[16] Termalno ležište.

Zagrijavanje poljoprivrednih kultura u staklenicima radi proizvodnje hrane može postati najadekvatnija primjena geotermalne energije u našoj zemlji. Geotermalne vode, čije su temperature u prosjeku od 50 — 110 °C, mogle bi se vrlo uspješno primjenjivati u izmjenjivačima topline. Tako bi se npr. pri unutrašnjoj temperaturi staklenika od 20 °C godišnje uštedjelo oko 200 kg nafte/m^2 njegove površine.
Za Zagrebački termalni akvifer, dubine 1 700—3 000 m, proračuni pokazuju da bi se iz ukupno 9 bušotina u toku cijele godine postigla ušteda od blizu 10 000 t nafte (tablica 6).

Tablica 6.

Geotermalna snaga dosada izrađenih bušotina na kontinentalnom području SR Hrvatske (17)

Bušotina	V m^3/dan	t °C	G MW
Stupnik	720	57	1,291
Lunjkovec	2 000	110	8,72
Bizovac	200	85	0,63
Zelina	300	50	0,435
Sisak	300	55	0,507
Virovitica	300	50	0,435
Kutnjak	2 000	110	8,72
Mladost — S	360	65	0,785
Mladost — ŠA	300	71	0,741
		Ukupno:	22,24

V = volumen vode
t = temperatura geotermalne vode
G = toplinski potencijal

Da bi se mogle iskorištavati termalne vode iz naših nalazišta, potrebno je riješiti niz tehnoekonomskih problema:
— odrediti optimalnu konstrukciju bušotine i način opremanja za eksploataciju
— riješiti način degazacije vode, tj. uklanjanje otopljenih plinova,
— utvrditi način sprečavanja nastajanja kamenca i sprečavanja korozije,
— riješiti način deponiranja velikih količina otpadnih mineraliziranih voda nakon upotrebe koje bi u protivnom utjecale na ekološke prilike
— naći način sabiranja i transporta vode
— primijeniti izmjenjivače topline i toplinske pumpe
— sagledati i odrediti ekonomske uvjete opravdanosti korištenja kako bi primjene mogle postati komercijalne.

3. Energija vjetra

Kao izvor energije energija vjetra korištena je već u samim počecima civilizacije. Za iskorištavanje energije potrebno je prvenstveno poznavati snagu i smjer vjetra.[17]

[17] Potrebne jednadžbe na temelju kojih se može izračunati iskoristiva snaga vjetra mogu se naći u knjizi: H. Požar, Izvori energije, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1980.

Raspoloživa kinetička energija vjetra transformira se u mehaničku pomoću uređaja koji se mogu svrstati u dva osnovna tipa:

— zračne turbine (vjetrenjače) s horizontalnom osi koje se danas uglavnom najviše primjenjuju i imaju lošu osobinu da osovina rotora treba uvijek biti paralelna s pravcem vjetra, koji stalno mijenja pravac pa je potrebno instalirati dodatni usmjeravajući uređaj
— vjetrenjače s vertikalnom osi, čija izgradnja je jednostavnija, ali imaju nedostatak da se počinju okretati tek pri većoj brzini vjetra.

Iskorištavanje energije vjetra u većem opsegu[18] moguće je samo konačnom transformacijom kinetičke energije vjetra u električnu energiju kada vjetrenjača pokreće električni generator. No, prije nego se pristupi eksploataciji energije vjetra potrebno je riješiti sljedeća pitanja:

— odrediti najbolju lokaciju (područja) za iskorištavanje ove energije
— utvrditi koliki je prirodni potencijal energije vjetra koji se tehnički može iskorištavati a da se pri tome osigura princip ekonomičnosti
— svladati tehničke probleme koje donose nepovoljni meteorološki faktori kao što su turbulencija vjetra te zaleđivanje turbina i transmisionih vodova
— riješiti način akumulacije enrgije zbog neregularnosti brzine vjetra.

Sva se iskoristiva snaga vjetra ne može transformirati u mehaničku i električnu energiju zbog gubitaka u vjetrenjači i električnom generatoru. Stupanj iskorištenja vjetrenjače iznosi 0,65 — 0,75, a stupanj generatora 0,80 — 0,85 tako da ukupni stupanj iskorištenja u tom sistemu iznosi nešto više od 34% ukupne energije vjetra (2).

Kada se energija vjetra iskorištava za pogon istosmjernog genratora, na njega se veže akumulatorska baterija koja se puni za vrijeme rada vjetrenjača i služi kao dopunski izvor električne energije za vrijeme malih brzina vjetra. Ako vjetrenjaču pokreće sinhroni generator, pogon je moguć samo u paralelnom radu s elektranama energetskog sistema. Uloga elektrane — vjetrenjače svodi se na štednju goriva u drugim elektranama. Iako elektrane — vjetrenjače neće utjecati na smanjenje gradnje drugih leketrana, uloga koju mogu imati u kombinaciji s drugim elektranama ne može se zanemariti. Pri takvoj ulozi elektrana — vjetrenjača ostale elektrane elektroenergetskog sistema trebaju biti spremne na promjene opterećenja i njihov udio u snazi svih elektrana elektroenergetskog sistema ne bi smio iznositi više od 10%. Osiguranjem akumuliranja energije elektrana — vjetrenjača njihov udio mogao bi se povećati. Prednosti energetskog iskorištavanja energije vjetra sastoje se i u relativno kratkom vrmenu postavljanja turbina pokretanih vjetrom, kao i u izostanku zagađenja okoline.

Program razvoja iskorištavanja energije vjetra usmjeren je na:

— izgradnju jediničnih kapaciteta vjetrenjača od 1 do 4 MW; to su elektrane — vjetrenjače koje se sukcesivno mogu uključivati u elektroenergetsku mrežu
— instaliranje manjih vjetrenjača od 2 do 40 kW za pokrivanje lokalnih potreba u izoliranim područjima bilo za natapanje ili za proizvodnju električne enrgije.

Nepoželjne karakteristike vjetra s kojima treba računati prilikom njegova energetskog iskorištavanja jesu:

— brze promjene snage vjetra
— nepredvidivost tih promjena
— nemogućnost pogona za vrijeme malih brzina vjetra.

Cijena energije proizvedene korištenjem vjetra procjenjuje se (ovisno o kompaniji) na 1,20 do 1,50 d/kWh, što u uporedbi s cijenama nuklearne energije procjenjene na 2,10 do 2,40 d/kWh govori u prilog energetskom iskorištavanju vjetra (18).

Naša zemlja nalazi se na južnoj granici zone zapadnih vjetrova. Zona zapadnih vjetrova raspolaže gustoćom energije većom od svjetskog prosjeka, pa tako i naša zemlja, budući da se nalazi u toj zoni, raspolaže potencijalom vjetra većim od prosječnog. Međutim, zbog specifičnog položaja planinskih sistema i odnosa kontinent — Mediteran, kod nas veće značenje imaju samo vjetrovi: bura, jugo i košava.

Za korištenje energije vjetra najpovoljnija su područja: Primorje, jugozapadno područje dinarskog sistema, južni Banat, podunavski predio Srbije od Beograda do Golupca, dolina Vardara. Izuzetan energetski potencijal ima okolina Vršca s brutoenergijom 3,5 MWh/m² godišnje (19). Međutim, visoke energetske mogunćosti nisu jedino mjerilo za povoljnost iskorištavanja jer se one često ne mogu optimalno koristiti. Ekstremno snažni vjetrovi[19] nisu povoljni jer kratkotrajni jaki udari, iako formalno povećavaju energetsku bilancu, imaju za posljedicu mali stupanj iskorištenja.

Budući da su glavni tehnički problemi izgradnje suvremene elektrane — vjetrenjače riješeni, praktično korištenje snage vjetra pitanje je samo visine financijskih ulaganja.

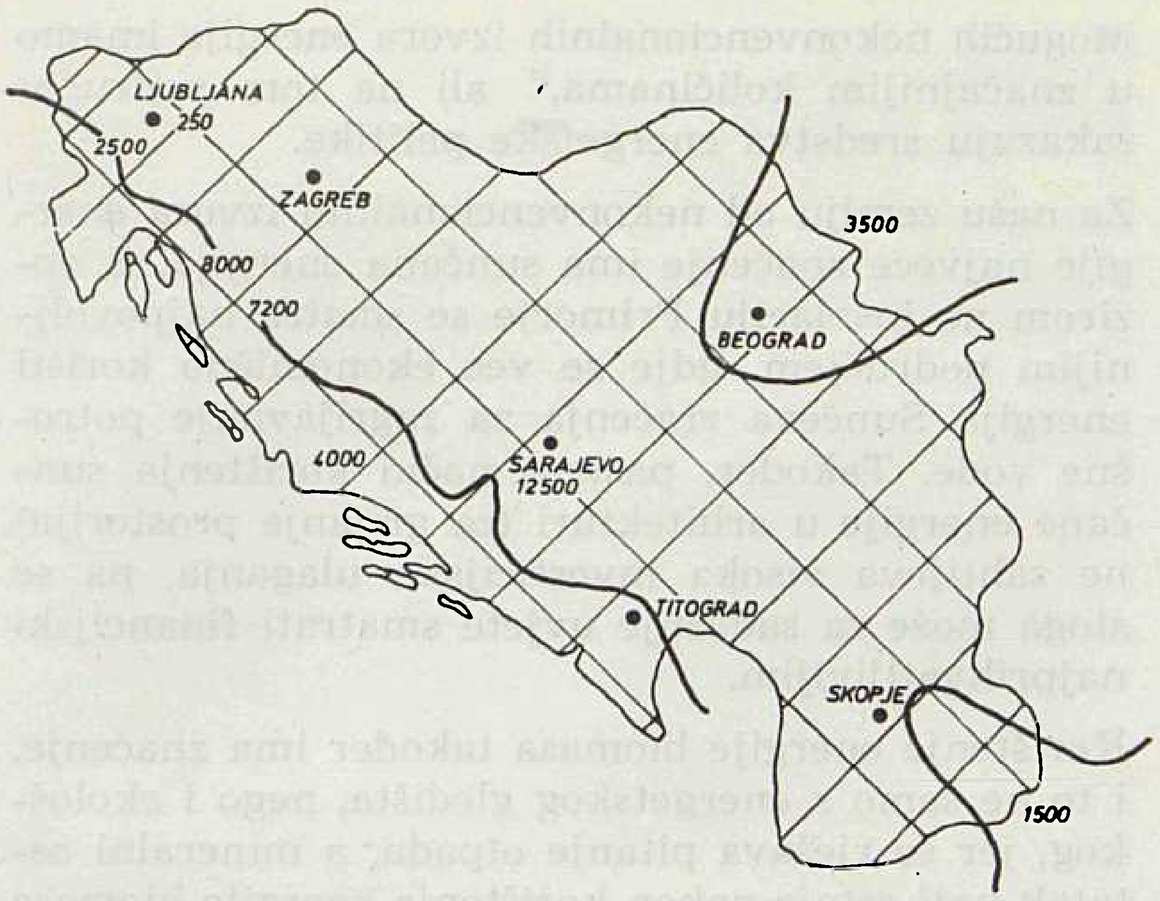
U Jugoslaviji je već konstruiran prvi prototip elektrane — vjetrenjače (npr. ona u Zemun-Polju snage 0,5 kW) za čiji je ekonomičan rad dovoljno dva vjetrovita dana u tjednu[20]. Način je njezina rada da se za vrijeme korištenja snage vjetra puni akumulator, a višak električne energije šalje potrošačima. Naprotiv, za vrijeme malih snaga vjetra energija se uzima iz spremnika.

Da bi korištenje energije vjetra moglo zadovoljiti dio energetskih potreba, potrebno je riješiti planski

[18] Postoje i drugi načini korištenja energije vjetra, npr. za pogon pumpa (za pumpanje vode), za unošenje zraka u ribnjake, desalinizaciju morske vode, za pogon mlinova i dr.

[19] Većina aerocentrala uzima kao graničnu vrijednost za prekid eksploatacije brzinu vjetra od 15 m/s.

[20] Na što se po meteorološkim podacima može računati.



Slika 4. Procijenjena energija vjetra u Jugoslaviji na visini 100 m u KWh/m² godišnje (12)

razvoj sukcesivnog uključivanja elektrana — vjetrenjača u elektroenergetsku mrežu.

Budući da su vjetrenjače prikladne za opskrbu pomoćnom energijom, osobito u planinskim i izoliranim područjima, trenutna perspektiva iskorištavanja enrgije vjetra u nas nalazi se u ovom načinu primjene.

4. Energija morskih valova

Površinu Zemlje čini oko 70% mora i oceana koji su istovremeno kolektori, akumulatori i prenosioci sunčane energije u boliku toplinske i kinetičke energije sadržane u valovima. Valovi koji također mogu predstavljati značajan energetski potencijal bili su uglavnom do sada zapostavljeni zbog tehničkih poteškoća u konstrukciji odgovarajućih uređaja za potrebne transformacije oblika energije.

Najuobičajenije iskorištavanje snage vala vrši se pomoću plutajućih objekata (plutača) koji mogu biti locirani uzduž obalnog područja kao samostalne jedinice ili međusobno spojeni nizovi. Jedno je od mogućih rješenja da se plutače dižu i spuštaju u ritmu kretanja valova, uz koje je pričvršćen cilindar u kojem je stap usidren za dno. Kretanjem cilindra stap tlači vodu koja se zbog povećanog tlaka može dignuti do razine iznad površine mora. Tako skupljena voda može se energetski iskorištavati u vodenoj turbini. Također se kao medij za prijenos energije može upotrijebiti i zrak koji se djelovanjem stapa komprimira i služi za pogon turbine čije se pokretanje koristi za pogon električnog generatora.

Kada je visina vala 2 m, snaga vala koja se može iskoristiti jednom plutačom iznosi 1 000 kW.

U prilog energije valova, pogotovo kad se uporedi s energijom Sunčeva zračenja, ide činjenica da se ona može iskorištavati i zimi, kada su potrebe za energijom najveće a valovi najsnažniji.

Zbog izuzetno dobro razvedene obale Jadranskog mora pružaju nam se široke mogućnosti za iskorištavanje energije valova. Važnost iskorištavanja energije valova za našu zemlju raste s obzirom na zamjenu i dopunu konvencionalnih izvora energije[21] i samim tim da već sada postoji niz potencijalnih industrijskih potrošača uz obalu mora: procesna industrija za proizvodnju kisika, vodika i kemikalija iz morske vode, te pročišćavanje i desalinizacija morske vode.

Ukupna energija vala, koju čini suma njegove kinetičke i potencijalne energije, proporcionalna je kvadratu visine vala i obratno proporcionalna dužini vala. Glavni parametri vala koji su funkcija brzine vjetra koji ih je prourzokovao, perioda puhanja vjetra, dubine mora i konfiguracije obale jesu: visina vala (H), dužina vala (L) i period vala (T). Prema dosad obavljenim istraživanjima veličine parametara jadranskog vala su sljedeće:

— period vala (T) = $1{,}8 \cdot w^{0,5}$ (s)
— dužina vala (L) = $2{,}1 \cdot w$ (m)
— visina vala (H) = $0{,}056 \cdot w^{1,42}$ (m),

gdje oznaka w predstavlja brzinu vjetra (20).

Za energetske procjene dužine obalnog područja potrebno je poznavati specifičan učinak po dužinskom metru (N_l), a za investicijske troškove izgradnje pontona nužno je poznavati površinu presjeka na vodenoj liniji, tj. specifičan učinak po m² (N_A). Oba ta učinka izražena kao funkcija brzine vjetra (w), odnosno visine vala (H) pokazana su u tablici 7

Tablica 7.

Snaga jadranskog vala po m i m² (20)

Snaga vala, kW/m	Snaga vala, kW/m²
$N_l = 0{,}0084\ w^{2,92}$	$N_A = 0{,}02\ w^{1,92}$
$N_l = 3{,}14\ H^2$	$N_A = 1\ H^{1,35}$

Snaga valova raste i s vremenom puhanja vjetra, što znači da oni postaju bolji spremnik energije. Uz brzinu vjetra od 20 m/s snaga vjetrenjače iznosi 1,5 do 3 kW, istovremeno odgovarajuća snaga vala u našem moru iznosi oko 7 kW/m (21). Uspoređivanjem snage vjetra i valova pokazano je da je snaga valova u Jadranskom moru za istu brzinu puhanja vjetra 2,3 do 5 puta veća od snage vjetra.

Iako dobiveni rezultati govore u prilog energetskog iskorištavanja valova oni su zapostavljeni zbog tehničkih poteškoća u konstrukciji odgovarajućih konverzionih uređaja, a i zbog nedostatka preciznih podataka osnovnih parametara, jer su mjerenja uglavnom vršena u nautičke svrhe, a ne u energetske. Dosadašnji podaci su, dakle, nekorelirani, pa mogu uglavnom poslužiti za orijentacijske procjene.

[21] Računa se da bi 1 m² pontona (plutača) godišnje uštedio 1 032 kg nafte (20).

ZAKLJUČAK

Stalni rast potrebe suvremenog čovječanstva za energijom s obzirom na ograničenost i nedostatnost postojećih konvencionalnih izvora energije, a u većini slučajeva i njihove neobnovljivosti i zagađenje okoline, nameće potrebu sve većeg iskorištavanja nekonvencionalnih izvora energije.

Sunčana energija, geotermalna energija, energija plime i oseke[22], energija vjetra i energija morskih valova, zbog mogunćosti njihova obnavljanja u prirodi, tj. njihove praktične neiscrpivosti, postaju sve interesantniji kao primarni izvori energije. Tehničko-tehnološki riješeno je iskorištavanje praktično svih nekonvencionalnih izvora energije a kao daljnji ograničavajući faktor na putu njihova iskorištavanja stoje:

— nizak stupanj iskorištenja i
— visoka investicijska ulaganja.

Polazeći od činjenice da je stvarna cijena iskorištavanja jednog izvora energije određena troškovima njegove zamjene s drugim izvorom[23], uočava se složenost daljnjeg razvoja iskorištavanja nekonvencionalnih izvora energije.

Iskorištavanje nekonvencionalnih izvora energije može značajnije pridonijeti rješavanju energetskih pitanja samo onda ako se tom području da znatna društvena i fiskalna podrška, što je već učinjeno u nekim zemljama, odobravanjem beskamatnih dugoročnnih zajmova kao poticaja uvođenju instalacija nekog od nekonvencionalnih izvora energije, odobravanjem carinskih olakšica. Također se na ekonomičnost iskorištavanja nekonvencionalnih izvora energije može utjecati serijskom proivzodnjom uređaja za korištenje tih izvora, ujedinjavanjem proizvođača, jedinstvenom tehnologijom i izradom standarda i normativa.

Prilikom izgradnje postrojenja za korištenje nekonvencionalnih izvora energije treba riješiti ova pitanja:

— utvrditi energetski potencijal datog izvora
— izvršiti izbor najpogodnije lokacije
— utvrditi tehničko-tehnološko rješenje izgradnje postrojenja za iskorištavanje datog izvora energije
— riješiti način akumulacije energije
— riješiti način uklapanja u postojeći sistem s nekonvencionalnim izvorima energije
— pridržavanje principa ekonomičnosti.

Jugoslavija se, kao i većina zemalja svijeta, usmjerava prema iskorištavanju nekonvencionalnih izvora energije.

Mogućih nekonvencionalnih izvora energije imamo u značajnijim količinama,[24] ali na tom području zakazuju sredstva energetske politike.

Za našu zemlju od nekonvencionalnih izvora energije najveće značenje ima sunčana energija. S obzirom na insolaciju Primorje se smatra najpovoljnijim područjem, gdje se već ekonomično koristi energija Sunčeva zračenja za zagrijavanje potrošne vode. Također, pasivni način korištenja sunčane energije u arhitekturi (za grijanje prostorija) ne zahtijeva visoka investicijska ulaganja, pa se sloga može za sadašnje uvjete smatrati financijski najprihvatljivijim.

Korištenje energije biomasa također ima značenje, i to ne samo s energetskog gledišta, nego i ekološkog, jer se rješava pitanje otpada, a mineralni ostatak koji ostaje nakon korištenja energije biomasa može se koristiti kao umjetno gnojivo. Područje Vojvodine, kao i ostale poljoprivredne regije imaju velike mogunćosti za korištenje energije biomasa jer raspolažu velikim količinama organskog otpada. Naročito je pogodno energiju biomasa koristiti na individualnoj osnovi na svim poljoprivrednim gospodarstvima, posebno onim izoliranim.

Perspektivna područja za korištenje energije vjetra jesu sva područja na kojima pušu vjetrovi: bura, košava i povardarac. Koritšenje energije vjetra u našim uvjetima može imati samo lokalno značenje, i to gradnjom manjih vjetrenjača kod kojih se investicijska ulaganja brže amortiziraju. Geotermalna energija, osim u balneološke svrhe, neznatno se koristi za grijanje staklenika i ima lokalno značenje. Perspektivno područje za iskorištavanje je panonski bazen, s mogućnošću lokalnog korištenja u poljoprivredi za zagrijavanje biljnih kultura u staklenicima i eventualno za zagrijavanje prostorija. U korištenju energije valova u nas nema još praktičnih iskustava, ali za postojeći energetski potencijal valova povoljno su locirani neki industrijski korisnici i turistički objekti.

Visoka investicijska ulaganja pojavljuju se još uvijek kao ograničavajući faktor korištenja nekonvencionalnih izvora energije, pa se na kraju možemo pitati: imaju li nekonvencionalni izvori energije u rješavanju stalno rastuće potrebe za energijom u Jugoslaviji značajniju budućnost? Koliko nam je poznato, to je pitanje polemike i među stručnjacima za energetiku. Ali imajući na umu da će iduće desetljeće svjetsku energetiku karakterizirati postupna preorijentacija u strukturi energije dobivene iz postojećih izvora energije, može se realno pretpostaviti da će se i u našoj zemlji, siromašnoj izvorima energije, stručno i društveno odgovorno vršiti preispitivanje svih mogućnosti koje nam pružaju naši prirodni uvjeti, sadašnji i budući istraživačko-

[22] Energija plime i oseke za našu zemlju nema praktično značenje jer su amplitude plime i oseke u Jadranskom moru vrlo malene.

[23] Tako će npr. cijena nafte, koja predstavlja osnovni instrument u poređenju energetske politike, odsada sve više biti određena proizvodnim troškovima drugih goriva koji bi joj mogli konkurirati.

[24] Prema procjenama ukupni energetski potencijal nekovencionalnih izvora iznosi oko 29 400 TWh godišnje, bez geotermalne energije, čiji potencijal u Hrvatskoj iznosi 67 GWh godišnje (energetski potencijal energije vjetra za Jugoslaviju iznosi 250 TWh godišnje, energije valova 50 TWh godišnje, a potencijal Sunčeva zračenja 29 100 TWh godišnje).

-razvojni radovi i prvenstveno tehnologija uz poštovanje principa smanjenja tehničko-tehnološke ovisnosti i direktnog uvoza kako izvora energije, tako i proizvedene električne energije.

LITERATURA

[1] Drpić, I., *Energetika i privredni razvoj u razvijenim zemljama zapada,* Centar za kulturnu djelatnost Zagreba, Zagreb, 1981.
[2] Požar, H., *Izvori energije,* Sveučilišna naklada Ligreb, 1980.
[3] Paar, V., *Pitanja,* br. 3, Zagreb, 1983.
[4] Komisija Saveznih društava Saveza za probleme ekonomske stabilizacije. Dokumenti komisije, knjiga 3. *Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije,* Centar za radničko samoupravljanje, Beograd, 1983.
[5] Lalović, B., *Nasušno Sunce,* Nolit, Beograd, 1982.
[6] Siljanovski, A., *Sunčeva energija,* br. 3, Rijeka, 1980.
[7] Oruč, S., Iviš, Lj., *Mogućnost primjene sunčeve energije u Jugoslaviji,* IV Međukatedarski sastanak ekonomskih i srodnih fakulteta, 1—2, 10. 1982, Beograd, 1982.
[8] Lalović, B., *Solarne kuće,* Galaksija, Beograd, 1982.
[9] Jeličić, U., *Tehnološko koritšenje sunčeve energije,* Savjetovanje Sunčeva energija u Jugoslaviji 22—24. 3. 1977, Beograd, 1977.
[10] Stojiljković, S., revija Start od 29. 1. 1983, Zagreb, 1983.
[11] Mihelić, A., *Zbornik referata,* Savjetovanje o energetici 20—22. 10. 1982, Opatija 1982.
[12] Štednja energije, revija Naš Dom, Maribor, 1982.
[13] Babić, D., Fijak, R., Galović, S., Nafta *32,* br. 5, Zagreb, 1981.
[14] Ibrahimpašić, I., Nafta *32,* br. 5, Zagreb, 1981.
[15] Parađanin, Lj., Bajić, N., Nafta *32,* br. 5, Zagreb, 1981.
[16] Milovanović, Z., Alimpić, S., Nikolić, D., Nafta *32,* br. 5, Zagreb, 1981.
[17] Golub, M., Prehrambeno-tehnološka revija *21,* br. 1—2, Zagreb, 1983.
[18] Sijerković, M., Večernji list od 23. i 24. 10. 1982, Zagreb, 1982.
[19] Gburčik, P., *Zbornik referata,* Savjetovanje o energiji 20—22. 10. 1982, Opatija, 1982.
[20] Kolin, I., *Zbornik referata,* Savjetovanje o energiji 20—22. 10. 1982, Opatija 1982.
[21] Budin, R., *Sunčeva energija 3,* br. 1—2, Rijeka, 1981.
[22] Johanides, V., Marić, V., Naučni skup, Eenergija i sredina, Sarajevo, 1981.

KEY WORDS: NON-CONVENTIONAL POWER SOURCES POWER DEMAND OF YUGOSLAVIA, SOLAR POWER

IMPORTANCE OF NON-CONVENTIONAL POWER SOURCES POWER DEMAND OF YUGOSLAVIA

In the article is presented a way of use of non-conventional power sources important for Yugoslavia. Specially is considered use of solar power that takes the greatest part of all non-conventional sources.

DIE ROLLE DER UNKONVENTIONELLEN ENERGIEQUELLEN IN DER ENERGETIK JUGOSLAWIENS

In der Arbeit schildert man auf welche Weise die unkonventionellen Energiequellen, die für Jugoslawien interessant sind, genutzt werden. Besondere Aufmerksamkeit wurde der Möglichkeit der Nutzung der Sonnenenergie, der der größte Anteil im gesamten Energiepotential der unkonventionellen Quellen gehört, gewidmet.

РОЛЬ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ ЮГОСЛАВИИ

В работе показан способ использования нетрадиционних источников энергии, интересних для Югославии. Особое внимание уделено испольэованию энергии, которой принадлежит наибольшая доля энергетического потенциала нетрадиционных источников энерги.

Naslov pisaca:

Dr Slobodanka Trbojević, dipl. ing.
Ekonomski Fakultet,
41000 Zagreb,
Kenedyjev trg,

Vesna Boinović, dipl. ecc.
Privredna banka, 41000 Zagreb
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:
1983—10—04.

Radna organizacija

„ELKA"

Tvornica električnih kabela
s neograničenom odgovornošću
OOUR-a

Zagreb, Žitnjak bb

Tel.: 223-999

Telex: 21-193, P. O. B. 150

PROIZVODNI PROGRAM:

Energetski kabeli za napone:
1 kV — s termoplastičnom izolacijom
10 kV — s izolacijom od:
— umreženog polietilena
— etilen-propilena
— PVC-a
20 kV — s izolacijom od:
— umreženog polietilena
— termoplastičnog polietilena
35 kV — s izolacijom od:
— umreženog polietilena
— etilen-propilena

Termoplastikom izolirani instalacijski vodovi i kabeli,

Gumom izolirani instalacijski vodovi i kabeli,

Brodski kabeli izolirani etilen-propilenom i plaštom od neoprena,

Samonosivi kabelski snopovi Elkalex-1,

Telekomunikacijski kabeli s izolacijom i plaštom od termoplastičnih materijala,

Telefonske montažne žice,

Specijalni vodovi i kabeli,

Rudarski kabeli,

Lakirana žica,

Aluminijska, alu-čelična i E-AlMg 1 užad,

Čelična užad za dizalice, brodove i druge namjene.

RAZVOJ ELEKTRIČNOG GREJANJA U NAS I U SVETU

Kiril A. Tropin, Beograd

UDK 621.365
PREGLEDNI RAD

U članku je prikazan razvoj raznih sistema električnog grejanja u nizu ekonomski razvijenih zemalja. Razmatra se razvoj električnog grejanja u nas, sadašnje naše prilike, naše mogućnosti i perspektive njegovog daljeg planski usmerenog šireg korišćenja.

Ključne riječi: električno grejanje, sistemi grejanja, ekonomske usporedbe grejanja.

UVOD

Grejanje predstavlja veštačko zagrevanje prostorije radi naknade gubitaka toplote i održavanja na zadatom nivou temperature, koja ponajčešće odgovara uslovima toplotnog komfora za ljude, a neki put i zahtevima tehnološkog procesa, dakle predstavlja vid zaštite na radu.

Električno, pak, grejanje ima niz prednosti u poređenju sa drugim vrstama grejanja (npr. mazutom, gasom, ugljem itd.). To su: čistoća, veća bezbednost s obzirom na eventualne požare, eksplozije, poplave i dr., manji broj remonata, a time i manji izdaci i, prema tome, rad sa ređim i kraćim prekidima, lakše održavanje, tj. manje ulaganje truda i vremena za obsluživanje (donošenje goriva, čišćenje gorionika, iznošenje pepela i sl.) i dr.

Električno grejanje, pošto ne obavlja sagorevanje goriva, ne smanjuje sadržaj kiseonika u vazduhu čovekove sredine niti zagađuje čovekovu sredinu štetnim produktima sagorevanja — dimnim gasovima, pepelom, letećim koksom i drugim otpacima. Pa ipak u nas, na žalost, problem električnog grejanja nije tretiran ni sa ekonomskog, ni sa tehničkog gledišta, nije razmatran s obzirom na naše podneblje, na naše energetske mogućnosti i do danas nije našao mesto ni u stručnoj literaturi, niti bio predmet proučavanja u naučnoistraživačkim institucijama i posebno u elektroprivrednim organizacijama.

Moglo bi se pomisliti kao da takav problem i ne postoji, kao da ga je energetska kriza uopšte zaobišla, a da je naša elektroprivreda toliko moćna na svim naponskim nivoima da godišnji stihijski nereglamentirani priraštaj opterećenja od električnog grejanja reda 500 MVA ne predstavlja nikakve teškoće ni za izvore, ni za mreže ...

Nije tako!

Zato mora da se pristupi temeljnom proučavanju električnog grejanja jer je električna energija naša jedina »domaća« energija proizvedena od »domaćih sirovina« — uglja i vode.

Ovde se pokušava da se to učini.

Razmatranje polazi od ekonomskih aspekata i obuhvata (u granicama mogućnosti) takođe i tehničke specifičnosti razvoja električnog grejanja u nekim zemljama sveta.

Električno grejanje u toku poslednje decenije nalazi u nizu ekonomski razvijenih zemalja sve veću primenu, pri čemu se ona koristi i u novim i u starim stambenim i javnim zgradama. Na ovu tendenciju utiče na određeni način povećanje cene goriva uz održavanje relativno niskih tarifnih stavova za noćnu potrošnju električne energije u poređenju sa tarifnim stavovima za dnevnu potrošnju. Tako je, na primer, u Parizu cena noćne električne energije za grejanje stanova i pripremanje tople vode nekoliko puta niže od dnevne.

Diferencijacija tarifnih stavova za potrošnju električne energije pokazala se korisnom ne samo za potrošače, već i za snabdevače električnom energijom usled postignutog »peglanja« dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema, tj. ispunjavanja njegovih dnevne i noćne dolje i usled toga ravnomernijeg opterećenja termoelektrana, itd.

S obzirom na specifičnosti korišćenja električnog grejanja u raznim zemljama i različite klimatske prilike uputno je da se razmotre konkretni sistemi električnog grejanja u pojedinim zemljama.

Prva faza korišćenja električnog grejanja celih stanova završila se negde 1963—1964. god. Već se tada uvodilo prvo električno grejanje u veće stambene komplekse, obrađeni su propisi bezbednosti za električne termoakumulacione uređaje i preporuke za njihovu kvalitetnu izradu. Zato je električno termoakumulaciono grejanje osvojilo i velika naselja, školske centre, velike upravne i administrativne zgrade.

U drugoj fazi razvoja, koja je još i danas u toku, usavršila se tehnika električnog termoakumulacionog grejanja.

SJEDINJENE AMERIČKE DRŽAVE

U SAD električno grejanje počelo je da se koristi relativno skoro, ali poslednjih godina ono se vrlo brzo proširilo.

Tako je na primer 1957. god. ovu vrstu grejanja koristilo svega 300 000 domaćinstava, a već 1967. preko 3 miliona domaćinstava, što je tada činilo 6% od ukupnog broja domaćinstava u zemlji. Ispunila se pretpostavka da će električno grejanje do 1980. godine obuhvatiti 19 miliona domaćinstava, što je činilo 22% njihovog ukupnog broja. Od ukupnog broja zgrada, izgrađenih u toku 1967. godine u SAD, bilo je opremljeno: električnim grejanjem 36% (prema 22% u 1964); gasnim grejanjem — 43%; grejanjem na naftu — 12%. Od interesa su uporedne ocene koje su dali američki stručnjaci u pogledu investicionih i pogonskih troškova električnog grejanja u 12 zgrada školskog centra ukupne površine 28 000 m² za dve varijante snabdevanja toplotom: od kotlarnice ložene čvrstim gorivom i pri korišćenju električne energije. Investiciono ulaganje prema prvoj varijanti su izašla za 71% veća nego prema drugoj, dok su pogonski troškovi prema drugoj varijanti ispali za svega 2% veći nego prema prvoj. Ovo je dozvolilo da se oni smatraju istovetnim. Investiciona ulaganja u slučaju primene električne enrgije su manja jer nema same kotlarnice, kotlova, cevovoda i dr.

U nekim područjima SAD električno grejanje jednoporodičnih zgrada sa pojačanom toplotnom izolacijom ne košta potrošače više nego grejanje naftom ili gasom.

U SAD se mnogo koristi grejanje uz primenu električnih panela (ploča fabričke izrade sa ugrađenim grejnim kablovima) kojima se oblažu donji delovi zidova u prostorijama. Izračunato je da će izdaci u slučaju rada takvog grejanja 3 100 časova godišnje biti u uslovima SAD za 50—90% manji od izdataka na korišćenje grejanja sa vodenim kotlovima loženim prirodnim gasom. U južnim državama zemlje sve se više koristi grejanje toplotnim pumpama (poluprovodnično električno grejanje) u kombinaciji sa kondicioniranjem vazduha. Njegov udeo u ovim područjima iznosi 22% od svih instalacija električnog grejanja.

Sada u SAD ima preko 20 miliona prenosnih uređaja za električno grejanje. Od toga su oko 1 milion toplotne pumpe.

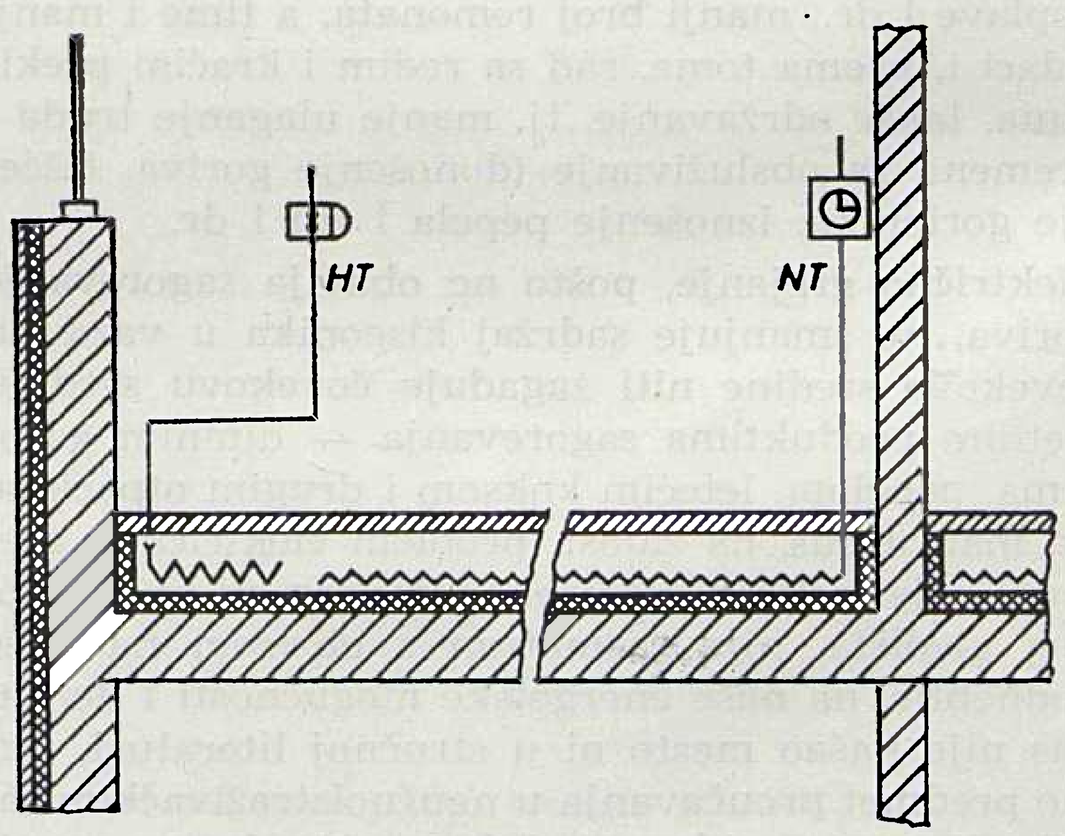
U SAD u periodu se od 1963. do 1971. godine broj instalacija električnog grejanja povećao sa 1 494 na 5 450 hiljada. Do zaoštravanja energetske krize u SAD u oktobru 1973. godine, 35% celokupnog novoizgrađenog stambenog fonda, koji je predat na korišćenje, opremljeno je električnim grejanjem. Na području koje snabdeva elektrodistributivna kompanija Konsolidejtit Edison, na primer, od ukupno 32 500 izrađenih u 1971. god. 11 700 stanova bilo je opremljeno električnim grejanjem.

Uzeto u celini, učešće stambenih zgrada opremljenih električnim grejanjem u 1970. godini u SAD dostiglo je 8% (prema 6,4% u 1969. g.). Do 1980. godine broj stanova grejanih električnom energijom već je dosegao oko 12 miliona, što je 2,3 puta više nego 1970. godine.

Da bi se sagledale perspektive razvoja električnog grejanja u SAD, u 9 gradova bila je sprovedena anketa među stanovništvom koje je u svojim stanovima zamenilo zastarele načine grejanja novim instalacijama električnog grejanja i grejanja gasom. Rezultati ove ankete su pokazali da 85% korisnika koji su prešli na električno grejanje i 43% korisnika koji su prešli na grejanje gasom smatraju da je električno grejanje čistije od grejanja gasom, 82% (29%) anketiranih smatra da električno gregrejanje zahteva manji broj remonata i 83% (19%) takođe smatra da zahteva manje održavanje. Većina anketiranih je napomenula da su sistemi električnog grejanja savršeniji — ovaj razlog navelo je 83% lica koja su prešla na električno grejanje i 51% lica koja su prešla na grejanje gasom.

U SAD do početka 1973. god. broj stanova grejanih električno iznosio je 6 miliona, dok je broj stanova u novogradnjama grejanih električnom energijom dostigao 35%.

Za SAD je karakteristična raznovrsnost primenjenih sistema električnog grejanja. Jedan od najrasprostranjenijih sistema je grejanje termoakumulacionim vodovima (sl. 1). Tako u četvorospratnim zgradama korisne površine 1 858 m² ovaj sistem se koristi pri specifičnoj snazi 16,4 W/m² s tim što je za donje spratove specifična snaga povećana do 65,4 W/m² s obzirom na promaju iz podruma.



Slika 1. Instalacija grejanja elektroakumulacionim podom (poprečni presek)

Termoakumulaciono električno grejanje se koristi kako u stambenim, tako i u administrativnim i javnim zgradama. Tako firma Smit-Get izrađuje instalacije električnog termoakumulacionog grejanja tipa »Dahit«, koji se više godina koristi u oko 300 zgrada različite namene. Instalacija se sastoji od štitova fabričke izrade sa ugrađenim grejnim kablovima sa bakarnim žilama. Ispod štitova — »tepiha« prethodno se nasipa sloj peska debljine oko

50—75 mm, dok se na »tepihe« nasipa sloj peska debljine 305 mm. Preko toga se polažu betonske ploče debljine oko 150 mm, koje čine podlogu poda. U noćnim časovima, kada važe niži (povlašćeni) tarifni stavovi za električnu energiju, »tepisi« se uključuju. Pri takvom sistemu ispod zgrade se stvara toplotni rezervoar, jer se u pesku akumulira izvesna količina toplote, od koje se 75% prenosi nagore kroz pod, dok ostali deo odlazi nadole u zemlju i u okolinu sve dok temperatura peska ne dostigne 40° C (za održavanje temperature podloge poda na nivou 27 °C).

Limitiranje potrošnje mazuta, koje je trajalo od 1973. do zaključno 1982. god., naročito je teško pogodilo manje privatne zgrade. Ovo nije bilo posledica iscrpljenja izvora nafte, već političke situacije u svetu. Sada, ograničenja potrošnje naftinih proizvoda nema, pa čak su niže i njihove cene, što je takođe izazvano političkim kretanjima. Međutim, potencijalna pretnja ponovne nestašice nafte na unutrašnjem tržištu sasvim određeno upućuje potrošače na grejanje gasom i električnom energijom. Ovo će svakako potvrditi i statistika, ali njene podatke treba čekati najmanje godinu i po dana. U široj javnosti oni mogu i da se ne objave. Kretanje cena nafte može da se prognozira samo na osnovu prognoze svetske političke situacije. Ne bi se moglo reći da je takvo prognoziranje realno.

KANADA

U Kanadi 1966. god. električno grejanje se koristilo u 1,6% stambenih zgrada; 1969. — u 3,5%; 1971. — u 4,9%. Iste godine skoro jedna trećina (31,5%) svih novoizgrađenih stambenih zgrada bila je opremljena električnim grejanjem.

U Torontu izgrađen je stambeni kompleks koji se sastoji od stambene zgrade sa 29 spratova korisne površine 41 850 m^2, stambene zgrade sa 51 spratom korisne površine 74 400 m^2 i trospratnice — robne kuće. Osobenost kompleksa predstavlja sistem grejanja i hlađenja koji radi cele godine. Sistem broji 800 uređaja, koji obavljaju automatsku kontrolu temperature u prostorijama svih zgrada. Instalacija može da se podešava tako da će se jedna prostorija zagrevati a drugo istovremeno hladiti. Željena temperatura prostorije se postiže za 20 min posle stavljanja instalacije u pogon. U zgradi od 51 sprata instalacije električnog grejanja raspoređene su po obimu zgrade. Sistem može po potrebi da se koristi za zagrevanje vode. U sistem spada i električni bojler koji se uključuje u periodu većih hladnoća.
Ovaj sistem se smatra najefikasnijim za visoke zgrade.

U Kanadi je 1970. god. bilo oko 160 000 stanova opremljenih električnim grejnim uređajima. Do 1975. god. ovaj se broj udvostručio. Električno grejanje najviše se proširilo u pokrajinama Ontario i Kvibek, bogatim hidroenergijom, a nemaju prirodnog gasa. Ovde se obično koristi neprekidno grejanje električnim panelima ugrađenim u donjem delu zidova prostorija ili panelima otvorenog tipa. Ređi su električne termoakumulacione peći i električni termoakumulacioni podovi.

Kanada i danas i u perspektivi ostaje suficitarna u pogledu električne energije. Veći deo proizvodnje novoizgrađenih elektroenergetskih kapaciteta radi na izvoz (u SAD). Samim tim nema smetnji za dalji razvoj električnog grejanja.

JAPAN

U Japanu je vrlo neravnomeran dijagram opterećenja elektroenergetskog sistema usled male potrošnje noću. Zato se poklanja veća pažnja električnim termoakumulacionim uređajima u domaćinstvu, koji se izrađuju raznih vrsta i snaga. Firma »Micubisi« npr. izrađuje 11 modela bojlera za grejanje snage od 12 do 120 kW i zapremine od 1 000 do 10 000 l, u kojima se voda zagreva do 85 °C.

Interesantno je napomenuti da za japanski elektroenergetski sistem nisu prihvatljivi drugi načini izravnjavanja dnevnog dijagrama opterećenja, počev od ugradnje elektroenergetskih blokova veće sposobnosti manevrisanja i zaključno sa izgradnjom pumpnih hidroelektrana, proizvodnjom i akumulacijom vodonika itd.

AUSTRALIJA

U Australiji, prema analizama učinjenim 1972. god. 4% svih stanova imali su instalacije električnog grejanja. U poređenju sa 1970. godinom znatno se povećao obim korišćenja električne energije.

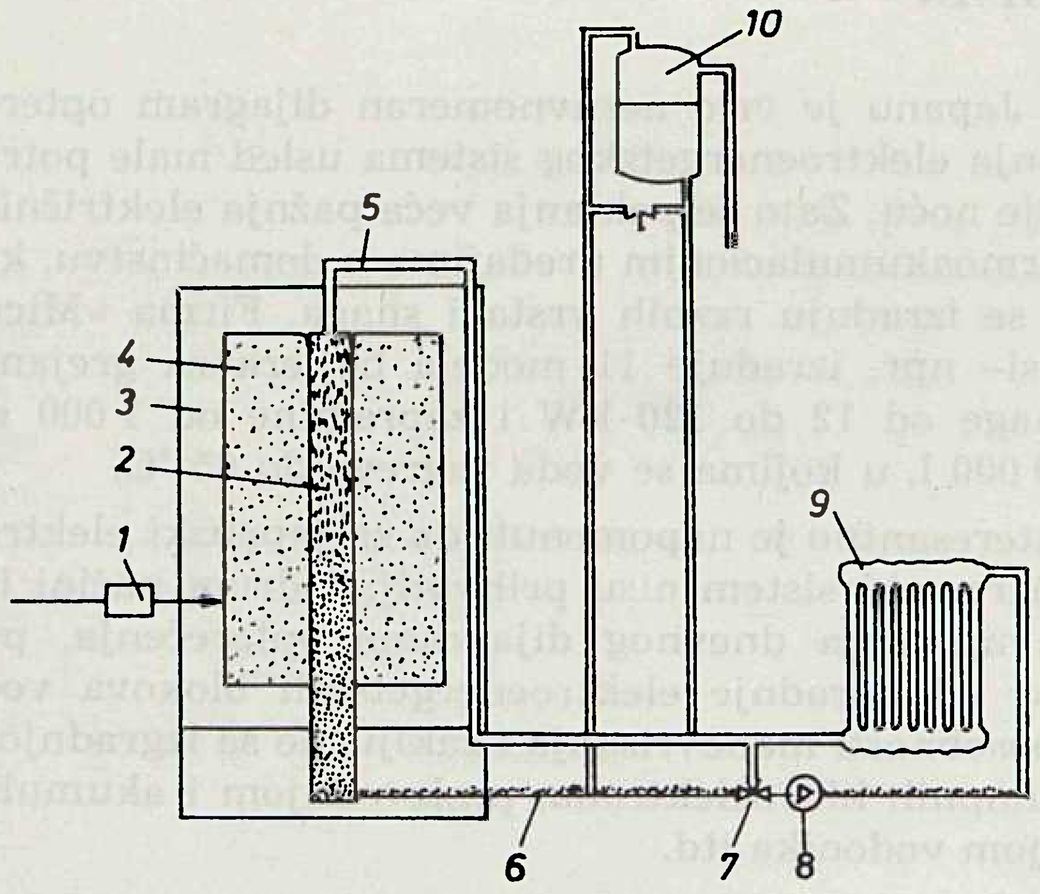
ENGLESKA

U Engleskoj električno grejanje uveliko se koristi dugi niz godina i osetno izravnava dijagram opterećenja ujedinjenog elektroenergetskog sistema zemlje. Problem izravnavanja dijagrama opterećenja od velikog je značaja za Englesku zato što u zemlji postoje sasvim neznatni hidroenergetski kapaciteti, koji bi mogli da preuzmu ulogu vršnih elektrana. Širokom korišćenju električnog grejanja pogoduju takođe klimatske prilike, karakteristične po kratkotrajnim padovima temperature. Sada je više od 50% višespratnih zgrada opremljeno instalacijama električnog grejanja.

Povlašćena noćna tarifa električne energije obezbeđuje, pored ostalog, znatnu prednost električnom grejanju u poređenju sa drugim sistemima grejanja koji se koriste u Engleskoj. Noćni tarifni stavovi čine približno polovinu dnevnih stavova.

Šezdesetih godina u Engleskoj se mnogo proširilo korišćenje grejanja električnim termoakumulacionim blokovima.

Prema broju instalacija električnog grejanja, koje se sada koriste, i prema brzini povećanja njihovog broja Engleska zauzima vodeće mesto među zapadnoevropskim zemljama. U toku 1970. godine u Engleskoj bilo je prodato 700 000 električnih termoakumulacionih uređaja za grejanje. U ovoj zemlji koriste se sistemi centralnog električnog grejanja toplim vazduhom ili toplom vodom (sl. 2) u svojstvu nosioca toplote. Razrađeni su uređaji velike moći akumuliranja toplote koji omogućavaju maksimalno odavanje toplote.



Slika 2. Eelektroakumulacioni blok za grejanje toplom vodom
1 — komandna ploča; 2 — izmenjivač toplote; 3 — toplotna izolacija; 4 — jezgro od livenog gvožđa; 5 — povratni vod; 6 — napojni grejni vod; 7 — mešač-ventil; 8 — cirkulaciona pumpa; 9 — grejno telo (radijator); 10 — kompenzacioni sud

Prema prognoziranju engleskih stručnjaka potrošnja gasa za potrebe grejanja treba da počne opadati za račun daljeg razvoja električnog grejanja.

U Engleskoj je sada preko 34% novog stambenog fonda opremljeno instalacijama električnog grejanja, dok ukupan broj stanova grejanih električno prelazi 2 miliona. To su, uglavnom, električni termoakumulacioni sistemi, koji su stekli popularnost zahvaljujući svojoj ekonomičnosti, elastičnosti i jednostavnosti eksploatacije.

U Engleskoj sve veću popularnost stiču sistemi centralizovanog električnog grejanja u kombinaciji sa snabdevanjem toplom vodom, povezani u zajedničko bločno postrojenje koje predstavlja akumulirajući rezervoar sa vodom čija je unutrašnjost vezana izlaznim i povratnim cevovodima sa grejnim telima instalacije vodenog grejanja, a opremljena je električnim grejačima koji se uključuju za vreme manjeg opterećenja elektroenergetskog sistema. U unutrašnjosti rezervoara montirani su izmenjivači toplote, u kojima se zagreva hladna voda koja odlazi u sistem snabdevanja toplom vodom posredstvom termostatičnih regulatora.

Sistem centralnog električnog grejanja za stambene i administrativne zgrade tipa »Ambasador« sastoji se od uređaja za centralizovano upravljanje sa operativnom strujom do 80 A i električnih radijatora dimenzija 813 x 48 mm dvaju tipova: za rad u kombinaciji sa zidnim termostatom ili sa ugrađenim brzim termoregulatorom. Snaga svakog radijatora može pri montaži da se podesi na 1 ili 2 kW.

Firma »Russel Hobs-Sanhaus« izrađuje električne uređaje za grejanje: električni panel snage 6,5 kW sa dva paralelna kola predviđen za vešanje na zidu; električni otvoreni uređaj snage 1 kW sa reflektorom od eloksiranog aluminijuma, koji usmerava toplotne zrake prema dole; prenosni električni konvertor za postavljanje na podu snage 2 kW i dr. Ista firma izrađuje pokretne električne konvertore dužine 833, visine 470 i dubine 197 mm. Vazduh koji dolazi na grejače kroz otvore u donjem delu kućišta izlazi u gornjem delu ovog uređaja za grejanje.

FRANCUSKA

I u Francuskoj se zapaža izvesno povećanje primene električnog grejanja. Danas se u stambenim zgradama svake godine montira oko 20 000 električnih radijatora čija ukupna snaga iznosi oko 80 MW. Francuska industrija proizvodi električne radijatore sa direktnim grejanjem i sa delimičnim ili potpunim akumuliranjem toplote. U poslednje vreme u Francuskoj je za stambene i administrativne zgrade počeo da se koristi sistem grejanja električnim termoakumulacionim podovima, koji je vrlo ekonomičan, naročito pri maloj ceni noćne energije. Grejanje električnim termoakumulacionim podovima je jednostavno za montažu, a njime mogu da se opreme ne samo zgrade koje se tek grade, već i one koje se rekonstruišu.

S obzirom na veliku gustinu električnih mreža u Francuskoj i umerenu cenu električne energije, omogućena je egzistencija i perspektive razvoja električnog grejanja sa ugrađenim grejnim uređajima.

Pored izolovanog grejnog kabla običnog tipa, u Francuskoj su takođe razrađeni sistemi grejanja poda golim provodnicima, koji se direktno polažu u beton (bez izolacije).

U Francuskoj je 1971. god. bilo 11 000 instalacija električnog grejanja, što je 2,2 puta više nego 1968. Prema mišljenju francuskih stručnjaka tako brzi razvoj električnog grejanja postao je moguć zahvaljujući relativnoj stabilnosti cena električne energije, dok su se srednje cene druge robe široke potrošnje brzo povećavale.

Samo u provincijama Elzas, Lotaringija, Franš-Konte i u departmentu Gornje Marne u toku 1969, 1970. i 1971. godine počelo je da se koristi respektivno 30;34 i 39 hiljada stanova opremljenih električnim grejanjem. Ukupno u Francuskoj bilo je

do 1975. godine izgrađeno još 75 000 stanova sa električnim grejanjem. Taj se broj prekoračio — izgrađeno je preko 80 000 stanova opremljenih električnim grejanjem.

Godišnji priraštaj široke potrošnje električne energije iznosi 7% za celu zemlju, dok je u pojedinim područjima veći, što se tumači velikom primenom električnih aparata za domaćinstvo, i to uglavnom grejanjem stanova.

Analizom sprovedenom 1974. god. bilo je utvrđeno da se električno grejanje koristi ne samo u stambenim zgradama, već i u administrativnim i javnim zgradama.

U Francuskoj se proizvode uređaji tipa radijatora sa regulatorima, u kojima je električni grejač smešten u donjem delu i zagreva vodu u rezervoaru zapremine 2—3 l na temperaturu uključenja, pri čemu se kroz jedne cevi uređaja diže u gornji njegov deo stvorena para, a kroz druge cevi curi nadole kondenzat. Uređaji se izrađuju visine 70 i 55 cm, snage 1,2—3,0, odnosno 1,2—2,5 kW. Tri tipa uređaja za grejanje sa akumuliranjem toplote namenjeno je za grejanje stambenih zgrada. Električni termoakumulacioni uređaji prvog tipa su snage 3—6 kW i opremljeni su bešumnim ventilatorom, što omogućava da se zimi poveća odavanje toplote, a da se leti uređaj koristi za provetravanje prostorije. Uređaji drugog tipa su snage 3—8 kW. Izrađeni su isto kao i uređaji prvog tipa od čelika, ali su spolja obloženi drvenim politiranim pločama. Grejni uređaji trećeg tipa su snage 4—6 kW i predviđeni su za postavljanje u pregradnim zidovima pa mogu istovremeno da zagrevaju dve susedne prostorije.

U Francuskoj se izrađuju električni paneli sa termoregulatorima »Flexel« predviđeni za sisteme radijacionog električnog grejanja. Električni paneli se učvršćuju na plafonu. Njihovi električni grejači su dve bakarne trake debljine najviše 0,04 mm koje su pokrivene slojem izolacije. Ukupna masa 1 m^2 električnog panela je 450 g. Maksimalna temperatura takvog panela je 57 °C pri čemu temperatura zagrejane površine tavanice ne prelazi 45 °C. Potrebna snaga električnog panela iznosi u proseku 200 W/m^2 njegove površine. Odavanje toplote u prostoriju obavlja se uglavnom putem radijacione toplote, pri čemu dužina radijacionih talasa iznosi 9—12 mikrona. Zahvaljujući maloj masi, električni paneli imaju malu toplotnu inerciju. Ovo omogućava da se za kratko vreme zagreje vazduh u prostoriji na željenu temperaturu. Električni paneli mogu da se postavljaju u stambenim zgradama čiji spoljni zidovi imaju dobru toplotnu izolaciju i ako postoji prirodna ili mehanička ventilacija.

U Francuskoj dosta se koriste električni konvertori, analogni onim konvertorima u kućištima koji se koriste u sistemima vodenog grejanja. Tako, na primer, »Aplimo« isporučuje električne konvertore snage 1,25; 2,0; 3,0 kW koji se vešaju na zidovima. Temperatura zagrevanja panela ne prelazi 27 °C. Kućište električnog konvertora je izrađeno od čeličnog lima. Konvertori se opremaju termoregulatorima. Osim ovih izrađuju se i konvertori sa ventilatorima u 11 tipskih veličina snage od 3 do 23 kW.

ŠVAJCARSKA

U Švajcarskoj je do početka 1972. god. oko 4 700 stambenih zgrada i 400—500 dečjih vrtića i službenih prostorija bilo opremljeno instalacijama električnog grejanja.
U Švajcarskoj najviše se koriste električni termoakumulacioni uređaji snage od 2 do 8 kW i dubine 27 cm. Sva automatika za upravljanje je smeštena u kućištu 105 x 45 mm.

BELGIJA

U Belgiji električnim grejanjem oprema se do 15% novih stanove. Za grejanje novih vila u Belgiji se proširio sistem neprekidnog direktnog električnog grejanja. Ovaj sistem se koristi uz pojačanu toplotnu izolaciju zgrada. U zgradama sa neznatno pojačanom toplotnom izolacijom koristi se grejanje električnim termoakumulacionim pećima. Utvrđeno je da za prilike ove zemlje najpovoljniju varijantu predstavlja električno grejanje, kako lokalno uz korišćenje prenosnih električnih termoakumulacionih uređaja, tako i radijaciono-konvertorsko uz korišćenje podnih, zidnih i tavaničnih električnih termoakumulacionih panela.
U Belgiji električno grejanje počelo je da se koristi 60-ih godina. Godine 1970. u zemlji je bilo oko 10 000 prostorija opremljenih instalacijama električnog grejanja.

DANSKA

U Danskoj je u periodu od 1965. do 1970. godine za grejanje raznih prostorija bilo instalirano 525 000 električnih radijatora. Od toga oko 60% je instalirano za grejanje novih stambenih zgrada, a oko 40% za zamenu postojećih klasičnih uređaja za grejanje u starim stambenim zgradama.

NORVEŠKA

U Norveškoj električno grejanje koristi se više od 35 godina. To se tumači naročitom strukturom elektroenergetskog bilansa, za koji je karakteristično preovlađivanje hidroenergije. Danas se u Norveškoj koristi električno grejanje u približno 50% stanova. U nekim brdskim naseljima električno grejanje obuhvata 100% zgrada. Koristi se pretežno grejanje električnim panelima otvorenog tipa, jer primena električnog termoakumulacionog grejanja pri tako visokom stepenu korišćenja električnog grejanja ne bi dovelo do izravnavanja dijagrama opte-

rećenja elektroenergetskog sistema Norveške, već bi stvorilo noćni vrh u dijagramu opterećenja.

ŠVEDSKA

Do 1963. god. u Švedskoj se električno grejanje praktično nije koristilo. U prizemnim zgradama preovlađivalo je grejanje pećima, loženim čvrstim gorivom (drva, koks), a u višespratnicama peći su ložene tečnim gorivom. U toku sledeće tri godine u vezi sa smanjenjem tarifnih stavova električne energije za domaćinstva za 15—20% počelo je da se primenjuje električno grejanje — pre svega u reonima prizemnih odvojeno postavljenih zgrada. Potkraj 1966. god. električno grejanje već je obuhvatilo 43 000 kuća sa po jednim stanom (3% od ukupnog broja takvih kuća) uključivo veliki broj starih kuća koje su ranije grejane pećima, 10 000 stanova i društvenih prostorija u višespratnicama, kao i veliki broj vila. Budući da u Švedskoj postoji mala razlika u ceni između dnevne i noćne potrošnje električne energije, to se koristi pretežno direktno električno grejanje električnim panelima otvorenog tipa. Proračuni su pokazali da je za relativno velike gradove sa velikom gustinom ubranizacije najekonomičnije centralizovano snabdevanje toplotom iz toplana — elektrana i velikih kotlarnica. Za manja naselja, naročito kada zgrade stoje odvojeno, električno grejanje je ekonomski opravdano.

Analize švedskih ekonomista su pokazale da su individualnim stambenim zgradama površine do 100 m^2 (ovo je približno dva puta više od stana koji se smatra standardnim u Švedskoj) troškovi grejanja pri raznim vrstama goriva i pri korištenju električne energije približno su jednaki. U stambenim zgradama s većim brojem stanova (u višespratnicama) električno grejanje je skuplje od grejanja vodom (s izvorom proizvodnje toplote koji radi na tečnom gorivu ili na gradskom gasu).

Godine 1970. u Švedskoj se električno grejanje koristilo u 120 000 porodičnih kuća (8%) i u oko 20 000 višespratnica (1%). Do 1975. god. 40 000 porodičnih kuća (25%) i 88 000 (4%) stambenih višespratnica prešlo je na električno grejanje.

Potrošnja električne energije za grejanje zgrade u Švedskoj inzosila je 1971. god. 2,6 TWh ili 11% ukupne potrošnje električne energije za široku potrošnju i komunalne potrebe. U bolnicama i velikim trgovačkim centrima koriste se električne toplotne pumpe, koje, sa jedne strane, dovode hladnoću za rashladne instalacije i frižidere, a , sa druge strane — toplotu za grejanje prostorije. Takve toplotne pumpe, koje, sa jedne strane, dovode hladnoću za 60%. Međutim pri spoljnoj temperaturi ispod —5 °C treba da se koristi instalacija dodatnog grejanja.
Za Švedsku je poslednjih godina karakteristično korišćenje sistema električnog grejanja pri izgradnji novih reona. Prema proračunima troškovi korišćenja električnog grejanja približno su isti kao i za grejanje tečnim gorivom. Pri proračunu izdataka na električno grejanje uzeta je u obzir sva potrebna oprema, dodatna toplotna izolacija, trostruki prozorski ramovi, pogonski troškovi. Većina polaznih podataka je usvojena na osnovu prakse.
Godine 1971. broj individualnih zgrada, opremljenih električnim grejanjem, iznosio je 20 000. Do 1972. god. nastanjeno je 30 000 stanova sa instalacijama električnog grejanja u višespratnim zgradama. Pretpostavlja se da će do 1985. god. ukupan broj stanova opremljenih instalacijama električnog grejanja dostići 1 000 000.
U Stokholmu postoji gradska četvrt sa električno grejanim trotoarima radi otapanja snega. To je najbolji dokaz da u Švedskoj, a i u drugim skandinavskim zemljama, razvoj električnog grejanja ponajmanje zavisi od problema snabdevanja naftom i njenim derivatima. Drugim rečima, sa porastom cene nafte još se šire otvorila vrata za veće korišćenje električnog grejanja.

FINSKA

U Finskoj je električno grejanje dobilo znatan razvoj samo poslednjih godina. Godine 1975. oko 4,5% ukupnog stanovništva Finske koristilo je električno grejanje, a 1980. god. već oko 10% ukupnog stanovništva zemlje.
Prema prognoziranju finskih stručnjaka u 1985. 16% ukupnog stanovništva Finske koristiće električno grejanje, a 1990. god. već 21%.
Godišnja potrošnja električne energije za potrebe grejanja iznosiće respektivno 7,4 i 11,0 GWh, dok je 1975. god. iznosila 1,7 GWh, a 1980. god. 4.0 GWh. Radi upoređenja treba reći da je 1970. god. samo 1,4% celokupnog stanovništva koristilo električno grejanje, dok je ukupna potrošnja za potrebe grejanja iznosila 0,15 GWh.
U Finskoj se smatra da je najefikasniji sledeći odnos sistema električnog grejanja: električno termoakumulaciono grejanje —50 procenata; električno grejanje van vršnih opterećenja elektroenergetskog sistema (sa kratkotrajnim isključenjima) — 35%; direktno grejanje (sa smanjenjem snage za 30% u časovima vršnih opterećenja sistema) — 15%. Opravdanost takvog odnosa se tumači time što nema dovoljno akumulacionih sistema da bi se potpuno izravnao dijagram opterećenja elektroenergetskog sistema zemlje. Zbog toga moraju da se koriste razne vrste sistema električnog grejanja.

SAVEZNA REPUBLIKA NEMAČKA

U SR Nemačkoj su iz početka opremane instalacijama električnog grejanja uglavnom škole i dečji vrtići, ali poslednjih godina električno grejanje se sve više proširuje i na stambeni fond zemlje. Na početku 1967. god. u SR Nemačkoj bilo je 120 000 stanova grejanih električnom energijom. Ovde se uglavnom koriste električne termoakumulacione peći, koje se pune za vreme nižih tarifnih stavova.

Ukupna snaga električnog grejanja u SRN je porasla do 3,8 GW u 1968. god. na 9,8 GW u 1970, a 1976. god. već na oko 18 GW. Prosečna godišnja potrošnja ovih uređaja iznosi 6—7 TWh. Poslednjih godina u SRN pri izgradnji novih zgrada takođe se mnogo primenjuje grejanje električnim termoakumulacionim podovima. U perspektivi će se, verovatno, najviše primenjivati električni termoakumulacioni uređaji.

U SRN električno grejanje se koristi i pri izgradnji novih stambenih četvrti i za ranije izgrađene zgrade. U gradu Gulbah bio je izgrađen stambeni blok sa električnim termoakumulacionim grejanjem. Prikupljeni podaci o korišćenju ove vrste grejanja poslužili su da se izvede zaključak da takvo grejanje može da konkuriše grejanju vodom iz toplana.

Prvo evropsko veliko naselje sa električnim grejanjem izgrađeno je u blizini grada Esena. Sve su zgrade ovde opremljene instalacijama električnog grejanja. Kao grejna tela koriste se električni radijatori punjeni uljem. Električna energija za grejanje se koristi samo noću. Zgrade imaju pojačanu toplotnu izolaciju koja služi istovremeno i kao zvučna izolacija. U svim prostorijama postoje termostati koji omogućavaju da se automatski održava zadata temperatura vazduha u svim prostorijama. Instalacija grejanja može prema želji da se koristi i leti za hladnih dana. Troškovi električnog grejanja su niži od troškova sistema centralnog grejanja. Električni radijatori su jednostavni za montažu, prikladno su spolja oblikovani, male su težine. Oni su jednostavni i pouzdani u eksploataciji. Ukupno je u naselju bilo montirano 500 000 električnih grejnih uređaja.

Proračuni izvedeni u SRN pokazali su da bi trebalo povećati toplotnu izolaciju zgrada u poređenju sa važećim normama radi postizanja najboljeg efekta električnog grejanja. Ulaganja radi izvođenja tako pojačane izolacije povećavaju cenu građevine u proseku za 15%, ali su troškovi eksploatacije zgrade obrnuto manji za 5%.

U SRN 1972. god. bilo je 1 200 000 stanova opremljenih instalacijama električnog grejanja prema 700 000 stanova 1970. god. i prema 50 000 stanova 1965. Do 1980. god. ukupan broj stanova opremljenih uređajima za električno grejanje već je dostigao oko 3 miliona, što predstavlja 12% celokupnog stambenog fonda SRN. Godine 1970. i 1972. ovaj pokazatelj je iznosio 3, odnosno 5%. U Hamburgu, na primer, udeo stanova opremljenih električnim termoakumulacionim grejanjem u ukupnom broju stanova u vremenu od 1965. do 1971. porastao je sa 0,35 na 7,0%, tj. skoro 20 puta. U celini, u toku desetogodišnjeg perioda od 1961. do 1971. snaga uređaja za električno grejanje u SR Nemačkoj porasla je 40 puta i dostigla 12 GW.

Prema prognozama stručnjaka iz SR Nemačke do 2000. god. približno 35% svih stanova u zemlji treba da bude opremljeno instalacijama električnog grejanja, čija će instalirana snaga dostići 95—110 GW. U SRN se smatra da je do 1980. godine ukupna snaga grejanja iznela 43—45 GW, a broj instalacija bio je 10 — 12 miliona.

Za razvoj električnog grejanja je karakterističan porast prodaje uređaja za grejanje brzog dejstva, koja je 1971. god. iznela 500, 1972. god. — 700, a 1973. — 900 000 komada.

Godine 1973. je 15% svih novosagrađenih stambenih zgrada bilo opremljeno centralizovanim sistemima električnog grejanja. Pretpostavlja se da je do 1980. god. centralizovano električno grejanje obuhvatilo 70 000 stanova.

I za SR Nemačku karakteristična je raznovrsnost tipova i sistema električnog grejanja. Tako, na primer, firma »Vitte Haustechnik« proizvodi nove kompletne električne termoakumulacione uređaje serije »IS« širine 96, visine 67 i dubine 32 cm, snage 3,4 i 5,0 kW. Ista firma proizvodi četiri serije električnih termoakumulacionih uređaja različitih spoljnih dimenzija snage od 1,5 do 8 kW. Ovi uređaji zadovoljavaju zahteve tehničke estetike i proizvode se u raznim varijantama spoljnog oblikovanja, uključivo oblaganje keramičkim pločicama. Firma »Vega Deutschland GmBH« je 1973. god. proizvela novu seriju električnih redijatora snaga 1,0; 1,5 i 2,0 kW. Dimenzije radijatora su: visina 550, širina 1 039, 1 510 i 2 000 mm, visine i 750 pri širini 810, 1 040 i 1 510 mm. Ima podataka i o novoj seriji uređaja snage do 8,0 kW sa tri cevna električna grejača. Ovi uređaji mogu da se koriste kako za zgrade klasičnog tako i za zgrade savremenog načina gradnje; visina im je 65, dubina 36 i širina 91 cm (6 kW), odnosno 123 cm (8 kW); za zgrade sa niskom prozorskom daskom visina iznosi 48, dubina 25 i širina 108 cm (3 kW), odnosno 123 cm (4 kW).

U SRN uveliko se koriste sistemi centralnog električnog termoakumulacionog grejanja koji obuhvataju: izvor toplote, akumulator toplote, izmenjivač toplote, sisteme za raspodelu toplote (cevovode), kao i odgovarajuće sisteme upravljanja i regulacije.

Tabela 1.

Dinamika instalisane snage sistema akumulacionog električnog grejanja i njen uticaj na koeficijent neravnomernosti dijagrama opterećenja ujedinjenog elektroenergetskog sistema Savezne Republike Nemačke

Godine	GW	Učešće u maksimalnom opterećenju sistema	Koeficijent neravnomernosti
1967.	2,4	0,08	0,34
1970.	9,5	0,27	0,58
1971.	13,2	0,35	0,71
1975.	23,1	0,46	0,81
1977.	26,4	0,46	0,82

Ovi sistemi se razlikuju po moći akumuliranja (potpuno ili delimično akumuliranje toplote), kao i pre-

ma sredini koja se koristi za akumuliranje toplote (voda, keramički materijali, mešavine soli, ulje). Najviše se koriste električni termoakumulacioni blokovi sa vodom, jer su najjednostavniji, najjevtiniji i najpouzdaniji u radu. Izvor toplote može da se nalazi neposredno u akumulatoru ili da se pripoji ispred njega. Takve instalacije uspešno se koriste za grejanje jednospratnih, dvospratnih i višespratnih zgrada, škola, administrativnih i javnih zgrada. Najveća takva instalacija nalazi se u Minsteru u zgradi zapremine oko 20 000 m^3 i obuhvata tri zasebna električna termoakumulaciona bloka sa površinom osnove 4 750 x 4 325 i visine 2 350 cm. Svaki se blok sastoji od po 90 čeličnih ćelija debelih zidova koje su napunjene solju i koja predstavlja termoakumulacionu sredinu. Postrojenje se koristi za zagrevanje vode koja odlazi u sistem za kondicioniranje vazduha i u centralni sistem vodenog grejanja. Potrebna snaga svakog bloka je 900 kW. Punjenje električnog termoakumulacionog postrojenja vrši se noću za vreme nižih tarifnih stavova.

U Erlangenu u jednoj zgradi od 28 spratova koristi se sistem centralnog električnog termoakumulacionog grejanja koji se sastoji od dva odvojena vodena kola: primarno kolo ima 5 kotlova sa elektrodama od po 1 000 kW (ukupni kapacitet 4,3 Gcal/h) i 9 cilindričnih rezervoara sa vodom, koja se u noćnim časovima zagreje do 107 °C, i od sekundarnog kola koje obuhvata vodom grejane radijatore i druge potrošače toplote koji se nalaze na svim spratovima.

U Nirnbergu u jednom od blokova dvospratnih i trospratnih zgrada za grejanje se koristi kotao sa elektrodama snage 500 kW. Ukupna potreba bloka u toploti iznosi 215 000 kcal/h. Zapremina bloka zgrada je oko 15 000 m^3, a površina koja treba da se greje iznosi 3 250 m^2. Maksimalna temperatura zagrevanja vode u kotlu je 97 °C. Vodeni akumulator toplote je prečnika 2,9 m, dužine 11,2 m i zapremine 70 m^3. Sistem je opremljen regulatorom temperature u svakoj prostoriji. Sistem radi po 1 800 h godišnje.

Bitnije, ali postepene promene u strukturi sistema grejanja u nas (u SR Nemačkoj) mogu da se očekuju tek posle dobijanja sibirskog gasa, napr. usled oslobađanja većih količina čvrstog goriva, koje se sada troši u gradskim plinarama, za potrebe elektrana, a i kao sirovine za potrebe hemijske industrije. U opštem energetskom planu SR Nemačke ima više varijanata, čije ostvarenje zavisi od roka početka korišćenja prirodnog gasa, a taj rok još ne može da se tačno odredi.

Do danas su ostvarena mnoga ranija predviđanja, a u nekim zemljama i premašena. Tako npr. od celokupne dužine gasovoda Urengoj-Pomary-Užgorod preostalo je da se izgradi do sovjetske granice manje od 1 000 km, što će se svakako obaviti 1983. god., jer se na trasi postavljaju kompeltne pumpne stanice sa kompresorima (sve sovjetske vrlo kvalitetne izrade), što mnogo ubrzava izgradnju.

SAVEZ SOVJETSKIH SOCIJALISTIČKIH REPUBLIKA

U Sovjetskom Savezu potrebe potrošača u toplotnoj energiji podmiruju se na bazi isporuke toplote za grejanje i snabdevanja vrućom vodom iz toplana — elektrana i centralizovanih reonskih kotlarnica, a perspektivno se predviđa i iz atomskih toplana — elektrana. Međutim, sa povećanjem nivoa elektrifikacije sve će u većoj meri rasti socijalne prednosti električne energije i kao univerzalnog oblika nosioca energije. Idućih decenija moguća je masovna elektrifikacija niskotemperaturnih procesa, uključujući i grejanje, dok za snabdevanje decentralizovanih potrošača električno grejanje može i sada da ispadne ekonomski opravdanije.

DEMOKRATSKA REPUBLIKA NEMAČKA

U DRN električno grejanje smatra se ekonomičnim pri korišćenju lokalnih električnih termoakumulacionih uređaja i instalacija, koji koriste povlašćenu noćnu tarifu električne enrgije. Sada se postavlja pitanje uvođenja u praksu centralnih električnih termoakumulacionih instalacija za podmirenje potreba u toploti sistema centralnog grejanja toplom vodom. Slična postrojenja, koja objedinjuju u jednom agregatu električni termoakumulacioni uređaj (izmenjivač toplote kroz koji cirkuliše voda lokalnog sistema grejanja) i aparate za regulaciju rada postrojenja, već se proizvode u industrijskim razmerama i koriste za vreme povlašćene tarife.

NARODNA REPUBLIKA POLJSKA

U NR Poljskoj poslednih godina se razvija električno termoakumulaciono grejanje u starim stambenim kvartovima, potiskujući grejanje pećima, loženih ugljem. Ova vrsta grejanja se posmatra u razmerama grada kao dopuna centralnom snabdevanju toplotom iz toplana — elektrana i reonskih kotlarnice.

NARODNA REPUBLIKA MAĐARSKA

Osnovnu vrstu električnog grejanja u NR Mađarskoj predstavlja lokalno grejanje sa korišćenjem električnih termoakumulacionih peći, koje se pune za vreme nižih tarifnih stavova.

NARODNA REPUBLIKA BUGARSKA

U NR Bugarskoj razrađena je shema snabdevanja toplotom domaćinstava i komunalnih objekata, prema kojoj se smatra da je optimalno koristiti električno termoakumulaciono grejanje u zonama neznatne gustine toplotnih opterećenja za 500 000—

—1 000 000 stanovnika, a grejanje električnim toplotnim pumpama u kombinaciji sa kondicioniranjem vazduha leti za 100 000—200 000 stanovnika u banjskim kompleksima crnomorske obale.

SOCIJALISTIČKA FEDERATIVNA REPUBLIKA JUGOSLAVIJA

Grejanje celih stanova električnim termoakumulacionim pećima je počelo da se koristi u većoj meri sredinom 60-ih godina. Prve električne termoakumulacione peći dočekala je jaka konkurencija grejanja mazutom, koje je zahtevalo manje investicije i strahovanja distributera električne energije od preopterećenja ionako nedovoljnih postrojenja za raspodelu električne energije. A i mogućnosti postrojenja za proizvodnju i prenos električne energije u sklopu udružene elektroprivrede tada su zaostajale iza potreba.

Dalji razvoj električnog grejanja odvijao se u znaku opšteg povećanja društvenog standarda i težnje za komforom, kao i primene električnog grejanja tamo gde ne mogu da se koriste druge vrste grejanja. Dakle, u oba slučaja bez nekih iscrpnijih ekonomskih analiza, jer su one jako otežane, pa čak i neizvodljive usled nestabilnih cena na jugoslavenskom tržištu i električne energije i svih vrsta goriva, kao i uređaja za razne sisteme grejanja.

Pod ovim okolnostima naša domaća industrija sredinom 70-ih godina već je proizvodila oko 150 hiljada električnih termoakumulacionih peći godišnje (»CER« oko 20—25; »ELIND« oko 30—35; »Magnohrom« oko 100 hiljada peći godišnje).

Razmišljajući o perspektivama razvoja i korišćenja električnog grejanja u nas, trebalo bi imati u vidu više okolnosti od značaja i za njegove korisnike i za elektroprivredne organizacije svih niova.

Relativno blagih zima 1980/81. i 1981/82. godine velik broj domaćinstava našao se u veoma teškoj situaciji jer nije mogao da obezbedi dovoljno zagrevanje stanova. Naročito teško bile su pogođene porodice sa malom decom, starijim osobama, bolesnicima i dr. usled neurednog snabdevanja mazutom naročito u manjim mestima, koji se sada praktično jedino i troši za grejanje stanova bez instalacija centralnog grejanja toplom vodom, a i u zgradama sa instalacijama centralnog grejanja toplom vodom nije bilo dovoljno toplo i usled oskudice u mazutu, a i usled raznih načina »štednje«: skraćivanje trajanja grejanja u toku dana, sniženja temperature tople vode itd.

U nedostatku peći za drva i ugalj (stare peći već su davno bačene i u malim mestima), kao i prostora za skladištenje uglja i drva, pogotovu u novijim zgradama, a u zgradama sa instalacijama centralnog grejanja u većini i bez dimnjaka, problem grejanja je rešavan stihijski putem grejalice i električnih termoakumulacionih peći u zavisnosti od materijalnih mogućnosti korisnika, a i slučaja, jer električne termoakumulacione peći ne čekaju kupce, već ih traže kupci, mada je njihova proizvodnja već dostigla oko 200 hiljada komada godišnje, što predstavlja godišnje povećanje opterećenja elektroenergetskog sistema SFR Jugoslavije za oko 500 MVA (snaga jedne termoelektrane nešto snažnije od prve faze TE Obrenovac, TE Sisak).

Pomanjkanje na našem tržištu dvotarifnih brojila, a naročito uklopnih časovnika (jer dvotarifna brojila mogu zameniti dva obična jednotarifna brojila sa uklopnim časovnikom i relejem za prekidanje, odnosno za zatvaranje naponskog kola brojila za vreme odgovarajuće tarife) nepovoljno pogađa i potrošača i elektroprivredne organizacije svih hijerarhijskih nivoa.

Potrošači, pošto dobijaju električnu energiju po istoj ceni u toku svih 24 časa, rađe koriste radijacione električne termičke uređaje, jer zahtevaju manje investicije, a brzog su dejstva i uključuju ih po potrebi, što se svakako poklapa i sa zimskim večernjim vrhom opterećenja. Električni termoakumulacioni uređaji koriste se mahom »protočno«, tj. istovremeno se pune i odaju toplotu jer se tako efikasnije iskorišćava toplota prikupljena u akumulirajućem jezgru, nego pri postepenom hlađenju od završetka punjenja do početka grejanja — uključenja ventilatora na termoakumulacionom uređaju.

Prema tome, elektroenergetski sistem i preduzeća za distribuciju električne energije nisu u mogućnosti da najprikladnije izregulišu svoj dnevni dijagram opterećenja, što ima teške ekonomske posledice.

Međutim, u nedostatku dvotarifnih brojila i uklopnih časovnika većina elektrotermičkih uređaja korišćena je i za vreme većih opterećenja, što se nepovoljno odrazilo na rad našeg elektroenergetskog sistema.

Takvo korišćenje elektrotermičkih uređaja materijalno pogađa i potrošače, a najviše porodice sa malom decom, starijim osobama, bolesnicima i dr.

Na taj način grejanje uopšte (snabdevanje mazutom nije garantovano, potrošnja električne energije bez dvotarifnih brojila skupa) postaje socijalni problem!

Za uredno korišćenje električnog grejanja uglavnom treba:

— obezbediti nemonopolističku i količinski dovoljnu proizvodnju dvotarifnih brojila, koja sada u nas proizvodi samo jedno preduzeće u ograničenom broju i po vrlo visokim (nepristupačnim) cenama
— uvesti mrežnu tonfrekventnu komandu umesto isto tako monopolistički skupih uklopnih časovnika (za uvođenje MTK ima više tehničko-ekonomskih razloga, o kojima se mnogo i pisalo i govorilo, a koje je uvidela i mala distribucija u Vrnjačkoj banji, a koji će se još jasnije uvideti u većim distributivnim organizacijama s obzirom na višestruku primenu MTK)
— odrediti tehničko-ekonomski obrazložene (stvarno kalkulisane) cene električne energije u časovima manjih opterećenja izvora, jer, izgleda, da važeći instrumenti za interni obračun proizvod-

nje u elektroprivredi ne stimulišu elektrane na veću proizvodnju, za rad »u traci«, tj. za tehničko-ekonomsku racionalnu proizvodnju sa stalno punim nazivnim opterećenjem, odnosno sa maksimalnim koeficijentom korisnog dejstva i maksimalnom proizvodnjom.

Usled neprekidnog i nezadrživog rasta potrošnje električne energije elektroprivreda mora da obezbedi dovoljnu snagu izvora, a pošto su sve hidroelektrane zavisne od meteoroloških prilika, a većina naših hidroelektrana još je i protočnog tipa, to za pouzdano pokrivanje najvećih godišnjih opterećenja, koja nastupaju po pravilu zimi kada su dotoci minimalni ili potpuno prestaju usled mrazeva, to se proizvodni kapaciteti moraju obezbediti u termoelektranama. S obzirom, pak, na neravnomernost dijagrama opterećenja našeg elektroenergetskog sistema (mesečni odnos maksimalnog i minimalnog opterećenja iznosi oko 4 : 1, a godišnji oko 8 : 1 i imaju tendenciju stalnog porasta, kao i u celom svetu), termoelektrane će raditi za vreme malih dnevnih opterećenja, tj. za vreme dolja dijagrama opterećenja našeg sistema sa tehničkim minimumom koji može biti reda čak 50% od njihove nazivne snage na praktično istim ne samo stalnim, već i istim promenljivim troškovima (potrošnja goriva, maziva, električne enrgije za pogon raznih pumpa, ventilatora, traka za dopremu uglja i dr.), kao i pri radu sa punom nazivnom snagom. Prema tome termoelektrane raspolažu i raspolagaće u doba malih opterećenja znatnim količinama neiskorišćene skoro besplatne električne energije, koja je dovoljna za podmirenje potreba nekih specijalnih potrošača čiji rad ne zavisi od doba dana. U red takvih potrošača spadaju svi električni termoakumulacioni uređaji i pre svega električno termoakumulaciono grejanje.

Prema tome ne bi bilo najpravilnije uslovljavati razvoj električnog termoakumulacionog grejanja posebnim investiranjem u izvore i postrojenja za prenos i distribuciju električne energije, jer se njihovi kapaciteti određuju, kao što je već rečeno, najvećim opterećenjima zimi, a ne potrebama električnog termoakumulacionog grejanja koje se uključuje u časovima malih opterećenja.

Veštačko prigušivanje potrošnje električne energije, npr. putem uvođenja visokih cena, ukidanje nižeg tarifnog stava za časove malih opterećenja sistema, limitiranje potrošnje po glavi korisnika ili domaćinstvu s velikim novčanim kaznama za prekoračenje predstavljaju pre svega drastične, ali malo efikasne poduhvate, jer neki potrošači, kao što su porodice sa malom decom, biće prinuđeni da ostanu gladni i u mraku da bi uštedili električnu energiju radi zaštite dece od hladnoće.

Štednja skupe uvozne nafte i naftinih derivata primorava da se u svim oblastima javnog života, industriji i drugim granama privrede prouči mogućnost njene zamene drugim oblicima energije, a pre svega električnom energijom koja je u nas jedina energija »domaćeg porekla«.

Tako, na primer, gradsko saobraćajno »Beograd« u tu svrhu od 5 200 miliona dinara, koliko se predviđa planom razvoja gradskog saobraćaja do 1985. god., najveći deo izdvaja za finansiranje izgradnje novih tramvajskih i trolejbusnih linija, koje bi zamenile oko 200 autobusa i na taj način bi se godišnje uštedilo velike količine skupe uvozne nafte. Sem toga, potiskivanjem autobusa iz najprometnijih delova grada ionako zagađeni beogradskih vazduh ostao bi »siromašniji« u ugljenim oksidima i smogu.

Sve ovo važi i za grejanje spaljivanjem mazuta bilo u javnim reonskim toplanama, bilo u individualnim pećima u zgradama bez centralnog grejanja: poslovnim, javnim, stambenim, kao i u dobrom delu prodavnica svih vrsta, skladištima itd.

O dugoročnoj strategiji snabdevanja stanovništva toplotom, tj. o planskom razvoju raznih načina grejanja, svakako će odlučiti naši najviši organi vlasti, ali za takvo odlučivanje pre svega elektroprivreda mora da pruži iscrpne tehničko-ekonomske podloge u pogledu perspektive električnog grejanja.

S obzirom na pitomo podneblje Jugoslavije ne može da se sumnja u dobre perspektive električnog grejanja u nas, a posebno u kombinaciji sa kondicioniranjem vazduha.

Sigurno je takođe da će i u nas naći primenu sistemi centralnog elektroakumulacionog grejanja kako pri rekonstrukciji zastarelih sistema grejanja, tako i iz razloga zaštite čovekove sredine naročito u velikim gradovima gde urbanizacija centralnih delova grada sprečava polaganje mreže grejanja toplom vodom ili gasom.

EKONOMSKO UPOREĐENJE DIREKTNOG I AKUMULACIONOG ELEKTRIČNOG GREJANJA

Razlika direktnog i akumulacionog električnog grejanja najpre se ispoljava u različitom uticaju na konfiguraciju i parametre dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskih sistema, koji imaju osetnu neravnomernost. Problem njihove regulacije nije nov i rešava se sa jedne strane stvaranjem energetskih blokova veće sposobnosti manevrisanja i specijalnih vršnih elektrana, a sa druge strane popunjavanjem dijagrama opterećenja elektroenergetskih sistema, i to u prvom redu za račun popunjavanja njihovih dolja.

U sadašnje vreme u tu svrhu mogu principijelno da se koriste akumulaciona postrojenja raznih vrsta koja omogućavaju da se vremenski razvuku procesi generacije i potrošnje energije i da se na taj način »ispegla« dijagram opterećenja generirajuće opreme, i to:

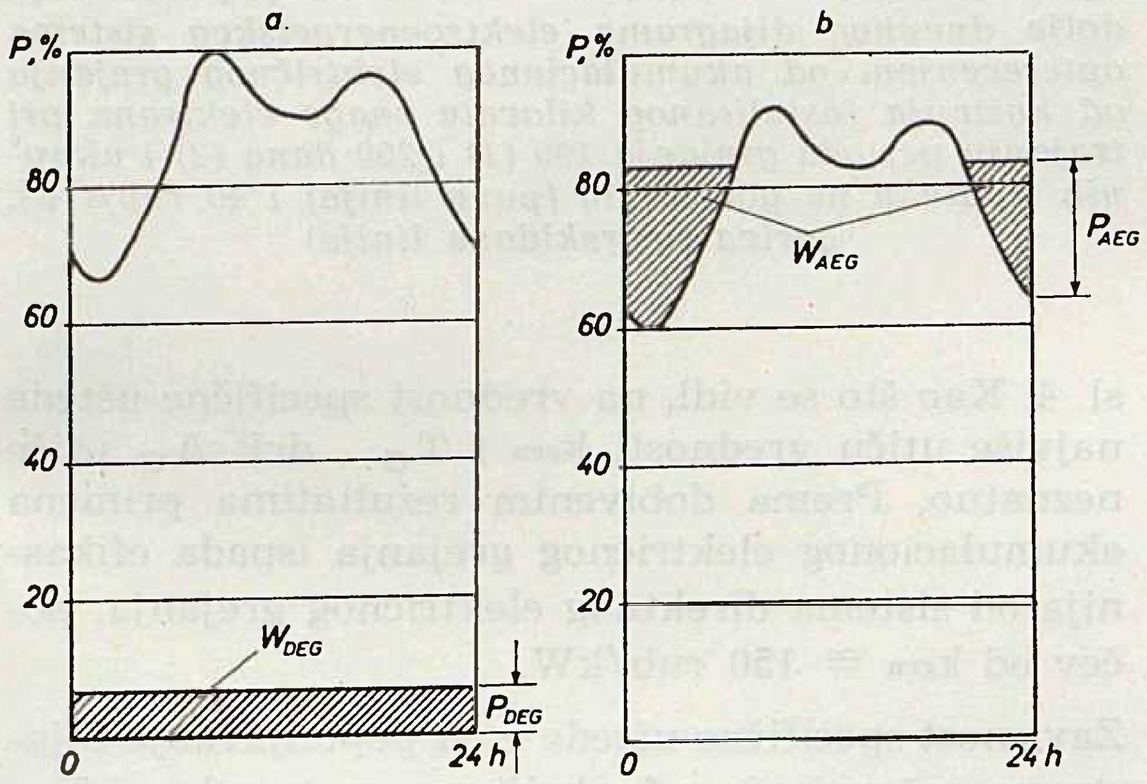
1. proizvodnja i akumulacija vodonika;
2. proizvodnja i akumulacija komprimovanog vazduha, mehaničke, električne i toplotne energije;
3. izgradnja pumpnih hidroelektrana.

Opravdanost primene svake od pomenutih vrsta postrojenja treba ekonomski dokazati. Najjedno-

stavniji način popunjavanja dolja dijagrama, uporedo sa izgradnjom pumpnih hidroelektrana, predstavlja akumulacija toplotne energije pomoću sistema akumulacionog električnog grejanja, koje čini celokupnost individualnih i centralizovanih kućnih instalacija, koje se sastoje od električnih grejnih elemenata, termoakumulacionih materijala (voda ili materije velikog toplotnog kapaciteta) i termoakumulacionog kućišta.

U slučaju sistema direktnog električnog grejanja maksimalno opterećenje elektroenergetskog sistema povećava se za vrednost ukupne instalisane snage svih uređaja za električno grejanje P_{DEG}(Sl. 3a), a potrošnja električne energije za 24 časa biće veća za

$$W_{DEG} = 24\ P_{DEG} \qquad (1)$$



Slika 3. Konfiguracija dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema, uzimajući u obzir opterećenje od električnog grejanja

a — direktno el. grejanje, b — akumulaciono el. grejanje

Za slučaj akumulacionog električnog grejanja količina električne energije, koja će se utrošiti u časovima noćne dolje W_{AEG} (sl. 3. b), odrediće se iz odnosa

$$W_{DEG}\,\eta_{DEG} \qquad W_{AEG}\,\eta_{AEG}$$

i pri koeficijentu korisnog dejstva sistema direktnog i akumulacionog električnog grejanja $\eta_{DEG} = 1$, odnosno $\eta_{AEG} = 0{,}98$ iznosi

$$W_{AEG} = 1{,}02\ W_{DEG} \qquad (2)$$

Ukupna snaga svih uređaja može da se nađe iz uslova analognog (1)

$$W_{AEG} = \bar{t}_p P_{AEG}$$

gde je:

$\bar{t}_p$ — prosečno trajanje punjenja jednog termoakumulatora, koje se određuje trajanjem noćne dolje dijagrama opterećenja. Pri trajanju dolje 6 časova snaga svih uređaja akumulacionog električnog grejanja biće:

$$P_{AEG} = W_{AEG} : 6$$

dok odnos snaga sistema akumalacionog i direktnog električnog grejanja s obzirom na (1) i (2) iznosi:

$$P_{AEG} : P_{DEG} = 4{,}2 \qquad (3)$$

Prema tome obe vrste električnog grejanja, mada su istovetne sa gledišta pružanja komfornih uslova potrošačima u vidu individualne regulacije temperaturnog režima, međusobno se razlikuju po uticaju na parametre i konfiguraciju dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema i, prema tome, na potrebe u instalisanoj snazi njihovih elektrana i režima rada generirajuće opreme, koja pokriva poluvršni deo dijagrama opterećenja. Sem toga upoređene vrste sistema električnog grejanja se razlikuju prema koštanju instalacija električnog grejanja i izdacima u električnim mrežama. Zbog toga procena relativne efikasnosti sistema direktnog i akumulacionog električnog grejanja treba da se vrši na osnovu sistemskog prilaza, uzimajući u obzir sve komponente troškova i u elektroenergetskom sistemu, a i u potrošača električne energije radi grejanja.

Godišnji ekonomski efekat od primene sistema akumulacionog električnog grejanja umesto direktnog može da se odredi prema obrascu:

$$E = A_{DEG} - A_{AEG} = k_{gen}\alpha_{sp}\alpha_{gub}\,P_{DEG}(E + a_{gen}) - k^m\,(P_{AEG} - P_{DEG})\,(E_n + a_m) - (k_{AEG}P_{AEG} - k_{,DEG}P_{DEG})\ x$$

$$x\ (E_n + a_{EG}\ ) + (W_{DEG}\,b - W_{AEG}b)\ T\ A \qquad (4)$$

$\alpha_{sp}\,\alpha_{gub}$

gde su:

A_{DEG}, A_{AEG} — godišnji aktualazirani troškovi za upoređene sisteme električnog grejanja

k_{gen}, k_m — specifična investiciona ulaganja u generirajuću opremu i električne mreže

α_{sp}, α_{gub} — koeficijenti koji uzimaju u obzir potrošnju električne enrgije za sopstvene potrebe elektrana i gubitke u mrežama

a_{gen}, a_m a_{EG} — odbitci na amortizaciju i održavanje generirajuće opreme, distributivnih mreža i u sistemu električnog grejanja

k_{AEG}, k_{DEG} — specifična investiciona ulaganja u instalacije akumulacionog odnosno diretknog električnog grejanja

$\tilde{b}$, $\bar{b}$ — specifična potrošnja uslovnog goriva po proizvedenom kWh pri radu sa promenljivim opterećenjem u poluvršnom delu dijagrama opterećenja, delu dijagrama opterećenja, odnosno u njegovom bazisnom delu

T_G — trajanje perioda grejanja, dana

A_G — ukupni izdaci na gorivo.

Za elektroenergetske sisteme, koji predviđaju primenu električnog grejanja, obrazac (4) može da posluži za procenu specifične uštede **e** usled popunjavanja noćne dolje dijagrama opterećenja putem korišćenja sistema akumulacionog električnog grejanja umesto direktnog električnog grejanja.

$$e = \frac{E}{W_{AEG}\ T_G} = \frac{1}{1{,}02 \cdot 24 T_G}\ k_{gen}\alpha_{sp}\alpha_{gub}\ (E_n + a_{gen}) -$$

$$- k_m\ (P_{AEG} : P_{DEG} - 1)\ (E_n + a_m) - (k_{AEG}\frac{P_{AEG}}{P_{DEG}}$$

$$- k_{DEG})\ x$$

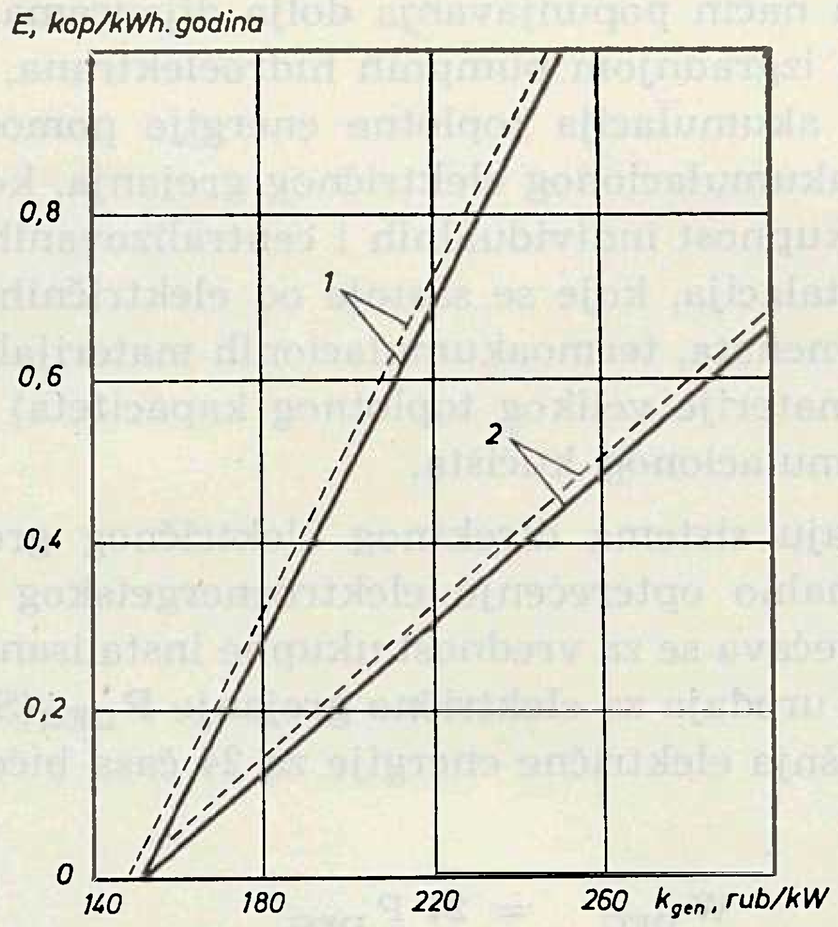
$$x\ (E_n + a_{EG})\ (b : 1{,}05 - \bar{b})\ A_G\ \alpha_{gub}\ \alpha_{gub} \qquad (5)$$

Obrazac (5) se koristi za procenu specifične uštede e pri popunjavanju dolje dijagrama opterećenja u zavisnosti od koštanja generirajuće opreme i goriva.

U (L.8) navode se rezultati proračuna koji su se izvodili pri sledećim brojčanim vrednostima pokazatelja u obrascu (5). Specifična investiciona ulaganja u elektrane k_{gen} usvojene su bile promenljive u granicama od 130 do 270 rub/kW. Početak raspona (130—150 rub/kW) odgovara specifičnim investicionim ulaganjima u kondenzacione elektrane na ugalj, njegova sredina (190—220 rub/kW) odnosi se na atomske elektrane sa reaktorima hlađenim i moderiranim vodom, a gornja granica na atomske elektrane sa reaktorima kanalnog tipa.

Sopstvena potrošnja električne energije ovih elektrana u proseku procenjena je na vrednost $\alpha_{sp} = 1{,}06$, Za specifična investiciona ulaganja u električne mreže usvojena je vrednost 20 rub/kW, za koeficijent gubitaka u mrežama usvojeno je $\alpha_{gub} = 1{,}1$. Za normative odbitaka na amortizaciju i održavanje elektrana, distributivnih mreža i sistema električnog grejanja usvojene su vrednosti: $a_{gen} = 0{,}08$; $a_m = 0{,}05$ i $a_{AEG} = 0{,}05$. Normativni koeficijent efikasnosti usvojen je prema njegovoj vrednosti u energetici, tj. da je $E_n = 0{,}12$ 1/godina. Specifična investiciona ulaganja u sisteme električnog grejanja su $k_{DEG} = 25$ rub/kW i $k_{AEG} = 40$ rub/kW. Poslednja vrednost zavisi od srednjeg trajanja punjenja elektrotermoakumulatora. Srednje vrednosti specifične potrošnje goriva u elektroenergetskim sistemima pri radu blokova kondenzacionih termoelektrana sa promenljivim i stalnim opterećenjem usvojena su: $b = 325$ g odnosno $\bar{b} = 315$ g uslovnog goriva. Ukupni izdaci na gorivo A_G usvojeni su u granicama od 10 do 40 rub/t us. goriva. Trajanje perioda grejanja varirano je od 100 do 200 dana.

Rezultati proračuna specifične uštede od popunjavanja noćne dolje dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema opterećenjem od sistema akumulacionog električnog grejanja u zavisnosti od koštanja instalisanog kilovata snage elektrana k_{gen} i ukupnih izdataka na gorivo A_G pri trajanju perioda grejanja T_G 100 i 200 dana prikazani su na



Slika 4. Zavisnost specifične uštede od popunjavanja dolje dnevnog dijagrama elektroenergetskog sistema opterećenjem od akumulacionog električnog grejanja od koštanja instalisanog kilovata snage elektrana pri trajanju perioda grejanja 100 (1) i 200 dana (2) i ukupnih izdataka na gorivo: 10 (puna linija) i 40 rub/t us. goriva (isprekidana linija)

sl. 4. Kao što se vidi, na vrednost specifične uštede najviše utiču vrednosti k_{gen} i T_G, dok A_G utiče neznatno. Prema dobivenim rezultatima primena akumulacionog električnog grejanja ispada efikasnija od sistema direktnog električnog grejanja, počev od $k_{gen} \cong 150$ rub/kW.

Zavisnost specifične uštede e od popunjavanja dijagrama opterećenja u funkciji parametara k_{gen} i T_G ima oblik:

$$e = \frac{1}{T_G}\ (0{,}95\ k_{gen} - 144) + (0{,}02\ \text{kop/kWh}),$$

gde su:

k_{gen} u rub/kW, a T_G dana.

Ukupni efekat primene akumulacionog električnog grejanja umesto direktnog električnog grejanja iznosi:

$$E = eW_{AEG}$$

i zavisi od udela snage akumulacionog grejanja u ukupnoj potrošnji električne energije u elektroenergetskom sistemu.

Razmatrana metodologija dvaju sistema električnog grejanja — direktnog i akumulacionog — može takođe da se koristi pri upoređivanju drugih grupa potrošača električne energije, koje se razlikuju prema režimu rada i uticaju na parametre dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema.

Primena sistema akumulacionog električnog grejanja umesto direktnog električnog grejanja efikasna je pretežno za područje sa kraćim trajanjem perioda

grejanja i pri velikoj ceni jednog kilovata instalisane snage novoizgrađenih elektroenergetskih postrojenja, što je karakterističnо za naše prilike.

LITERATURA

[1] Energohozjajstvo za rubežom. 1973, br. 1; 1974, br. 2; 1978, br. 6
[2] Elektro-Handel. 1970, br. 1
[3] Elec. Rev. 1977, br. 5; 1974, br. 6
[4] Elektrizitätswirtschaft. 1969, br. 1; 1968, br. 23
[5] El. Wolrd. 1970, br. 5; 1976, br. 3
[6] Bull. Schweiz. Elektrotechn. 1973, br. 1; 1977, br. 3
[7] El. Times. 1974, br. 7, br. 8, br. 11
[8] Energetika (Izv. vuzov SSSR), 1982, br. 7

KEY WORDS: ELECTRIC HEATING, HEATING SYSTEM, ECONOMIC COMPARISON OF HEATING

DEVELOPMENT OF ELECTRIC HEATING BY US AND IN THE WORLD

In the article is presented development of various electric heating systems in several developed countries. Discussed is development of electric heating by us, now-a-day conditions, possibilities and prospects of future planned use.

ENTWICKLUNG DER ELEKTRISCHEN HEIZUNG BEI UNS UND IM AUSLAND

In der Arbeit wurde die Entwicklung verschiedener Systeme der elektrischen Heizung in einer Reihe wirtschaftlich entwickelter Länder geschildert. Besprochen wurde die Entwicklung der elektrischen Heizung und die gegenwärtige Situation bei uns, unsere Möglichkeiten und Perspektiven ihrer weiterhin planmäßigen zielgerichteten weiteren Nutzung.

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРООТОПЧЕНИЯ У НАС И В МИРЕ

В работе показано развитие различных систем электроотопления в ряде экономически развитых стран. Рассматривается развитие электроотопления в СФР Югославии нынешние условия, возможности и перспективы его дальнейшего планово направленного более широкого применения.

Naslov pisca:

Kiril A. Tropin, dipl. ing.
11000 Beograd, Vj. Kovača 18
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1983—04—18.

UPUTE AUTORIMA

Uredništvo časopisa Eenergija nastoji da u pogledu forme bude po uzoru na svjetske standarde koji vladaju u stručnoj literaturi, a prema uputama našeg Referalnog centra.
U okviru tog nastojanja uredništvo je zaključilo da se točno pridržava pravila da se sve fizikalne veličine kao što su dužina *(l)*, vrijeme *(t)*, električni napon *(U)*, električna struja *(I)*, itd. tiskaju kosim slovima, a sve ostale oznake, kao kratice mjera (kW, A, V, tl) matematički znakovi, uključujući potencije i indekse, uspravnm slovima. Taj će se princip provoditi u tekstu, u formulama i na crtežima na što posebno upozoravamo naše suradnike.

Kao primjer neka posluži sljedeće:

a) Struja jednopolnog kvara

$$I_{Pk} = \frac{\sqrt{3}\ U}{I_k\ (2R_k + R_{ok}) + 3R_{\ N} + 3R_L}\ A$$

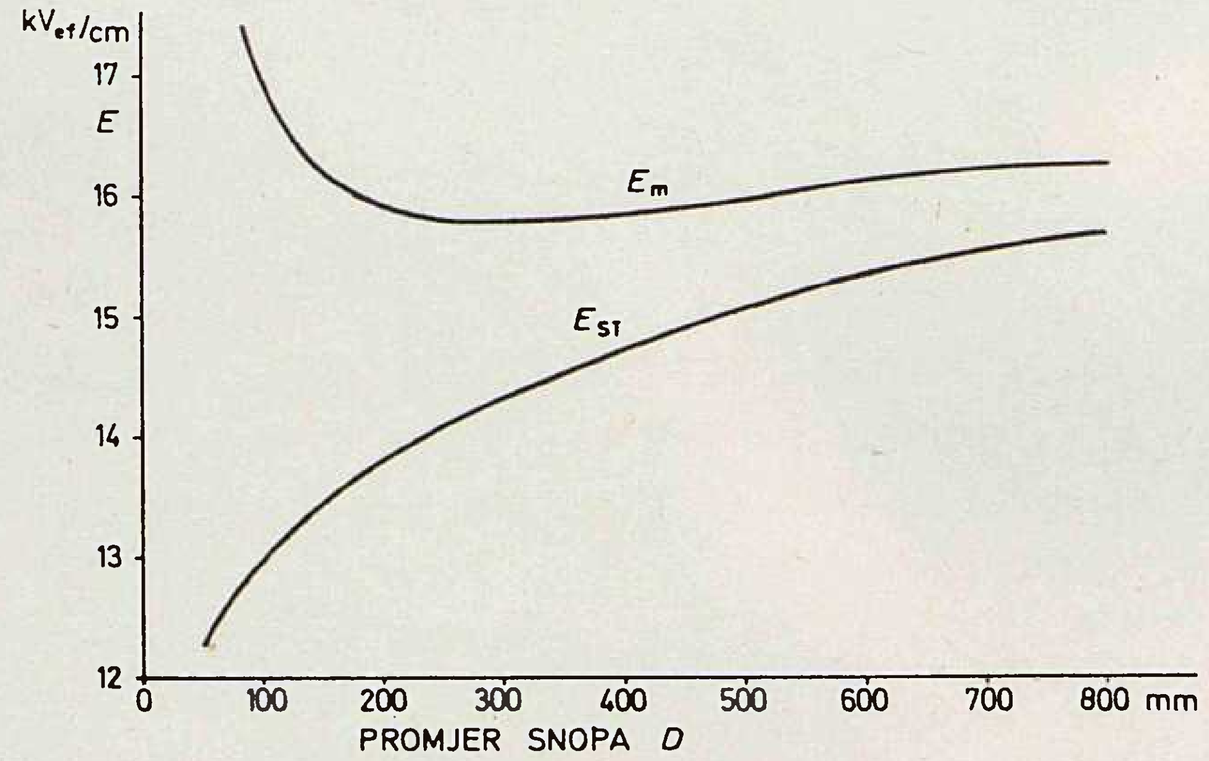
kako su *l, U, I i R* fizikalne veličine pišu se kosim slovima (kurzivom), a sve ostalo ravnim slovima:

b)

$$\cos\varphi + j\sin\varphi = e^{i\varphi}$$

U ovoj formuli u kurzivu je samo oznaka za kut φ.

c) Na priloženom dijagramu *E* i *D* su fizikalne veličine i pišu se kosim, a mjerne jedinice uspravnim slovima.



d) Članak koji nije pisan prema ovim uputama, neće se tiskati.

Uredništvo

TEČAJ O OSIGURANJU KVALITETE KOD IZGRADNJE NUKLEARNIH ELEKTRANA

U Zagrebu je od 2. do 27. travnja 1984. održan tečaj o osiguranju kvalitete pri izgradnji nuklearnih elektrana. Tečaj su organizirali Međunarodna agencija za Atomsku energiju (MAAE) iz Beča i Institut za elektroprivredu Zagreb u čijim je prostorijama i održan. Tečaju je prisustvovalo 27 polaznika iz gotovo cijele Jugoslavije, a predavanja su održali poznati strani i domaći stručnjaci s područja osiguranja kvalitete i problematike izgradnje nuklearnih elektrana.

Kako je došlo do organizacije ovakvog tečaja?

U sklopu priprema za izgradnju druge jugoslavenske nuklearne elektrane NE Prevlaka, kao i realizacije nuklearnog programa izrađene su između ostalih i studije o potrebnim kadrovima na nuklearnom području te o mogućnostima domaće elektrostrojogradnje na području proizvodnje opreme za nuklearne elektrane. Te studije su pokazale da je osiguranje kvalitete jedno od područja na kojemu treba izobraziti odgovarajući kadar, pogotovo stoga što se pri gradnji sljedećih nuklearnih elektrana očekuje i želi značajno učešće domaćih organizacija. Naime, postojanje i djelovanje sistema osiguranja kvalitete jedan je od osnovnih preduvjeta za uključivanje u aktivnost nuklearnog programa koje su vezane za sigurnost i pouzdanost nuklearnog objekta. Tako je rođena ideja o organizaciji tečaja o osiguranju kvalitete kojim bi se relativno velikom broju jugoslavenskih stručnjaka pružila dodatna izobrazba na tom području.

Kakva je uloga MAAE?

Međunarodna agencija za atomsku energiju iz Beča pruža raznovrsne programe tehničke pomoći zemljama članicama pa je tako i nama odobrena tehnička pomoć za realizaciju projekta NE Prevlaka. U okviru tog programa pomoći, za čiju koordinaciju je zadužen Institut za elektroprivredu, zatražena je početkom 1983. godine od Agencije pomoć za organizaciju tečaja o osiguranju kvalitete. Organizacija ovakvih tečajeva je već višegodišnja praksa Agencije kojom ona pomaže izobrazbu kadrova nerazvijenih zemalja.

Primjerice, Agencija organizira međunarodne i lokalne tečajeve iz raznih područja nuklerane tehnologije, pa je tako do sada organizirano i više tečajeva na temu osiguranja kvalitete. Na međunarodnim tečajevima iz osiguranja kvalitete koji su održani u Karlsruheu, SR Njemačka, i Argonneu, SAD, bilo je i nekoliko polaznika iz naše zemlje.

Nakon primitka zahtjeva za pomoć u organizaciji tečaja pristupilo se dogovorima o programu. MAAE je za organizaciju zadužio dr Nenada Rašića koji pri agenciji obavlja funkciju znanstvenog sekretara za područje osiguranja kvalitete.

Kakav je bio program tečaja?

Zaključeno je da program tečaja bude postavljen tako da slušaocima pruži osnovna znanja iz osiguranja kvalitete u relativno širokom rasponu s obzirom na to da je to prvi tečaj takve vrste organiziran u našoj zemlji i da je malen broj ljudi upoznat s pojmom i aktivnostima osiguranja kvalitete. Tečaj je bio prilagođen potrebama naših stručnjaka iz šire lepeze organizacija, raznovrsnih osnovnih obrazovnih profila ali onima koji već jesu ili će u neposrednoj budućnosti biti zaduženi za organizaciju i uspostavljanje sistema osiguranja kvalitete u svojim radnim organizacijama. Zbog toga što od učesnika nije bilo traženo prethodno iskustvo na osiguranju kvalitete pa ni uopće iskustvo na »nuklearnim« aktivnostima, tečaj je započeo s upoznavanjem slušalaca s aktivnostima i sudionicima u realizaciji nuklearnog objekta te s upoznavanjem s nuklearnom elektranom, ti-

Sudionici tečaja o osiguranju kvalitete pri izgradnji NE

Dr Nenad Raišić, IAEA, znanstveni sekretar za područje osiguranja kvalitete

povima reaktorskih postrojenja, sistemima i komponentama. Nakon toga prišlo se upoznavanju s osiguranjem kvalitete i aktivnostima u toku realizacije izgradnje nuklearnog objekta. Predstavljeni su propisi i standardi iz područja osiguranja kvalitete koje je objavila MAAE kao pomoć i smjernice zemljama koje nemaju vlastite propise iz tog područja. Nadalje je bilo riječi o pripremi programa za osiguranje kvalitete, organizaciji i potrebnom osoblju, kvalifikaciji i izobrazbi osoblja za osiguranje kvalitete, aktivnostima osiguranja kvalitete u toku određivanja lokacije NE, osiguranju kvalitete u toku projektiranja, nabave i proizvodnje opreme za nuklearne elektrane. Bilo je riječi i o najčešće korištenim metodama ispitivanja bez razaranja i s razaranjem radi kontrole kvalitete. Aktivnosti osiguranja kvalitete koje se provode prilikom montaže i ispitivanja ugrađene opreme na gradilištu bile su predmet sljedećih nekoliko

Dr Kaden, KWV, jedan od stranih predavača na tečaju

predavanja. Tečaj je završen prikazom aktivnosti osiguranja kvalitete u toku pogona nuklearnih elektrana te ekonomskih aspekata osiguranja kvalitete. Na kraju je upriličen završni razgovor sa sudionicima da bi se ocijenila uspješnost tečaja i radi stjecanja iskustava za daljnji rad.

Ukupni fond sati tečaja je bio 107, od čega je bilo 86 sati predavanja popraćenih dijaprojekcijama i filmovima, dok je preostalo vrijeme utrošeno na radne vježbe, demonstracije bezrazornih i razornih metoda ispitivanja, diskusije i posjet nuklearnoj elektrani Krško.

Završna diskusija o tečaju

Tko su bili predavači

Međunarodna agencija za atomsku energiju je za oko 60% predavanja osigurala poznate stručnjake na području osiguranja kvalitete iz gotovo svih vodećih zemalja isporučilaca nuklearnih elektrana. Uz dra Raišića (MAAE) predavanja su održali stručnjaci iz SAD, Francuske, SR Njemačke i Kanade. Kao domaći predavači sudjelovali su stručnjaci koji su dosadašnjim radom stekli značajna iskustva na području nuklearne tehnologije i osiguranja kvalitete. To su prije svega stručnjaci iz organizacija koje su obavljale poslove osiguranja kvalitete na našoj prvoj nuklearnoj elektrani NE Krško (Institut za elektroprivedu, Zagreb, Elektroinštitut »Milan Vidmar« — Ljubljana, Građevinski institut — Zagreb i Inštitut za metalne konstrukcije — Ljubljana), stručnjaci iz NE Krško, privrede (»Đuro Đaković«, TPK) i ostalih organizacija (Fakultet strojarstva i brodogradnje — Zagreb). Svako predavanje bilo je popraćeno opsežnim pisanim materijalima koji će, vjerujemo, dobro poslužiti polaznicima tečaja u daljnjem radu.

Kakav je bio profil polaznika tečaja?

Budući da je ovo bio prvi tečaj ovakvog tipa, bilo je osobito važno obaviti dobar odabir sudionika. Namjera je bila da se ovim tečajem dopunski izobrazi budući vodeći kadar na području osiguranja kvalitete u svojim radnim organizacijama. Nije postavljeno kao uvjet prethodno iskustvo na osiguranju kvalitete, ali je traženo dobro poznavanje problematike iz svojeg područja rada. Predviđeno je sudjelovanje sudionika iz redova budućih investitora izgradnje nuklearnih elektrana, kao i iz industrijskih i ostalih organizacija koje se namjeravaju uključiti u nuklearni program. Bili su okupljeni učesnici iz svih republika i pokrajina osim SR Crne Gore i SAP Kosovo.

Opći zaključci

Nakon završetka predavanja provedena je anketa s diskusijom koja je trebala ocijeniti uspješnost tečaja, izabran program, predavanja i predavače te ostale elemente potrebne za vrednovanje ovakvog načina dopunske izobrazbe. Opća je ocjena da je tečaj vrlo dobro organiziran i da je po svom programu ispunio očekivanja polaznika. Sugerirano je da se ovakav način izobrazbe kadrova nastavi i ubuduće uz prilagođavanje programa specifičnim potrebama pojedinih grupacija organizacija kao što su industrijska poduzeća (strojogradnja i elektroindustrija), projektantske i konzultantske organizacije, investitorske organizacije i sl. Time bi se postiglo proširenje i produbljenje osnovnih znanja stečenih ovim tečajem sa specifičnim aktivnostima koje na području osiguranja kvalitete trebaju provoditi pojedini sudionici u realizaciji izgradnje nuklearnih objekata.

Vladimir Bradač, dipl. ing.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

GOLEMA VJETRENJAČA U KANADI

Krajem 1985. bit će izgrađena golema vjetrenjača visine 110 m, snage 4 MW, koja će stajati 30 milijuna dolara. Vjetrenjača se gradi na ušću rijeke Sv. Lorenca u Kanadi. Grade je zajedno CNRC i Hydro Quebec. To je vjetrenjača s vertikalnom osi tipa »Darriens« građena prema pokusnom modelu od 230 kW koji je već u pogonu 6 godina na vjetrovitom otoku La Madeleine u zaljevu Sv. Lovrenc.
Ovaj će uređaj biti najjači te vrste na svijetu i moći će riješiti napajanje energijom onih izoliranih vjetrovitih dijelova zemlje do kojih je prijenos električne energije preskup. Kanadski stručnjaci smatraju da bi se ovakvim vjetrenjačama moglo pokriti oko 5% potreba električne energije u Kanadi.

(V) *Dimension Science* 1983. br. 6

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U FRANCUSKOJ 1983.

Prema privremenim podacima koje je objavio EDF potrošnja električne energije u Francuskoj iznosila je u 1983. godini 268 TWh, što predstavlja povećanje od 2,5% prema 1982. godini. Porast potrošnje na niskom naponu iznosio je 11,3%, a pad na visokom naponu 3,5%. Navedene su potrebe pokrivene ukupnom proizvodnjom od 283,4 TWh u čemu je obuhvaćen izvoz i potrošnja pumpnih elektrana. Proizvodnja se povećala prema 1982. godini sa 6%, a proizvedeno je u:

nuklearnim elektranama	137 TWh (+33%)
klasičnim termoelektranama	75,8 TWh (—18%)
hidroelektranama	70,6 TWh (bez promjena)

Nova postrojenja stavljena u pogon 1983. su sljedeća:

Nuklearne elektrane:
1 blok 880 MW, Crmas
2 bloka 910 MW, Blayais
1 blok 870 MW, Chinon B

Klasične termoelektrane:
1 blok 580 MW, Havre
1 blok 580 MW, Cordemais
1 blok 19,5 MW, Vazzio

što predstavlja ukupnu raspoloživu snagu od 4.200 MW prema 1400 u 1982.

Sagrađene su i neke nove proizvodne grupe u hidroelektranama:

1 grupa 39 MW u elektrani Lapara
1 grupa 9 MW u elektrani La Croux
2 grupe 55 MW u elektrani Saint-Guillerme.

Prijenosna mreža 400 kV povećana je za oko 650 km, a mreža 225 kV na oko 400 km.

(*RGE*, 1984, br. 1)

AUSTRIJSKA PRIJENOSNA MREŽA I NJENE VEZE S INOZEMSTVOM

Austrijska visokonaponska prijenosna mreža imala je neposredno nakon rata samo vodove 110 kV. Jedino veza grupe elektrana na krajnjem zapadu zemlje (Ieekraftwerke) s mrežom Zap. Njemačke bila je izgrađena za 380 kV već početkom tridesetih godina, ali u pogonu sa 220 kV unutar Austrije počela se izgrađivati tek nakon rata i danas je to glavni napon vrlo uzamčene zemaljske mreže.

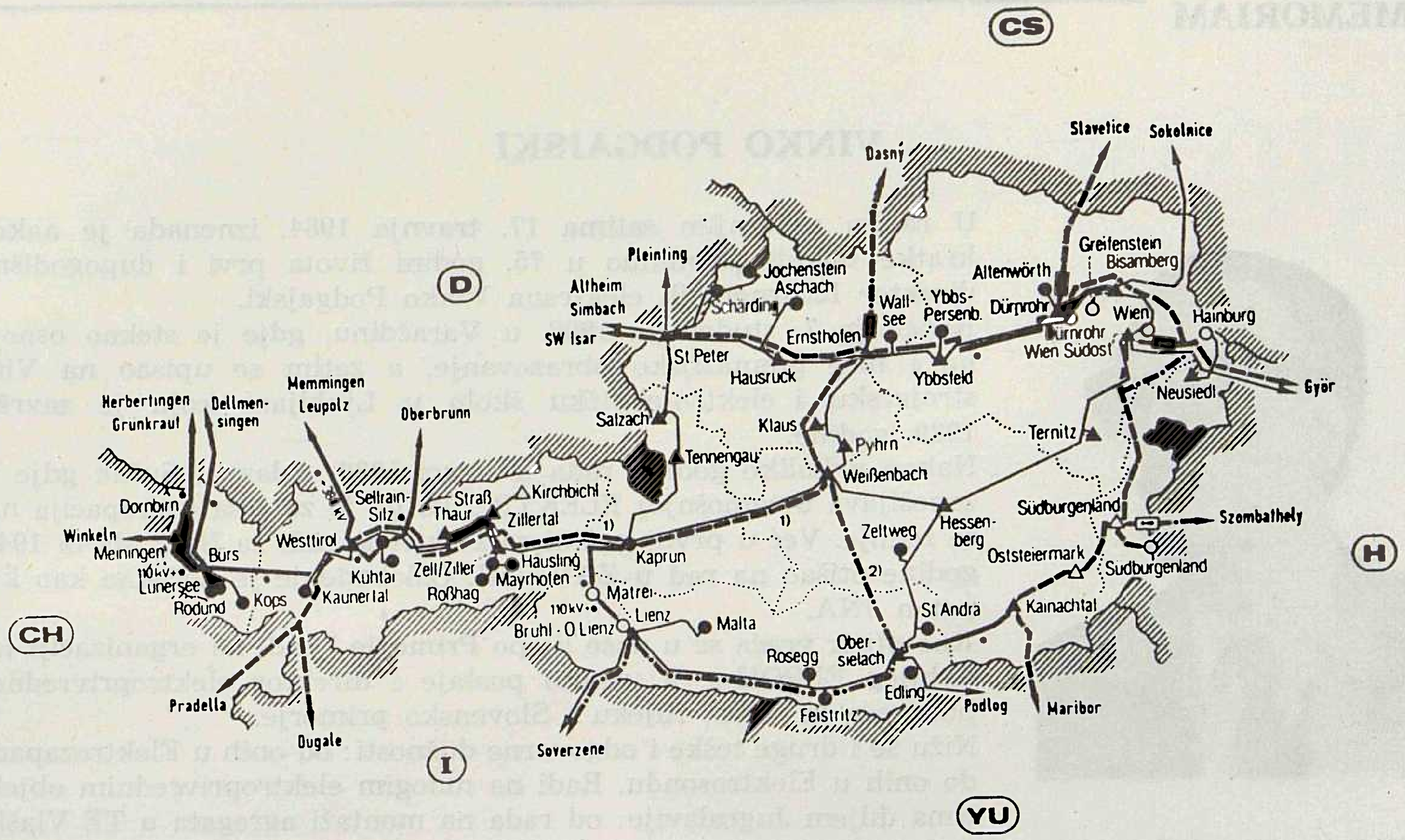
Sedamdesetih se godina počelo misliti na daljnju budućnost i graditi mrežu 380 kV čije su dionice stavljene tokom godina pod napon 220 kV. Godine 1980. stvorena je koncepcija izgradnje mreže 380 kV. Zbog poteškoća u zauzimanju trasa vodovi tog naponskog nivoa bit će najmanje dvosistemski. Za posebno opterećene poteze predviđaju se četverosistemski vodovi (npr, u 1985. godini dionica Dürnrohr-Wien-Südost). Konačnoj odluci o tehničkim parametrima vodova 380 kV prethodila su opsežna tehničko-ekonomska istraživanja uzimajući naravno u obzir i utjecaj na okoliš. Razmatrane su slijedeće konstrukcije snopova po fazi: 2 x 560/50 Ač, 2 x 680/85 Ač, 3 x 305/40 Ač i 4 x 240/40 Ač. Kao rezultat prihvaćen je vodič 2 x 680/85 Ač kao standardni za austrijske vodove 380 kV.

Pri razmatranju parametara transformatora veliku ulogu su odigrale mjere protiv prevelikih struja jednopolnog kratkog spoja. Zbog toga su za vezu mreža 380/220 kV uzeti tronamotajni transformatori 600/600/ /150 MWA, sa $\eta_k = 18{,}5\%$, a ne transformatori u štednom spoju. Ovi su transformatori regulacijski i to 400 $\pm$13 x 5/230/30 kV. Za vezu s mrežom 110 kV odabran je transformator 380/110 kV, 300 MVA.

Austrijska je mreža mnogim vodovima vezana za zapadnoevropsku i istočnoevropsku mrežu.

Austrijska mreža će pomoću svojih visokonaponskih veza izmjenjivati znatne količine električne energije sa zapadom i istokom. Na početku pedesetih godina, kad je formirana srednjoevropska organizacija UCPTE (23. 05. 1951.) sa razmjenom električne energije, uz ostalih 7 država priključuje se i Austrija. Organizacija se zatim proširuje priključenjem Španjolske i Portugala (UFIPTE) i Jugoslavije i Grčke (SUDEL). Početkom sedamdesetih godina izgrađen je 220 kV prsten (SUDEL-Ring) koji povezuje Austriju s Italijom (Lienz-Sovercene) i s Jugoslavijom (Obersielach-Podlog). Nakon pokusa od nekoliko godina od 1975. prsten je stalno zatvoren. Tokom daljnjih godina izgrađene su međunarodne veze vodovima 380 kV premda i danas još većina radi sa 220 kV. Veza 380 kV s Jugoslavijom (Kainachtal-Maribor) već je dogovorena.

Dok s ovim velikim evropskim sistemom može austrijska mreža raditi paralelno, to nije moguće s istočnoevropskom mrežom. Premda oba sistema imaju frekvenciju 50 Hz, način pogona i regulacije toliko je različit da je paralelni rad nemoguć. Prema tome razmjena električne energije može biti samo u otočnom pogonu. Pri tome se neka elektrana ili dio mreže odvoji od jednog sistema i priključi na drugi, pomoću međudržavnih prijenosnih vodova. Takva je veza 220 kV iz-



građena 1958. na liniji Bisamberg-Sokolnice (Čehoslovačka) i 1968. na liniji Wien-Südost-Györ (Mađarska). Premda je takav pogon predstavljao izvjesne poteškoće one su uspješno prebrođene, ali su preuzeti dijelovi sistema bili prilično ograničeni. Pravo tehničko-ekonomsko rješenje povezivanja s istokom vođeno je u istosmjernoj vezi koja je neovisna o frekvenciji povezanih elektroenergetskih sistema. No istosmjerni uređaj vrlo je skup i dolazi u obzir tek tada kad je potpuno osigurano njegovo puno iskorištenje.

Austrija je izgradila istosmjernu stanicu tipa »leđa uz leđa«, dakle u istoj stanici usmjerivački i presmjerivački uređaj, u mjestu Dürnrohr blizu Čehoslovačke granice i vod 380 kV do transformatorske stanice Slavetice (ČSSR) dužine 53,5 km. Stanica ima prelaznu snagu 550 MW, a povezuje obje zemlje na nivou 380 kV. Njezina je cijena, uključivši i dalekovod za Čehoslovačku, iznosila oko milijardu šilinga.

Ušla je u pogon u rujnu 1983.

Za budućnost se pružaju mogućnosti da se realiziraju još tri takve veze. Još jedna prema Čehoslovačkoj (Ernsthofen) i dvije prema Mađarskoj (Wien-Südost i Südburgenland). Pri tome se računa da bi u konačnoj izgradnji svaka od četiriju istosmjernih stanica imala prolaznu snagu od 1500 MW, što bi omogućilo izmjenu između istoka i zapada od 6 GW.

(*E und M* (V) 1983. br. 11) B. M.

VINKO PODGAJSKI

U ranim večernjim satima 17. travnja 1984. iznenada je nakon kratke bolesti preminuo u 75. godini života prvi i dugogodišnji direktor Kvarnerskih elektrana Vinko Podgajski.

Rođen je 7. studenoga 1909. u Varaždinu, gdje je stekao osnovno i niže gimnazijsko obrazovanje, a zatim se upisao na Višu strojarsku i elektrotehničku školu u Ljubljani koju je završio 1929. godine.

Nakon nekoliko godina rada u struci 1936. dolazi u Sušak gdje se zapošljava u tamošnjoj ELEKTRI. Tu ga je zatekla i okupacija naše zemlje. Već u prvoj godini rata aktivno radi za NOP, da bi 1943. godine otišao na rad u ZAVNOH. Oslobođenje je dočekao kao kapetan JNA.

Kao oficir vraća se u naše lijepo Primorje i radi na organizaciji tadašnjeg ELPOH-a, a uskoro postaje i direktor elektroprivrednog poduzeća za Istru, Rijeku i Slovensko primorje.

Nižu se i druge teške i odgovorne dužnosti: od onih u Elektrozapadu do onih u Elektrosondu. Radi na mnogim elektroprivrednim objektima diljem Jugoslavije: od rada na montaži agregata u TE Vlaška u Raši pa do sudjelovanja u izgradnji HE Nikola Tesla u Triblju.

Potkraj 1949. godine dolazi u Elektroprimorje, gdje je bilo u toku otcjepljenje distribucije od proizvodnje električne energije. Tim odvajanjem 1950. godine nastaje poduzeće »Elektrana« — Rijeka s dvije termoelektrane: TE Rijeka i TE Vlaška, u čiji sastav ulazi i sva prijenosna mreža ovog područja s trafo-stanicom Matulji. To poduzeće kasnije mijenja naziv u Kvarnerske elektrane Rijeka. Vinko Podgajski postaje prvi direktor novoosnovanog poduzeća i na toj je dužnosti do odlaska u mirovinu 1. travnja 1962, iako ostaje s nama do kraja 1965. godine.

S bogatim životnim iskustvom, pun elana, iako se tada raspolagalo skromnim sredstvima, prionuo je poslu boreći se za razvijanje radničkog samoupravljanja i za izgradnju novih elektroenergetskih postrojenja. Jedan od tih objekata je i naša HE Rijeka, za koju je od njezinih početaka dao veoma mnogo.

Vrlo je teško navesti sve oblike aktivnosti u njegovu dugogodišnjem radu jer je čitav njegov život bio ispunjen radom i neprekidnom težnjom za napretkom sredine i zajednice u kojoj je živio, za što je dobio i mnoga društvena priznanja.

Ne samo svojim stručnim, nego i ljudskim vrlinama davao je velik doprinos aktivnijem i svestranijem razvoju.

Iskrenim, otvorenim i prisnim nastupom zadobivao je povjerenje, a svojim optimizmom ulijevao snagu. To se uvijek osjećalo prilikom naših sastanaka, skupova i susreta. Uz njegovu vedru šalu i naši problemi su bili manji.

Svi smo voljeli i cijenili jedan poseban sklad njegovih ljudskih osobina: skromnost i mirnoću, čak neku povučenost, a istovremeno društvenost, otvorenost i srdačnost koja osvaja.

Uvijek ćemo se sjećati našega dragog prijatelja, dobrog i odanog druga, dugogodišnjeg vrijednog rukovodioca i suradnika — našeg dragoga barbe Vinka.

Otišao je, ali nije nestao. Ostala je njegova plemenitost, prijateljstvo, drugarstvo i toplo srce. Ostalo je toliko toga lijepoga i vrijednoga da ga nikada nećemo moći zaboraviti. H v a l a m u.

Mate Milčetić

UDK 621.31 ENJAAC 33 (4) - (1984) 285 – 360 YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Godište 33 (1984) Zagreb 1984 Br. 4

Izdavači:

Združeno poduzeće »Elektroprivreda«, Rijeka
Združeno poduzeće »Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Osijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

SADRŽAJ

Petrović B. — Urli N.: Proračun i eksperimentalna provjera karakteristika jezgre lakovodnog reaktora na primjeru NE Krško (Originalni znanstveni rad) 287

Granić G. — Zeljko M.: Korištenje sezonskih akumulacijskih bazena uz upotrebu linearnog programiranja (Originalni znanstveni rad) 295

Ožegović M.: Interpretacija rezultata jednofazne i trofazne Π-sheme dvostrukog dalekovoda (Originalni znanstveni rad) 301

Žutobradić S. — Filipović-Grčić B.: Proračun unutrašnjih prenapona u distributivnim mrežama uzemljenim preko otpornika (Prethodno priopćenje) 311

Naumovski Ivan: Visokonaponski sklopni aparati izolirani plinom SF_6 — sadašnjost i budućnost . . . 317

Rad Instituta za elektroprivredu u 1983. godini 319

Vijesti iz elektroprivrede 336

Iz strane stručne literature 337

Nove knjige 339

Oglasi 341

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1984 — 06 — 15

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 300 dinara, a za poduzeća i ustanove 1500 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

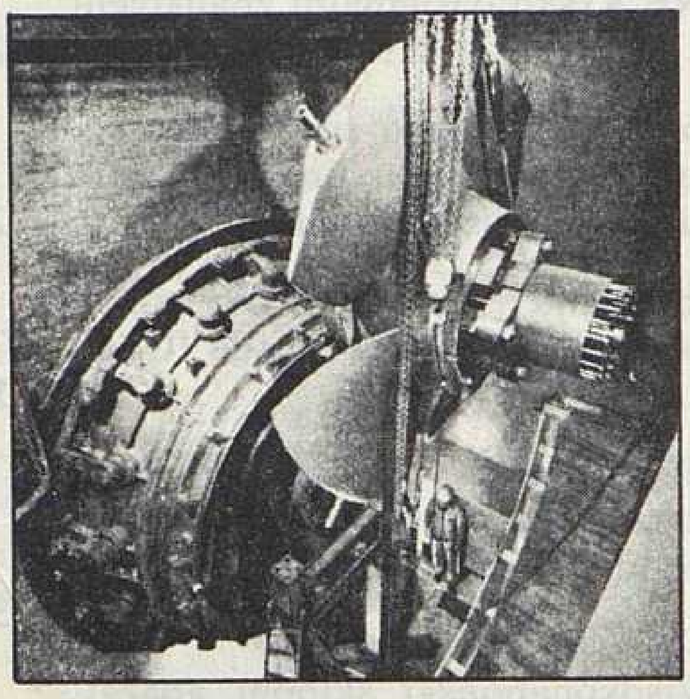
Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

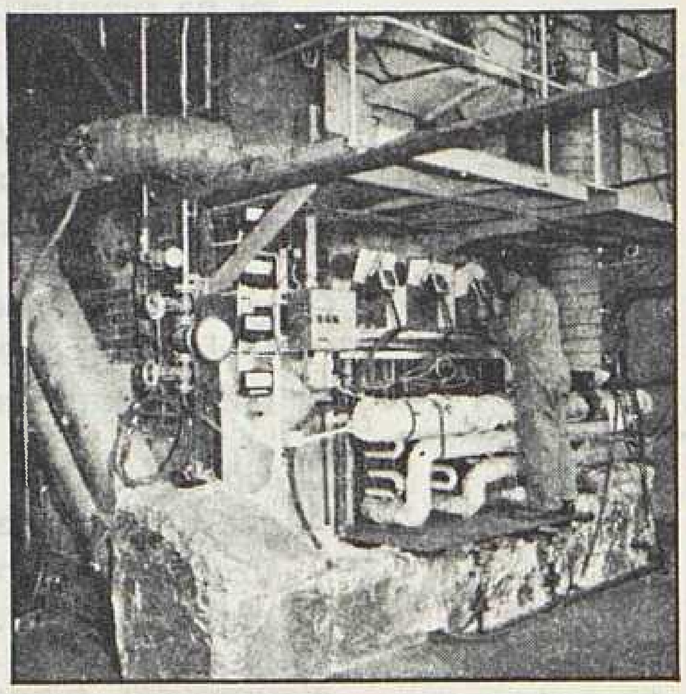
Bez obzira da li se govori o postrojenjima za proizvodnju pare, komponentama nuklearnih centrala, pumpama, cijevnim armaturama i regulacijakim sistemima, kombiniranim postrojenjima s plinskim turbinama i parnim postrojenjem, plinskim turbinama, vodenim turbinama, postrojenjima za rekuperaciju topline itd.

Sulzer je mjerodavan za energetsku tehniku

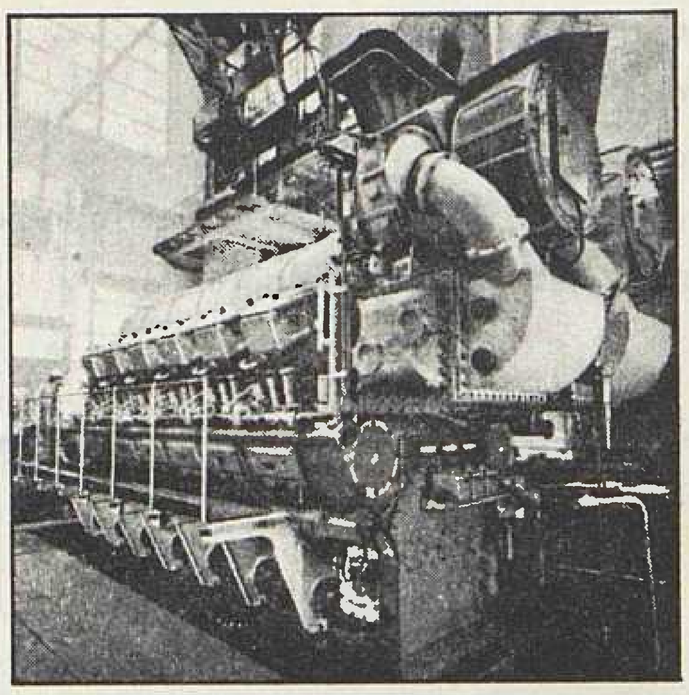
Evo tri primjera koji to i potvrdjuju:



Straflo®-turbine za »Annapolis Royal« prvu elektranu na plimu i oseku u Sjevernoj Americi.
U već postojećoj pregradnji jednog zaljeva u Kanadi izgrađena je elektrana 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 kotlovsko 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 896 06 011

SULZER®

1834-1984 SULZER

WiP 34 sk-1

PRORAČUN I EKSPERIMENTALNA PROVJERA KARAKTERISTIKA JEZGRE LAKOVODNOG REAKTORA NA PRIMJERU NE KRŠKO

Bojan Petrović i Natko Urli, Zagreb

UDK 621.039.51

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Razvijen je niz računskih programa za izračunavanje raspodjele snage i izgaranja goriva u jezgri nuklearnog reaktora. Usporedene su izmjerene i izračunate vrijednosti za vrijeme prvog ciklusa rada nuklearne elektrane Krško.

Ključne riječi: nuklearni reaktor, raspodjela snage, izgaranje

1. UVOD

Prva jugoslavenska nuklearna elektrana (Krško, 664 MW_e) započela je svoj drugi gorivni ciklus, a do 2000. godine planirana je izgradnja serije nuklearnih elektrana ukupne instalirane snage oko 3 000 MW_e.

Iako nuklearna elektrana kao cjelina — a napose jezgra reaktora — mora zadovoljavati vrlo raznolike i kompleksne kriterije, krajnji se cilj može jasno definirati: proizvodnja što jeftinije električne energije uz način rada koji osigurava poštivanje uvjeta sigurnosti, tehničkih specifikacija i potreba cjelokupnog energetskog sistema. Postizanje ovog cilja zahtijeva razvoj posebnih numeričkih metoda i tehnika te jake kompjutorske podrške. Jedna je mogućnost kupovina gotovog paketa kompjutorskih programa što ga nude pojedine strane firme. Tu, međutim, osim visoke cijene, postoji još jedna značajna mana. Zbog brzog razvoja nuklearne tehnologije i prilagođavanja specifičnim potrebama programe obično ubrzo nakon nabavke treba dopunjavati ili djelomično mijenjati, što za onoga tko u njihovoj izradi nije sudjelovao može biti veći posao od same izrade. Još lošija varijanta jest isključivo oslanjanje na analize i preporuke (stranih) proizvođača goriva. U najboljem slučaju dolazi se do optimalnog od ponuđenih (a ne od postojećih) rješenja, što ujedno znači i određen stupanj ovisnosti o proizvođačima goriva.

Dugoročno gledano, ipak je najsigurniji razvoj vlastitih metoda i paketa programa za optimalno upravljanje nuklearnim gorivom i ciklusom. Od dosad primjenjivanih pristupa rješavanju ovog problema najuspješnijim se pokazao modularni pristup za kojeg smo se i mi opredijelili (1, 2, 3). Optimalizacija velikog broja parametara svodi se na postepenu optimalizaciju pojedinih varijabli rangiranih po značenju. Ovaj pristup ne isključuje korištenje gotovih programa za pojedine faze, uz uvjet da njihova funkcija i veza s drugim programima budu jasno definirani.

Vjerojatno najosjetljivija (a ujedno i najskuplja) karika u nizu optimalizacijskih postupaka jest proračun raspodjele snage. Pokazuje se (4) da je prijeko potrebno raspolagati mogućnošću proračuna raspodjele snage na dva nivoa preciznosti. Proračun koji se izvodi mnogo puta radi traženja optimalnog razmještaja gorivnih elemenata obavlja se brzim kompjutorskim programom, naravno uz smanjenu preciznost.

Za detaljnu analizu ponašanja odabrane jezgre koja obuhvaća i određene sigurnosne aspekte potrebno je raspolagati znatno preciznijim programom (paketom programa). U Institutu »Ruđer Bošković« razvili smo ovakav paket programa dopunjavanjem programa BURSQUID i LEOPARD i njihovim povezivanjem s nizom vlastitih programa. Težište je ovog rada na ocjeni njegove pouzdanosti.

Dan je kratak opis paketa i opisani su pomoću njega napravljeni proračuni karakteristika prve jezgre reaktora NE Krško. Zatim je provedena detaljna analiza u kojoj se uspoređuju izračunate vrijednosti s vrijednostima izmjerenim u toku rada elektrane. Konstatirano je dobro slaganje, no uočena su i određena, doduše malena, sistematska odstupanja. Praćenjem promjene odstupanja kroz cijeli prvi ciklus od više mogućih uzroka određeni su najvjerojatniji. Odgovarajućom korekcijom i poboljšanjem ulaznih parametara postiže se još bolje slaganje izmjerenih i izračunatih vrijednosti. Na kraju su komentirane mogućnosti daljeg razvoja i primjene ovog paketa programa.

2. PAKET KOMPJUTORSKIH PROGRAMA BURSQUID — LEOPARD

Ovaj paket programa detaljnije je opisan u (4,5), a ovdje ćemo navesti najvažnije karakteristike pojedinih programa i dati kratak prikaz sheme njihova po-

vezivanja. Paket se sastoji od programa BURSQUID i LEOPARD i od niza vlastitih programa, a instaliran je na računalu UNIVAC 1100/42 Sveučilišnog računskog centra Zagreb. Primjenom tzv. overlay-tehnike postignuto je da stane onoliko programa unutar 64 kW centralne memorije, kolika je veličina standardne particije u sadašnjoj konfiguraciji SRC-a. Karakteristike najvažnijih programa su:

RIBOT-5 (6) (sastavni dio BURSQUID-a) jest 0-dimenzionalni ćelijski program. Upotrijebljen je za proračun makroskopskih udarnih presjeka i drugih parametara koji karakteriziraju elementarnu ćeliju i za određivanje izgaranja i promjene izotopskog sastava. Niz korelacija dobivenih eksperimentalnim mjerenjima i sistematskim proračunima za razne tipove, geometrije i obogaćenja osnovne ćelije ugrađen je u obliku analitičkih funkcija, što znatno ubrzava RIBOT-5 u usporedbi sa sličnim programima. Međutim, nije predviđena mogućnost proračuna udarnih presjeka za negoriva područja reaktora, a ni problem izgaranja gorivog otrova nije riješen na potpuno zadovoljavajući način.

SQUID (7) (sastavni dio BURSQUID-a) jest 2-dimenzionalni program za rješavanje difuzione jednadžbe (u x-y ili r-z geometriji) i određivanje raspodjele snage. U slučaju x-y geometrije treća se dimenzija može uzeti u obzir preko aksijalnog »bucklinga« B_z^2. Verzija koju smo koristili dopušta do 5 energetskih grupa, do 10 000 točaka (do 20 000 u slučaju dijagonalne simetrije) i podjelu prikazanog dijela reaktora na do 200 područja.

BURSQUID je nastao kombinacijom prethodnih dvaju programa. Udarni presjeci izračunaju se automatski RIBOT-om prije svakog difuzionog proračuna. Zbog već spomenute brzine RIBOT-a ovo ne utječe bitno na utrošak kompjutorskog vremena. Napomenimo da se u praksi češće primjenjuje drugi pristup, kod kojeg se udarni presjeci unaprijed izračunaju 0-dimenzionalnim ćelijskim programom (kakav je npr. LEOPARD) i tabeliraju u ovisnosti o odgoru, temperaturi i drugim parametrima. Spektar neutronskog fluksa (odnos fluksa brzih i termalnih neutrona u 2-grupnoj shemi) određen je pritom uz pretpostavku simetričnih rubnih uvjeta na granici elementarne ćelije.

Nasuprot tome, RIBOT koristi stvarni spektar dobiven pri prethodnom izvođenju difuzionog proračuna. Ovaj pristup trebao bi dati preciznije rezultate, pogotovo za gorivne elemente na rubu jezgre kod kojih je pomak spektra zbog utjecaja reflektora veći.

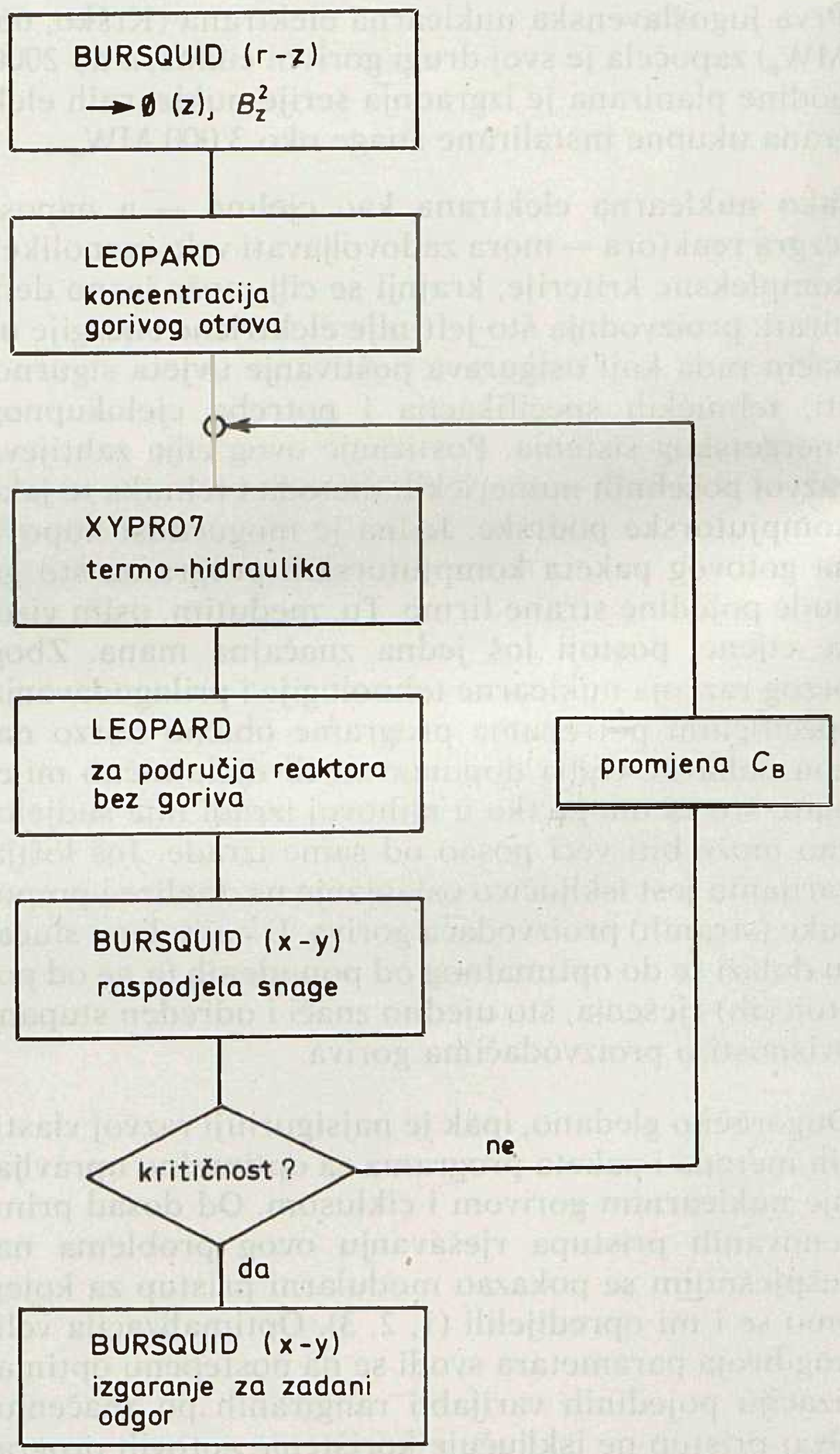
LEOPARD (8) je 0-dimenzionalni ćelijski program. U širokoj je upotrebi, pa smatramo da njegove karakteristike nije nužno ovdje navoditi. U našem paketu programa koristi se kao dopuna BURSQUID-u za određivanje makroskopskih udarnih presjeka negorivih područja reaktora i za proračun izgaranja gorivog otrova (^{10}B u formi šupljih štapova iz borsilikatnog stakla).

XYPRO7 i RZPRO5 korigiraju termohidrauličke parametre (temperatura i gustoća moderatora i sl.) na bazi prethodno izračunate raspodjele snage (u x-y odnosno r-z geometriji). Njihovi rezultati koriste se pri idućem proračunu raspodjele snage. Ovaj iterativni postupak ponavlja se do postizanja konzistentnosti rezultata. Rezultati niza iteracija konvergirat će rješenju u slučaju negativnog koeficijenta snage $c_p = \partial\rho/\partial p$ (ρ-reaktivnost, p-snaga), što iz sigurnosnih razloga mora kod svakog nuklearnog reaktora biti ispunjeno.

PMAX, BZ2, ISOTOPIC, CBREST, XYPICT itd. su manji programi za određivanje lokalnih maksimuma, aksijalnog »bucklinga«, praćenje izgaranja i promjenu izotopskog sastava po gorivnim elementima, područjima obogaćenja i za cijelu jezgru, pomoćni programi za obradu i ispis rezultata.

Iako program BURSQUID čini okosnicu paketa programa, bez ostalih programa i — što je još važnije — bez odgovarajućeg fizikalnog modela na temelju kojeg su svi programi povezani u cjelinu ne bi bilo moguće postići traženu preciznost.

Na sl. 1. prikazana je pojednostavljena organizacijska shema paketa programa BURSQUID — LEOPARD. Rješenje difuzione jednadžbe u r-z geometri-



Slika 1. Organizacijska shema paketa programa BURSQUID — LEOPARD

ji daje ujedno aksijalni profil fluksa ϕ (z), a odatle se programom BZ2 određuje aksijalni »buckling« B_z^2.

Određivanje raspodjele snage u r-z geometriji analogno je dalje opisanim proračunima u x-y geometriji, ali je ovdje, radi bolje preglednosti, prikazano samo kao jedno izvođenje BURSQUID-a. Kriterij za zaustavljanje iteracija u r-z geometriji jest postizanje konzistentnih rezultata s obzirom na termohidrauličke povratne efekte. Nakon završenih proračuna u r-z geometriji LEOPARD-om se računa koncentracija preostalog dijela gorivog otrova. Ti podaci prethodnog koraka izgaranja ulaze u iterativni proračun raspodjele snage u x-y geometriji. U jednoj iteraciji izvodi se program XYPRO7 (termo-hidraulički efekti), LEOPARD (određuje makroskopske udarne presjeke za područja reaktora bez goriva) i BURSQUID (proračun raspodjele snage). Ako kritičnost nije postignuta ($| k_{eff} - 1 | > \varepsilon$, ε unaprijed zadan), određuje se prema rezultatima prethodnih dviju iteracija nova koncentracija bora i ponavlja procedura.

Nakon postizanja kritičnosti BURSQUID računa promjenu izotopskog sastava za zadani korak izgaranja. Slijedi obrada rezultata pomoćnim programima, njihov ispis i spremanje na traku. Rezultati s trake koriste se kao nulta aproksimacija pri praračunu za sledeći korak izgaranja.

3. ANALIZA PRVE JEZGRE REAKTORA NE KRŠKO

3.1. Izvršeni proračuni

U sklopu provjere projekta prve jezgre reaktora NE Krško, koristeći se opisanim paketom programa BURSQUID — LEOPARD, bili su određeni svi važni fizikalni parametri jezgre (5).

Proračunima u r-z geometriji određen je aksijalni profil neutronskog fluksa za razne odgore. Ostali parametri određeni su proračunima u x-y geometriji, gdje je treća dimenzija (z tj. visina jezgre) uzeta u obzir putem aksijalnog »bucklinga«. Radi simetrije po osima i dijagonalama proračuni su rađeni za jedan oktant jezgre. Za pojedine gorivne elemente te po žaržama goriva (gorivni elementi istog obogaćenja) i za cijelu jezgru izračunata je raspodjela gustoće snage i njezin lokalni maksimum, izgaranje gorivog otrova, promjena izotopskog sastava (podsjetimo da je RIBOT računa posebno za svaki gorivni element ovisno o stvarnom spektru neutrona) i odgor. Također je određena kritična koncentracija bora u moderatoru C_B. Vrijednosti tih fizikalnih veličina izračunate su za sledeća stanja jezgre:

- BOL, HZP, ARO
- BOL, HFP, ARO, NoXe
- BOL, HFP, ARO, EqXe
- 1 000 MWd/MtU, HFP, ARO, EqXe
- 2 000 MWd/MtU, HFP, ARO, EqXe
- 4 000 MWd/MtU, HFP, ARO, EqXe
- 6 000 MWd/MtU, HFP, ARO, EqXe
- 8 000 MWd/MtU, HFP, ARO, EqXe
- 10 000 MWd/MtU, HFP, ARO, EqXe
- 12 000 MWd/MtU, HFP, ARO, EqXe
- 13 000 MWd/MtU, HFP, ARO, EqXe

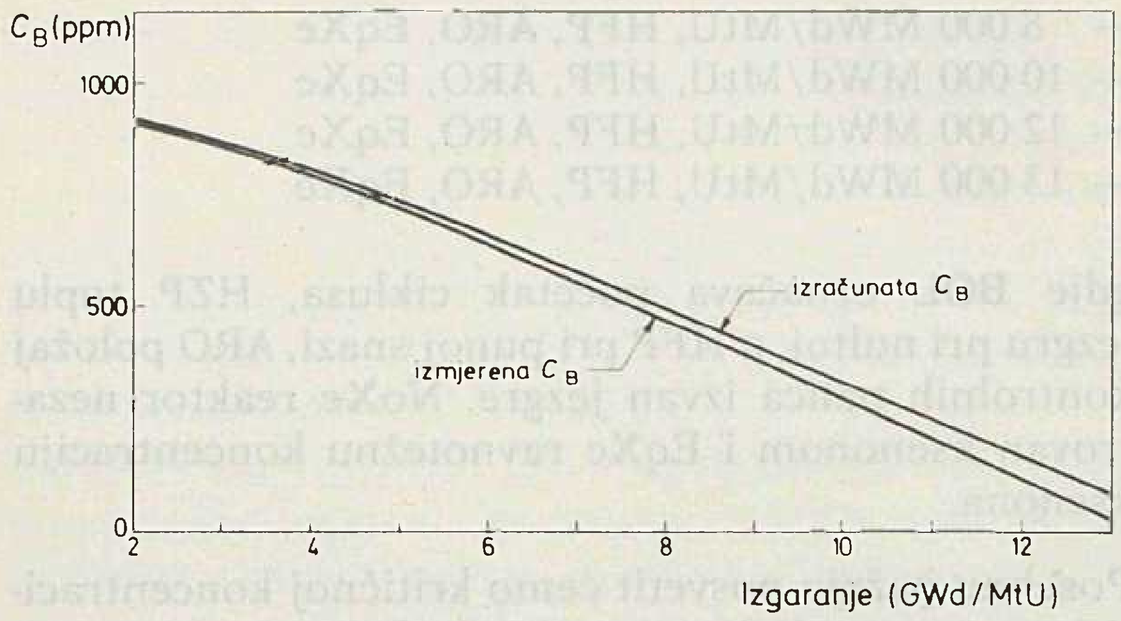
gdje BOL označava početak ciklusa, HZP toplu jezgru pri nultoj, a HFP pri punoj snazi, ARO položaj kontrolnih palica izvan jezgre, NoXe reaktor nezatrovan ksenonom i EqXe ravnotežnu koncentraciju ksenona.

Posebnu pažnju posvetit ćemo kritičnoj koncentraciji bora i raspodjeli snage. Ove veličine mogu se neposredno mjeriti, što omogućava direktnu usporedbu s iračunatim vrijednostima.

3.2. Kritična koncentracija bora C_B

Promjena kritične koncentracije bora u moderatoru u ovisnosti o odgoru u direktnoj je vezi s promjenom reaktivnosti jezgre u toku gorivnog ciklusa. S ekonomskog je aspekta vrlo važno poznavati te ovisnosti. Ono omogućava da se predvidi trajanje ciklusa, dakle i količina električne energije koja se do izmjene goriva može proizvesti.

Kao kraj ciklusa obično se uzima odgor kojem odgovara C_B od 10 ppm. Smatra se da tada jezgra još raspolaže dovoljnim viškom reaktivnosti za kompenziranje efekata izazvanih uobičajenim promjenama u režimu rada elektrane, kao što su manje promjene snage u skladu s potrebama energetskog sistema i odgovarajuće korištenje kontrolnih palica. Ako je moguće osigurati rad pod stabilnim uvjetima (bez spomenutih promjena), trajanje ciklusa može se produljiti sve dok C_B ne spadne na nulu. Nakon toga dodatnu mogućnost produljenja ciklusa daje smanjenje snage (zbog negativnog koeficijenta snage dolazi do povećanja reaktivnosti), tzv. »stretch-out«. Zbog navedenih razloga poželjno je da se C_B predvidi (izračuna) s preciznošću od 50 ppm ili većom. Usporedit ćemo vrijednosti C_B dobivene mjerenjem u toku prvog ciklusa NE Krško ($C_{B,m}$) i izračunate našim paketom programa ($C_{B,i}$) te komentirati razlike. Za nulti odgor i snagu tople jezgre $C_{B,m}$ i $C_{B,i}$ razlikovale su se samo 3 ppm. Zatim je C_B mjerena svakih 50 MWd/MtU. Tu su vrijednosti računski korigirane zbog odstupanja između stvarnih uvjeta i nominalnih (rad elektrane na punoj snazi s kontrolnim palicama izvan jezgre i uz ravnotežnu koncentraciju ksenona). Početkom prvog ciklusa elektrana je zbog testiranja i uhodavanja opreme radila u nestabilnim uvjetima i s vrlo promjenjivom snagom, pa korekcija na nominalne uvjete povlači za sobom dosta veliku grešku. Korigirane vrijednosti $C_{B,m}$ raspršene su, pa usporedba s izračunatim vrijednostima daje nekonzistentne rezultate. Ipak, prema dobrom slaganju $C_{B,m}$ i $C_{B,i}$ na samom početku ciklusa i slaganju nakon djelomičnog stabiliziranja režima rada može se zaključiti da bi i u početnom razdoblju slaganje bilo dobro da su uvjeti bili bliže nominalnima.



Slika 2. Izmjerena i izračunana kritična koncentracija bora u moderatoru za prvi ciklus NE Krško

Na sl. 2. prikazana je ovisnost $C_{B,m}$ i $C_{B,i}$ o odgoru. U skladu s prethodnim razmatranjima sam početak ciklusa nije prikazan. Razlika između $C_{B,m}$ i $C_{B,i}$ malena je u početku ciklusa, a povećava se prema kraju ciklusa, kada doseže oko 50 ppm. To pokazuje da bi se moglo raditi o jednom od sledećih uzroka:

a) Gorivi otrov izgara sporije no što je to proračunima predviđeno. Stvarna reaktivnost jezgre bila bi u ovom slučaju potkraj ciklusa manja od izračunate, pa bi i $C_{B,m}$ bila manja od $C_{B,i}$. Međutim, tada bi također izmjerena gustoća snage u gorivnim elementima u kojima je lociran gorivi otrov bila manja od izračunate, odnosno veća u preostalim gorivnim elementima. Takvih odstupanja nema pa ovu pretpostavku treba odbaciti.

b) Produkcija ^{239}Pu je sporija no što je to proračunima predviđeno. Sve dok se eksperimentalno ne odredi izotopski sastav goriva izvađenog iz reaktora, ovu je pretpostavku teško definitivno odbaciti ili prihvatiti. Protiv nje govori činjenica da se naši proračuni promjene izotopskog sastava dobro slažu s Westinghouseovim, a dobiveni su različitim ćelijskim programima.

c) U proračunima je upotrijebljen prevelik $\bar{\nu}_{zd}$ (prosječan broj neutrona po jednoj fisiji ^{239}Pu).

Ta pretpostavka povezana je s prethodnom. Naime, do nje vodi slično zaključivanje. Početkom ciklusa plutonija nema i slaganje $C_{B,m}$ i $C_{B,i}$ je dobro. S povećanjem koncentracije plutonija povećava se i razlika u kritičnoj izmjerenoj i izračunatoj koncentraciji bora. Jasno je da se nameće zaključak da je ta razlika uzrokovana upravo nekim parametrom vezanim za plutonij. Upravo spomenuti $\bar{\nu}_{39}$ najvjerojatniji je »krivac«, jer se i u literaturi navode za njega dosta različite vrijednosti (uobičajene su razlike od nekoliko postotaka). Da bismo provjerili tu pretpostavku, odredili smo kritičnu koncentraciju bora za odgore 10 000 i 13 000 MWd/MtU nakon smanjivanja $\bar{\nu}_{39}$ za malo više od 1%. Vrijednosti $C_{B,i}$ dobivene uz ovu korekciju odstupaju za manje od 5 ppm od $C_{B,m}$. Proračuni za iduće cikluse NE Krško s korigiranim $\bar{\nu}_{39}$ trebali bi definitivno potvrditi pretpostavku da je u tome bio uzrok odstupanja $C_{B,i}$ i $C_{B,m}$ u prvom ciklusu.

3.3. Raspodjela snage

Poznavanje raspodjele snage važno je i sa sigurnosnog i s ekonomskog stajališta. Pri projektiranju prve jezgre odnosno planiranja zamjene goriva teži se da se postigne što »ravniji« radijalni profil gustoće snage. Zbog manjih lokalnih maksimuma manja su termička naprezanja i mogućnost optećenja goriva, a smanjena je i mogućnost za DNBR. Gorivo ravnomjernije izgara, što omogućava bolje iskorištenje. Mjerenjem raspodjele snage provjerava se projekt jezgre i utvrđuje stvarni odgor goriva. Mjerenjem na maloj snazi početkom svakog ciklusa može se ustanoviti da li je gorivo pravilno uloženo u jezgru.

Za određivanje raspodjele snage u jezgri NE Krško koriste se neutronski detektori i termočlanci. Termočlanci su smješteni iznad aktivne jezgre, a broj im je približno jednak trećini broja gorivnih elemenata. Iz porasta temperature moderatora od dna do vrha jezgre određuje se raspodjela snage. Neutronskim detektorima snima se aksijalni profil neutronskog fluksa u određenom broju (oko trećine) gorivnih elemenata. Integracijom po visini i uzimajući u obzir nuklearne karakteristike svih gorivnih elemenata, ponovno se određuje raspodjela snage. Obje tako dobivene raspodjele snage kombiniraju se koristeći se težinskim faktorima. Rezultat je raspodjela snage koju ćemo zvati izmjerenom raspodjelom snage iako i ona u sebi uključuje fizikalni model i proračune. Za vrijeme mjerenja promjena ukupne snage treba biti što je moguće manja, a određeni period prije mjerenja reaktor mora raditi pod stabilnim uvjetima kako bi se izbjegao utjecaj tranzijenata. Ako su ove pretpostavke ispunjene i instrumentacija ispravno podešena, maksimalna greška mjerenja svodi se na nekoliko postotaka.

Radi provjere preciznosti našeg paketa programa usporedit ćemo izmjerenu i njime izračunatu raspodjelu snage za odgore od 1 000, 4 000, 6 000, 8 000, 10 000 i 13 000 MWd/MtU. Navedeni odgori odnose se na proračune i razlikuju se za do 300 MWd/MtU od odgora pri kojima su provedena mjerenja. Međutim, greška koju ova razlika unosi je reda veličine 0,1%, što možemo smatrati zanemarivim.

Na slikama 3.a do 3.f uspoređene su izmjerene i izračunate raspodjele snage za navedene odgore. Zbog simetrije podaci su dani samo za jedan oktant jezgre. Za svaki gorivni element navedeno je obogaćenje, izmjerena gustoća snage P_m, izračunata gustoća snage P_i i odstupanje ovih dvaju gustoća snage Δ. Gustoće snage su normalizirane prema prosječnoj gustoći snage tako da vrijedi:

$$\sum_{\substack{\text{po cijeloj}\\ \text{jezgri}}} P_m = \sum_{\substack{\text{po cijeloj}\\ \text{jezgri}}} P_i = 121 = \text{broj gorivnih elemenata}$$

Prikazana P_m za pojedini gorivni element oktanta zapravo je prosjek više izmjerenih P_m (j), j = 1,2 . . . , n_s koji se nalaze na simetričnim lokacijama u jezgri, tj.

$$P_m = \frac{1}{n_s} \sum_{j=1}^{n_s} P_m(j)$$

gdje n_s označava broj simetričnih lokacija. Za centralni gorivni element $n_s = 1$, za elemente na osima ili dijagonalama jezgre $n_s = 4$, a za preostale gorivne elemente $n_s = 8$.

Odstupanje je dano u postocima, a dobiveno je po formuli

$$\Delta = \left(\frac{P_m}{P_i} - 1\right) \times 100\%.$$

Na slikama su navedena i maksimalna odstupanja Δ_{max} i prosječna odstupanja Δ_s.

Najveće odstupanje naniže, tj. za koje je $P_m < P_i$, iznosi 8,0% (odnosno 6% u postocima pune snage reaktora), a pojavljuje se kod odgora od 4 000 MWd/MtU na gorivnom elementu na osi jezgre smještenom uz rub. Najveće odstupanje na suprotnu stranu, tj. za koje je $P_m > P_i$ iznosi 5,1% (također 6% u postocima pune snage reaktora). Općenito je na rubnim lokacijama $P_m < P_i$, a u centralnom dijelu jezgre $P_m > P_i$ i u tim područjima su razlike najveće. Kod gorivnih elemenata između ruba i centra odstupanja variraju oko nule i nisu značajna. Takva maksimalna odstupanja su kod proračuna raspodjele snage u jezgri reaktora prihvatljiva jer velik broj parametara na kompleksan način ulazi u proračune. Za ilustraciju nave-

2.1 1.189 1.139 +4.4%						
2.1 1.098 1.055 +4.1%	2.1 1.169 1.121 +4.3%					
2.1 1.157 1.107 +4.5%	2.6 1.108 1.081 +2.5%	2.1 1.161 1.126 +3.1%				
2.1 1.092 1.090 +0.2%	2.1 1.150 1.128 +2.0%	2.6 1.139 1.133 +0.5%	2.1 1.099 1.084 +1.4%			
2.1 1.113 1.131 -1.6%	2.6 1.107 1.122 -1.3%	2.1 1.076 1.072 +0.4%	3.1 1.024 1.032 -0.8%	3.1 0.671 0.677 -0.9%		
2.6 1.047 1.078 -2.9%	2.6 1.060 1.082 -2.0%	3.1 0.923 0.943 -2.1%	3.1 0.613 0.621 -1.3%			
3.1 0.738 0.795 -7.2%	3.1 0.605 0.637 -5.0%					

a)

Δ_{max} 7.2%
Δ_s 2.2%
1 000 MWd/MtU

2.1 1.217 1.171 +3.9%						
2.1 1.172 1.130 +3.7%	2.1 1.208 1.161 +1.0%					
2.1 1.195 1.149 +4.0%	2.6 1.210 1.161 +3.9%	2.1 1.180 1.119 +2.7%				
2.6 1.180 1.158 +1.9%	2.1 1.163 1.142 +1.8%	2.6 1.174 1.165 +0.8%	2.1 1.066 1.066 0.0%			
2.1 1.111 1.114 -0.3%	2.6 1.130 1.134 -0.4%	2.1 1.033 1.042 -0.9%	3.1 0.992 1.010 -1.8%	3.1 0.659 0.668 -1.3%		
2.6 1.024 1.048 -2.3%	2.6 0.996 1.020 -2.3%	3.1 0.861 0.887 -2.9%	3.1 0.591 0.606 -2.5%			
3.1 0.701 0.755 -7.2%	3.1 0.574 0.608 -5.6%					

c)

Δ_{max} 7.2%
Δ_s 2.4%
6 000 MWd/MtU

2.1 1.231 1.173 +4.9%						
2.1 1.169 1.111 +4.9%	2.1 1.216 1.157 +5.1%					
2.1 1.197 1.142 +4.8%	2.6 1.186 1.137 +4.3%	2.1 1.182 1.146 +3.1%				
2.6 1.159 1.134 +2.2%	2.1 1.168 1.141 +2.4%	2.6 1.160 1.154 +0.5%	2.1 1.070 1.072 -0.2%			
2.1 1.119 1.121 -0.1%	2.6 1.122 1.128 -0.5%	2.1 1.041 1.052 -1.0%	3.1 0.991 1.013 -2.1%	3.1 0.655 0.667 -1.8%		
2.6 1.029 1.056 -2.6%	2.6 1.012 1.039 -2.6%	3.1 0.874 0.904 -3.3%	3.1 0.589 0.608 -3.0%			
3.1 0.705 0.766 -8.0%	3.1 0.575 0.615 -6.6%					

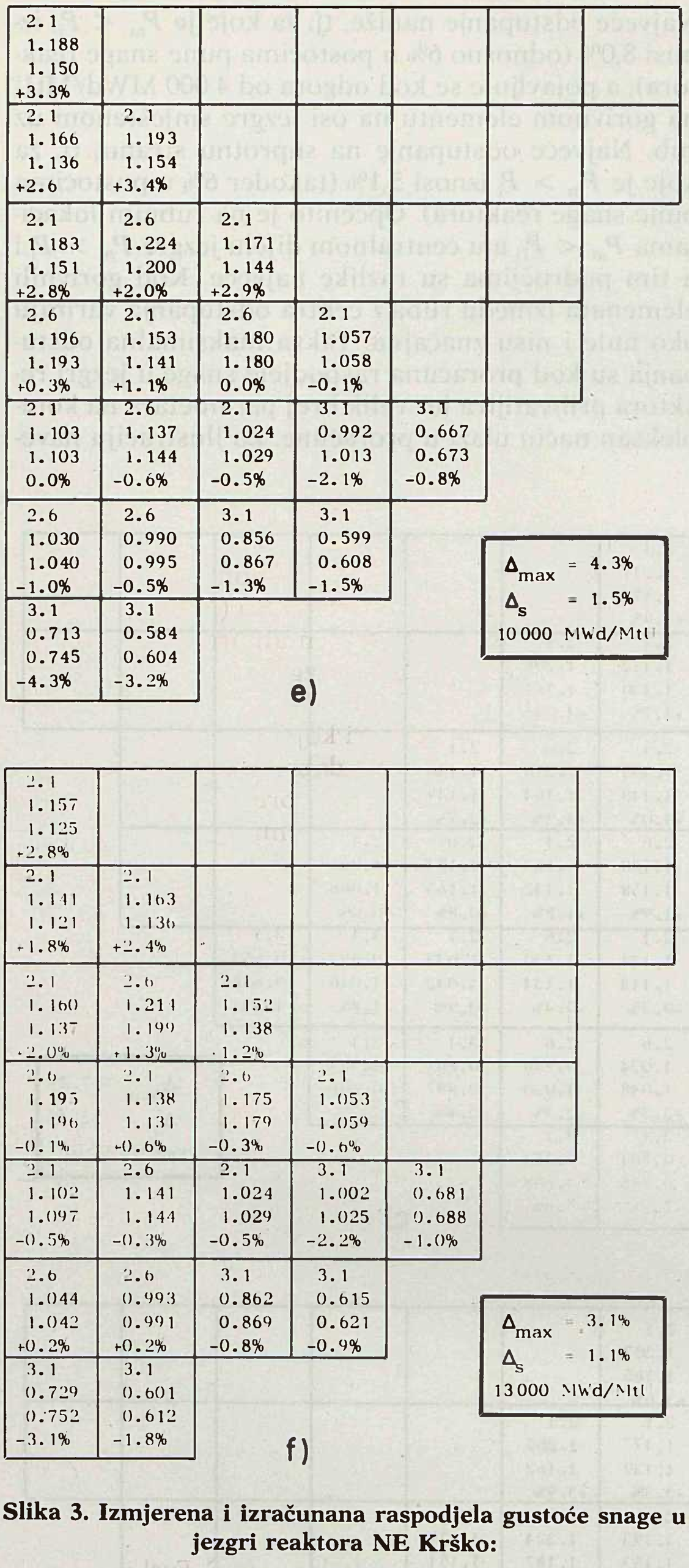
b)

Δ_{max} = 8.0%
Δ_s = 2.9%
4000 MWd/MtU

2.1 1.207 1.165 +3.6%						
2.1 1.177 1.139 +3.3%	2.1 1.207 1.162 +3.9%					
2.1 1.193 1.153 +3.5%	2.6 1.224 1.187 +3.1%	2.1 1.179 1.151 +2.4%				
2.6 1.192 1.179 +1.2%	2.1 1.160 1.143 +1.5%	2.6 1.179 1.175 +0.3%	2.1 1.058 1.061 -0.3%			
2.1 1.108 1.108 0.0%	2.6 1.133 1.139 -0.5%	2.1 1.025 1.034 -0.8%	3.1 0.986 1.010 -2.4%	3.1 0.656 0.669 -1.9%		
2.6 1.023 1.042 -1.4%	2.6 0.992 1.004 -1.2%	3.1 0.855 0.874 -2.2%	3.1 0.590 0.605 -2.5%			
3.1 0.706 0.747 -5.5%	3.1 0.577 0.604 -4.5%					

d)

Δ_{max} = 5.5%
Δ_s = 2.1%
8 000 MWd/MtU



Slika 3. Izmjerena i izračunana raspodjela gustoće snage u jezgri reaktora NE Krško:

a) za 1 000 MWd/MtU
b) za 4 000 MWd/MtU
c) za 6 000 MWd/MtU
d) za 8 000 MWd/MtU
e) za 10 000 MWd/MtU
f) za 13 000 MWd/MtU

dimo da se u »start-up« procedurama za testiranje jezgre dopušta odstupanje izmjerenih i izračunatih vrijednosti do 10%. Osim toga, kod naših proračuna razlika je jednim dijelom uzrokovana vanjskim faktorima. Naime, prilikom provjere projekta jezgre i proračuna raspodjele snage korišteni su podaci o nominalnom obogaćenju goriva ENR_N, koje iznosi 2,1; 2,6 i 3,1 postotaka ^{235}U. Naknadno se ispostavilo da je stvarno obogaćenje ENR_S upotrijebljenog goriva donekle različito. Razlike nisu velike, ali nisu jednake za sva tri obogaćenja. $(ENR_S - ENR_N)/ENR_N$ iznosi za obogaćenja 2,1 i 2,6 oko 0,6%, dok je za obogaćenje 3,1 samo oko 0,1%. Elementi s gorivom obogaćenja 3,1 smješteni su na rubu jezgre, a elementi obogaćenja 2,1 i 2,6 naizmjence su poslagani u centralnom dijelu. Posljedica je povećanje gustoće snage za oko 1,5% u centru i smanjenje na rubu jezgre za sličan postotak. To znači da bi se primjenom ispravnih obogaćenja u proračunima maksimalna greška smanjila približno za ovaj iznos, tj. bila bi između +3,5% i −6,5%.

Promatramo li za određeni gorivni element odstupanja Δ za razne odgore, primjećujemo da se $|\Delta|$ prema kraju ciklusa smanjuje. To je posljedica povratnog utjecaja gustoće snage. Na primjer, P_m veća od P_i u centru jezgre dovodi do bržeg izgaranja i bržeg smanjivanja reaktivnosti tog gorivnog elementa nego što je to proračunima predviđeno te do smanjivanja razlike između P_m i P_i. Ovo je donekle i potvrda konzistentnosti rezultata mjerenja i proračuna jer pokazuje da bi bolje slaganje na početku ciklusa bilo sačuvano do kraja ciklusa.

Dakle, treba ustanoviti uzroke odstupanja i potrebne korekcije da bi se postiglo još bolje slaganje na početku ciklusa. Najvjerojatnije treba povećati apsorpcijski udarni presjek čeličnog omotača jezgre (»baffle wall«). Difuziona teorija dobro aproksimira transportnu samo u područjima gdje se udarni presjeci sporo mijenjaju, a određivanje efektivnog udarnog presjeka za područja gdje su te promjene naglije dosta je osjetljivo. Izgleda da povećanje apsorpcijskog udarnog presjeka omotača korišteno u proračunima nije bilo dovoljno. Daljim povećanjem za oko 30% postigli gi se traženi efekti i razlike u raspodjeli snage svele bi se na $\pm 2-4\%$. Budući da su ova odstupanja u granicama preciznosti mjerenja, paket programa BURSQUID — LEOPARD se uz navedene korekcije može smatrati potpuno zadovoljavajućim.

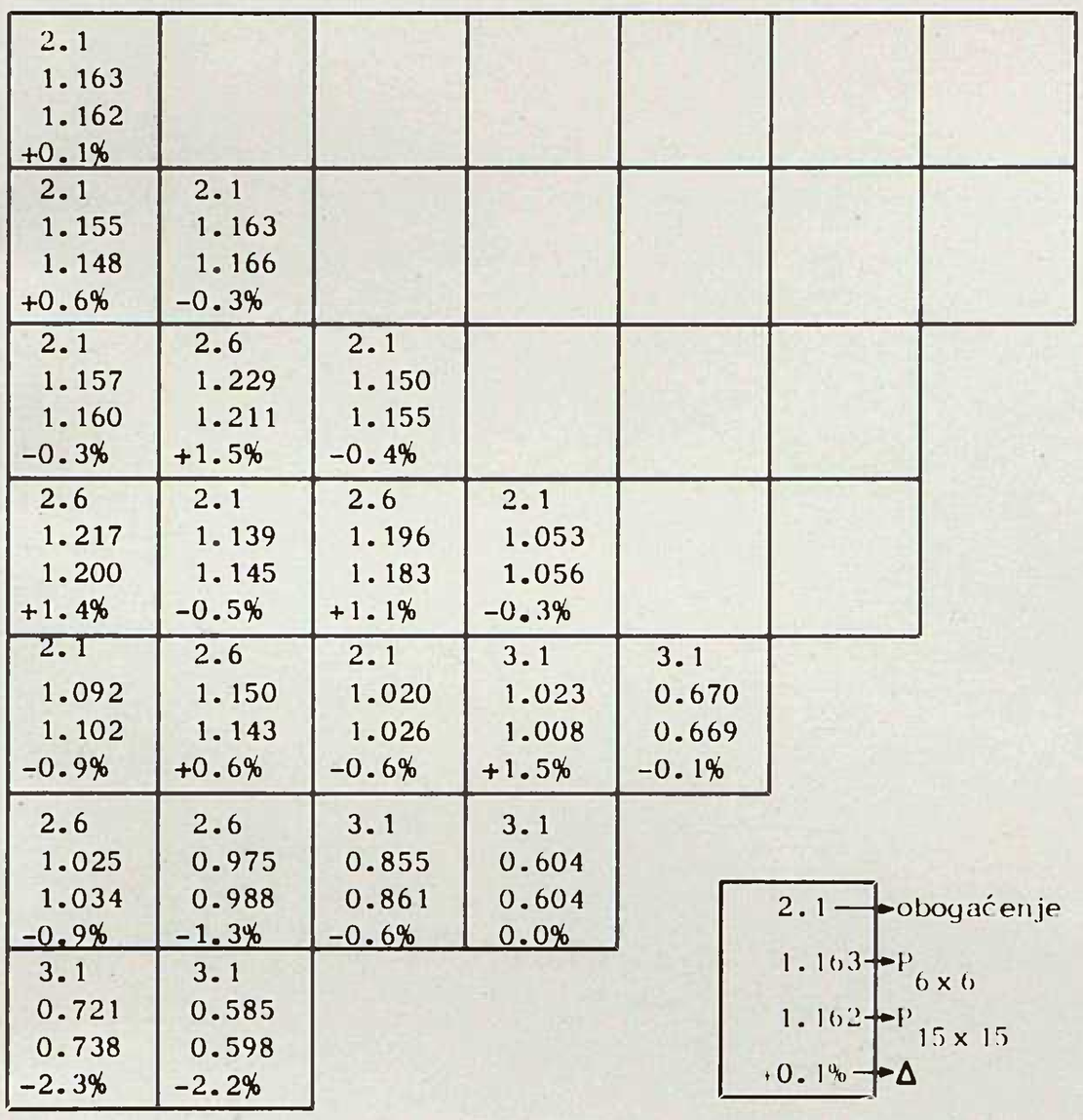
4. PERSPEKTIVE DALJEG RAZVOJA I PRIMJENE PAKETA PROGRAMA BURSQUID — LEOPARD

Paket programa BURSQUID — LEOPARD može se u sadašnjoj formi (uz navedene manje korekcije) s velikom pouzdanošću koristiti kako za proračun i predviđanje karakteristika narednih jezgri reaktora NE Krško, tako i za seriju nuklearnih elektrana koje će se graditi u Jugoslaviji.

Pri određivanju karakteristika prve jezgre reaktora NE Krško gorivni element je u difuzionom proračunu bio detaljno prikazan — sa 15 × 15 točaka, tj. praktički sa 1 točkom po gorivnom štapu. Heterogenosti (prazni kanali s vodom, gorivi otrov, vodilice za instrumentaciju) su bile eksplicitno prikazane. Takav proračun omogućava precizno određivanje lokalnih maksimuma gustoće snage i još nekih sigurnosnih parametara i nužan je barem kod prve jezgre. Na te-

melju provedene analize moguće je odabrati korektan postupak homogenizacije gorivnog elementa i smanjiti broj točaka u difuzionom proračunu koji je glavni »potrošač« kompjutorskog vremena u cijelom paketu. Na primjer, prikaz sa 6 × 6 točaka po gorivnom elementu smanjio bi preko 6 puta trajanje difuzionog proračuna. Ugradnjom određenih parametara NE Krško u programe pojednostavila bi se procedura izvođenja paketa programa. Ovako modificiran paket bio bi prikladan pri redovnom pogonu elektrane, npr. za analizu efekata promjene režima rada elektrane (rad na snazi manjoj od nominalne, »stretch-out« ciklusa i sl.).

Utjecaj prijelaza s mreže od 15 × 15 točaka uz detaljan prikaz gorivnog elementa na mrežu od 6 × 6 točaka uz homogenizaciju razmatran je za nekoliko različitih odgora u toku prvog ciklusa. Slika 4. prikazuje tipičan rezultat ovih proračuna. Za svaki gorivni element redom je navedeno obogaćenje u težinskim postocima ^{235}U, relativne gustoće snage dobivene primjenom grublje i finije mreže i razlika u postocima.



Slika 4. Usporedba raspodjela snage izračunanih korištenjem mreže 6 × 6 i 15 × 15 točaka po gorivnom elementu

Razlika zapravo predstavlja grešku koju uvodi prijelaz s finije mreže na grublju mrežu i dobivena je po formuli

$$\Delta = \left(\frac{PR_{6\times 6}}{PR_{15\times 15}} - 1\right) \times 100\%$$

gdje PR_{NxN} označava relativnu gustoću snage promatranog gorivnog elementa određenu difuzionim proračunom uz mrežu od NxN točaka po gorivnom elementu. Maksimalna greška iznosi 2,3%, dok je srednja vrijednost greške 0,82%, što se može smatrati dobrim slaganjem. Raspodjela snage po gorivnim elementima je globalni parametar koji je dosta tijesno povezan sa svim ostalim procesima u jezgri reaktora, pa je njegovo slaganje s izmjerenom raspodjelom snage najčešće dovoljna garancija ispravnosti programa. Ipak, tek nakon ponavljanja kompletnog proračuna prvog ciklusa uz mrežu od 6 × 6 točaka po gorivnom elementu i analize odstupanja i svih ostalih parametara moći se se prosuditi da li se proračuni s mrežom od 15 × 15 točaka po gorivnom elementu mogu u potpunosti izbjeći, odnosno s kojim se ograničenjem mogu koristiti proračuni s grubljom mrežom. Jedan od bitnih kriterija je mogućnost određivanja stvarnih lokalnih maksimuma gustoće snage na temelju lokalnih maksimuma dobivenih korištenjem mreže 6 × 6.

Kao što je već u uvodu spomenuto, ovaj paket programa koristit će se i pri optimalnom upravljanju nuklearnim gorivom u jezgri reaktora (»in-core fuel management«). Osim kao referentan program za konačnu provjeru karakteristika jezgre reaktora, odabrane kao optimalne drugim metodama, primijenit će se i ako od manjeg broja jezgri koje su po drugim kriterijima ravnopravne treba odabrati objektivno najbolju. Za ovu drugu namjenu predviđa se upotreba razmatrane sheme s grubljom mrežom točaka.

5. ZAKLJUČAK

Analiza prve jezgre reaktora NE Krško pokazala je da je vlastiti paket programa BURSQUID — LEOPARD potpuno pouzdan. Usporedba izmjerenih i izračunanih vrijednosti omogućava dalje utočnjavanje nekih ulaznih parametara, čime se postiže slaganje ovih vrijednosti u granicama preciznosti mjerenja. Ovaj paket programa moći će se primijeniti za analizu narednih jezgri reaktora NE Krško, odnosno za evaluaciju karakteristika jezgre neke druge nuklearne elektrane s lakovodnim reaktorom. Također će se primjenivati za referentne proračune raspodjele snage i izgaranje pri optimalizaciji izgaranja nuklearnog goriva u reaktoru.

LITERATURA

[1] N. B. URLI, »Optimization Theory and Fuel and Absorber Management Problems of LWR«, Final Report, IAEA Res. Contr. 1706/RB, 1978.

[2] E. COFFOU, N. LIMIĆ, D. PEVEC, N. URLI, »Minimalizacija »form«-faktora snage rotacijom gorivnih elemenata pri izmjeni goriva u nuklearnim reaktorima«, Zb. Konf. o korištenju nuklearnih reaktora u Jugoslaviji, str. 205 – 212, Beograd, 1978.

[3] N. URLI, D. PEVEC, E. COFFOU, B. PETROVIĆ, »Modularni pristup optimizaciji izgaranja goriva u lakovodnim reaktorima«, Zb. XXIV jugoslavenske konferencije ETAN-a, str. IV. 3 – IV.11, Priština, 1980.

[4] B. PETROVIĆ, D. PEVEC, N. URLI, »Programi za proračun raspodjele snage i izgaranja kao dio paketa programa za gospodarenje gorivom u nuklearnim elektrana-

ma«, Zb. XXVI jugoslavenske konferencije ETAN-a, str. IV.85 – IV.92, Subotica, 1982.

[5] N. URLI, B. PETROVIĆ, »Provjera projekta prve jezgre reaktora NE Krško«, elaborat, IRB – LP – 3/81, Zagreb, 1981.

[6] F. PISTELLA, »The Physical Model of the BURNY-BE-VE Code System«, RT/FI(75)14, Rome, 1975.

[7] A. DANERI, B. GABUTTI, E. SALINA, »SQUID-360 — A Multigroup Diffusion Program in Two Dimensions with Criticality Searches for the IBM-360«, FN-E-86, Torino, 1967.

[8] L. E. STRAWBRIDGE, »Calculation of Lattice Parameters and Criticality for Uniform Water Moderated Lattice«, WCAP-3269-25, 1963.

KEY WORDS: NUCLEAR REACTOR, POWER DISTRIBUTION, BURN-UP

CALCULATION AND EXPERIMENTAL TESTING OF PWR CHARACTERISTICS FOR NPP KRSKO

In the article are described series of computer programs for power distribution calculation and burn-up in core of reactor. Calculated and measured values for first cycle of operation of NPP Krsko are compared.

BERECHNUNG UND EXPERIMENTALE ÜBERPRÜFUNG DER EIGENSCHAFTEN DES KERNES DES LEICHTWASSERREAKTORS AM BEISPIEL DES KERNKRAFTWERKES KRSKO

Man entwickelte eine Reihe von Rechnungsprogrammen für die Berechnung der Krafteinteilung und der Spaltstofferschöpfung im Kern des Kernreaktors. Verglichen wurden die Werte in der Zeit des ersten Arbeitszyklusses des Kernkraftwerkes Krsko.

РАСЧЕТ И ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЛЕГКОВОДНОГО РЕАКТОРА НА ПРИМЕРЕ АЭС »КРШКО«

Развит ряд вычислительных программ вычисления распределения мощности и сгорания топлива в активной зоне ядерного реактора. Сопоставляютса измеренные и вычисленные значения во время первого цикла работы атомной электростанции »Кршко«.

Naslov pisaca:

Bojan Petrović, dipl. inž.
dr Natko Urli, dipl. inž.
Institut »Ruđer Bošković«
Zagreb, Bijenička c. 54

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 10 – 21.

KORIŠTENJE SEZONSKIH AKUMULACIJSKIH BAZENA UZ UPOTREBU LINEARNOG PROGRAMIRANJA

Dr Goran Granić i Mladen Zeljko, Zagreb

UDK 621.311.21:621.22

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je opisana metoda za planiranje korištenja sezonskih akumulacijskih bazena. Za funkciju cilja uzeti su troškovi proizvodnje termoelektrana, a kao optimizacijska tehnika primijenjena je metoda linearnog programiranja. Opisana metoda provjerena je na modelu elektroenergetskog sustava s tri hidroelektrane i tri termoelektrane.

Ključne riječi: hidroakumulacije, planiranje akumulacijskih hidroelektrana, optimizacija rada elektrana, linearno programiranje.

1. UVOD

Akumulacijski bazeni sa sezonskom mogućnosti akumuliranja vode posebno su važni u elektroenergetskom sustavu jer im spomenuta mogućnost omogućuje prilagođavanje proizvodnje promjenama potrošnje električne energije tijekom godine, što povećava sigurnost opskrbe potrošača i smanjuje troškove proizvodnje električne energije. Dok su sezonske oscilacije potrošnje električne energije izvjestan proces koji se može s velikom sigurnošću predvidjeti, ostvarenje dotoka u akumulacijske bazene potpuno je neizvjestan proces, gotovo ga je nemoguće predvidjeti bilo po iznosu, bilo po dinamici. Nepoznavanje dotoka čini problem planiranja korištenja akumulacijskih bazena jednim od najsloženijih u postupku planiranja godišnjih bilanci.

Planiranje korištenja sezonskih akumulacijskih bazena može se razložiti u dva osnovna problema: problem dotoka i problem načina korištenja akumulirane vode. Problem dotoka rješava se u svim metodama putem ostvarenja u prošlosti, bilo da se promatraju deterministički nizovi podataka iz prošlosti, bilo da se nizovi podataka iz prošlosti statistički obrade i kao takvi koriste u proračunu. Za rješenje drugog problema, najpovoljnijeg načina korištenja akumulacijskih bazena, koriste se razne optimizacijske tehnike s istim ciljem: da se ostvari zadovoljenje potrošnje električne energije uz minimum troškova u elektroenergetskom sustavu.

U ovom radu ostvarenja dotoka određena su statističkom obradom ostvarenja dotoka u prošlosti kao najvjerojatniji dotoci u svakom mjesecu. Najpovoljnije korištenje akumulacijskih bazena određeno je minimiziranjem troškova proizvodnja termoelektrana metodom linearnog programiranja.

2. OSNOVE METODE

Budući da osnovu metode čini metoda linearnog programiranja svi odnosi u elektroenergetskom sustavu su linearizirani. Takva aproksimacija elektroenergetskog sustava odstupa od stvarnih odnosa. Međutim, pogreška koja se pri tome pravi može se zanemariti.

Korištenje akumulacijskih bazena u funkciji je veličine bazena i ostvarenih dotoka, s jedne strane, i potreba i mogućnosti ostalih elektrana u elektroenergetskom sustavu, s druge strane. Da bi sustav bio u potpunosti zadovoljen, potrebno je da u svakom trenutku postoji ravnoteža između proizvodnje i potrošnje električne energije. Kako su svi odnosi u elektroenergetskom sustavu linearizirani, tako se kontrola zadovoljenja potrošnje odvija samo na temelju potrebne proizvodnje i odgovarajuće potrošnje električne energije po svakoj vremenskoj jedinici tijekom godine, a ne prati se zadovoljenje opterećenja prema krivulji trajanja opterećenja.

Funkcija cilja

Konačni cilj proračuna, kako je već prije rečeno, jest plan korištenja akumulacijskih bazena pri kojem se ostvaruju najmanji troškovi proizvodnje električne energije. Kako troškovi u hidroelektranama ne ovise o ostvarenoj dinamici rada, funkciju cilja čine samo troškovi proizvodnje u termoelektranama, i to samo oni koji su u funkciji proizvodnje, odnosno oni koji su proporcionalni utrošenoj količini goriva. Funkcija cilja može se napisati u obliku:

$$\phi = \sum_{t=1}^{T} \sum_{n=1}^{N} c_n \cdot P_{nt} \Delta t \qquad (1)$$

gdje su:

c_n — specifični troškovi za gorivo u termoelektranama

P_{nt} — angažirana snaga termoelektrana,

Δt — trajanje vremenske jedinice (tjedan ili mjesec)

Prema već spomenutom pravilu da su svi odnosi u elektroenergetskom sustavu linearizirani, i osnovna energetska karakteristika termoelektrana u izrazu (1) također je linearna funkcija.

Bilanca energije

Osnovni uvjet koji se mora zadovoljiti kod određivanja plana korištenja akumulacijskih bazena jest ravnoteža proizvodnje i potrošnje električne energije, i on se matematički može opisati sljedećim izrazom:

$$\sum_{n=1}^{N} P_{nt} \cdot \Delta t + \sum_{m=1}^{M} P_{mt} \cdot \Delta t = W_t + \Delta W_g \qquad (2)$$

$$\text{za } t = 1,2,\ldots,T$$

gdje je:

$\sum_{n=1}^{N} P_{nt}\,\Delta t$ — proizvodnja termoelektrana u vremenskoj jedinici t

$\sum_{m=1}^{M} P_{mt}\,\Delta t$ — proizvodnja hidroelektrana u vremenskoj jedinici t

W_t — potrošnja električne energije u vremenskoj jedinici t

ΔW_g — gubici energije u vremenskoj jedinici t.

Angažirana snaga hidroelektrana P_{mt} računa se iz ostvarenog (reguliranog) protoka i pri tome se zanemaruje utjecaj promjene pada. Izraz za angažiranu snagu glasi:

$$P_{mt} = K_m\, Q^r_{mt} \qquad (3)$$

gdje je:

K_m — konstanta koja se može izračunati prema izrazu $9.81\, n_t\, n_g\, H_n$

n_t — stupanj djelovanja turbine

n_g — stupanj djelovanja generatora

H_n — prosječni neto pad

Q^r_{mt} — regulirani protok.

Kod rapodjele opterećenja na hidroelektrane i termoelektrane moraju se uzeti u obzir ograničenja koja proizlaze iz karakteristika elektrana, odnosno njihovih mogućnosti. Tako npr. za termoelektrane angažirana snaga se mora nalaziti u granicama tehničkog minimuma i instalirane snage, a kod hidroelektrana minimalne snage kod koje elektrana može normalno raditi i instalirane snage. Ograničenja mogu biti viša od minimalnih, ili niža od maksimalnih, ako se postavljaju još neki dodatni uvjeti za rad elektrana.

Ograničenja u korištenju akumulacijskih bazena

Ukupna količina vode koja se može iskoristiti iz jednog akumulacijskog bazena ograničena je količinom vode koja prema očekivanju može doteći u promatranoj godini i dodatnim zahtjevima na stanje u akumulacijskom bazenu na kraju godine. Takvo ograničenje na količinu vode može se opisati izrazom:

$$\sum_{t=1}^{I} Q^P_{mt}\,\Delta t = \sum_{t=1}^{I} Q^r_{mt}\,\Delta t + (V^{ko}_m - V^{po}_m) \qquad (4)$$

$$\text{za } m = 1,2,\ldots,M$$

gdje je:

$\sum_{t=1}^{T} Q^p_{mt}\,\Delta t$ — godišnja vrijednost prirodnog dotoka u akumulacijski bazen

$\sum_{t=1}^{T} Q^r_{mt}\,\Delta t$ — godišnja vrijednost reguliranog protoka iz akumulacijskog bazena

V^{ko}_m — stanje u akumulacijskom bazenu na kraju promatranog perioda (npr. 31.12)

V^{po}_m — stanje u akumulacijskom bazenu na početku promatranog perioda (1.1).

Godišnja vrijednost reguliranog protoka može biti veća ili manja od godišnje vrijednosti prirodnog dotoka u ovisnosti da li se na kraju promatranog perioda želi smanjiti količina vode u akumulacijskom bazenu, ili povećati.

Osim ograničenja na količinu vode i na poželjna stanja akumulacijskih bazena koja treba ostvariti na kraju godine, mogu postojati ograničenja na stanja akumulacijskih bazena tijekom godine kao posebni vodoprivredni zahtjevi, a radi osiguranja pitke vode, navodnjavanja ili obrane od poplava. U svakoj vremenskoj jedinici (mjesecu ili tjednu) mora se zadovoljiti nejednadžba:

$$V^{min}_{mt} \le V_{mt} \le V^{max}_{mt} \qquad (5)$$

gdje je:

V^{min}_{mt} — minimalno dozvoljeno stanje akumulacijskog bazena u vremenskoj jedinici t

V^{max}_{mt} — maksimalno dozvoljeno stanje akumulacijskog bazena u vremenskoj jedinici t

V_{mt} — stanje u akumulacijskom bazenu u vremenskoj jedinici t.

3. PRIMJER PRORAČUNA

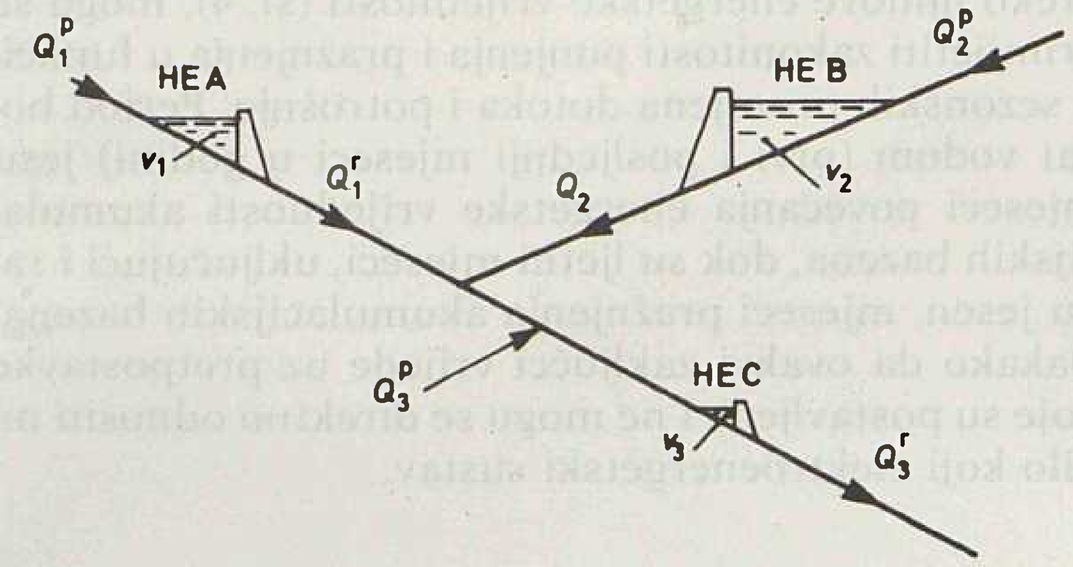
Prema opisanoj metodi izveden je proračun za elektroenergetski sustav s tri termoelektrane i tri hidroelektrane. Promatrano je vremensko razdoblje od godinu dana podijeljeno na 12 vremenskih intervala (mjeseci) jednakog trajanja ($\Delta t = 730$ h). Prosječna mjesečna opterećenja navedena su u sljedećoj tablici:

Tablica 1. Prosječna mjesečna opterećenja (MW)

Mj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_p	838	819	781	745	705	685	656	671	692	730	814	869

Proračun se provodi s prosječnim mjesečnim opterećenjem, odnosno mjesečnom potrošnjom jer se bilancira samo energija. Potrošnja koja se dobije da se prosječna mjesečna opterećenja (P_p) pomnože sa Δt (730 h) odgovara (u izrazu 2) neto potrošnji W_t i gubicima Δ_g.

Hidroenergetski sustav sastoji se od tri hidroelektrane od koje dvije imaju akumulacijske bazene, a treća elektrana koristi njihove vode za svoju proizvodnju (sl. 1).



Slika 1. Prostorni raspored promatranih HE

Osim voda koje se ispuštaju iz prve i druge hidroelektrane (HE A i HE B), treća elektrana (HE C) se koristi i vodom međudotoka koja je označena s Q_3^r. Također, treća elektrana nema vlastite akumulacije, pa se optimiranje cjelokupnog hidroenergetskog sustava izvodi s akumulacijama prve i druge hidroelektrane.

Osnovni podaci o hidroelektranama su:

Tablica 2. Instalirani protok, snaga i korisni volumen akumulacijskog bazena

	Instalirani protok	Instalirana snaga	Korisni volumen bazena	
	m^3/s	MW	hm^3	$m^3/s.mj.$
HE A	120	41,6	440,7	167,7
HE B	70	237,0	300,0	304,4
HE C	220	436,0	ϕ	ϕ

Na temelju 40-godišnjeg niza podataka o prirodnim dotocima iz prošlosti određeni su očekivani (prosječni) dotoci za svaku hidroelektranu. Za HE A i HE B su dotoci u akumulacijski bazen, a u HE C međudotok.

Ograničenja tijekom godine za stanja u akumulacijskom bazenu nisu postavljena, osim ograničenja na maksimalni korisni volumen akumulacije za HE A i HE B.

Kao ograničenje u pogledu iskorištenja količine vode postavljen je uvjet da se tijekom godine može iskoristiti godišnja količina vode koja dotekne, tako da

Tablica 3. Očekivani prirodni dotoci za promatranu HE

	Dotoci Q^p (m^3/s)		
	HE A	HE B	HE C
I	70,1	34,1	52,9
II	65,9	31,5	48,6
III	73,2	34,1	51,4
IV	71,8	27,1	50,8
V	62,7	22,6	42,8
VI	46,2	14,3	26,2
VII	26,0	8,0	11,0
VIII	18,3	5,5	5,1
IX	22,0	16,9	8,0
X	48,5	19,5	25,3
XI	82,6	41,3	52,3
XII	81,5	46,3	58,0
Σ	688,8	301,2	433,0

očekivano stanje akumulacijskih bazena na kraju godine odgovara stanju bazena na početku godine 83,85 $m^3/s.mj.$ za HE A i 152,0 $m^3/s.mj.$ za HE B.

Karakteristike promatranih termoelektrana navedene su u sljedećoj tablici:

Tablica 4. Karakteristike termoelektrana

	Teh. min. MW	Instal. snaga MW	Cijena d/kWh
TE A	70,0	90,0	2,5337
TE B	70,0	90,0	2,5337
TE C	72,9	243,6	2,5280

Dvije termoelektrane (TE A i TE B) imaju jednake karakteristike, dok se treća termoelektrana razlikuje i po specifičnim troškovima i po instaliranoj snazi.

Proračun je proveden prema opisanoj metodi s linearnim programom koji je izrađen u suradnji Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu i Instituta za elektroprivredu iz Zagreba. Raspodjela opterećenja na elektrane po mjesecima, navedena je u tabl. 5.

Tablica 5. Raspodjela opterećenja po mjesecima

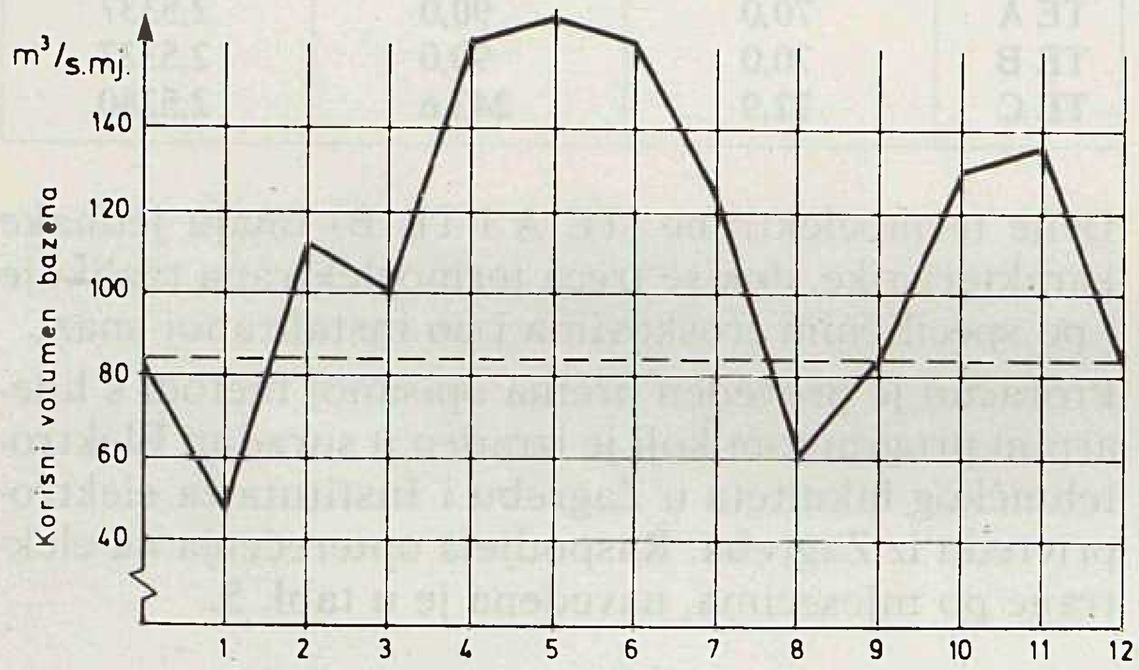
	Pros. opter. MW	Termoelektrane			Hidroelektrane		
		TE A MW	TE B MW	TE C MW	HE A MW	HE B MW	HE C MW
I	838,0	70,0	70,0	243,6	36,8	40,0	377,6
II	819,0	70,0	70,0	243,6	—	198,5	236,9
III	781,0	70,0	70,0	243,6	29,5	40,0	327,9
IV	745,0	70,0	70,0	243,6	3,7	134,3	223,4
V	705,0	70,0	70,0	243,6	21,8	40,0	259,6
VI	685,0	90,0	70,0	243,6	18,0	54,8	208,5
VII	656,0	89,4	70,0	243,6	22,0	40,0	190,9
VIII	671,0	70,0	70,0	243,6	28,5	40,0	218,9
IX	692,0	70,0	70,0	243,6	—	175,9	132,5
X	730,0	70,0	70,0	243,6	—	175,8	170,6
XI	814,0	70,0	70,0	243,6	33,7	40,0	356,7
XII	869,0	70,0	70,0	243,6	39,5	40,0	405,9
Σ	9 005,0	879,4	840,0	2 923,2	233,5	1 019,3	3 109,4

Od ukupne potrošnje (6 573,65 GWh) 32,46% zadovoljilo bi se iz termoelektrana, a ostali dio ih hidroelektrana.

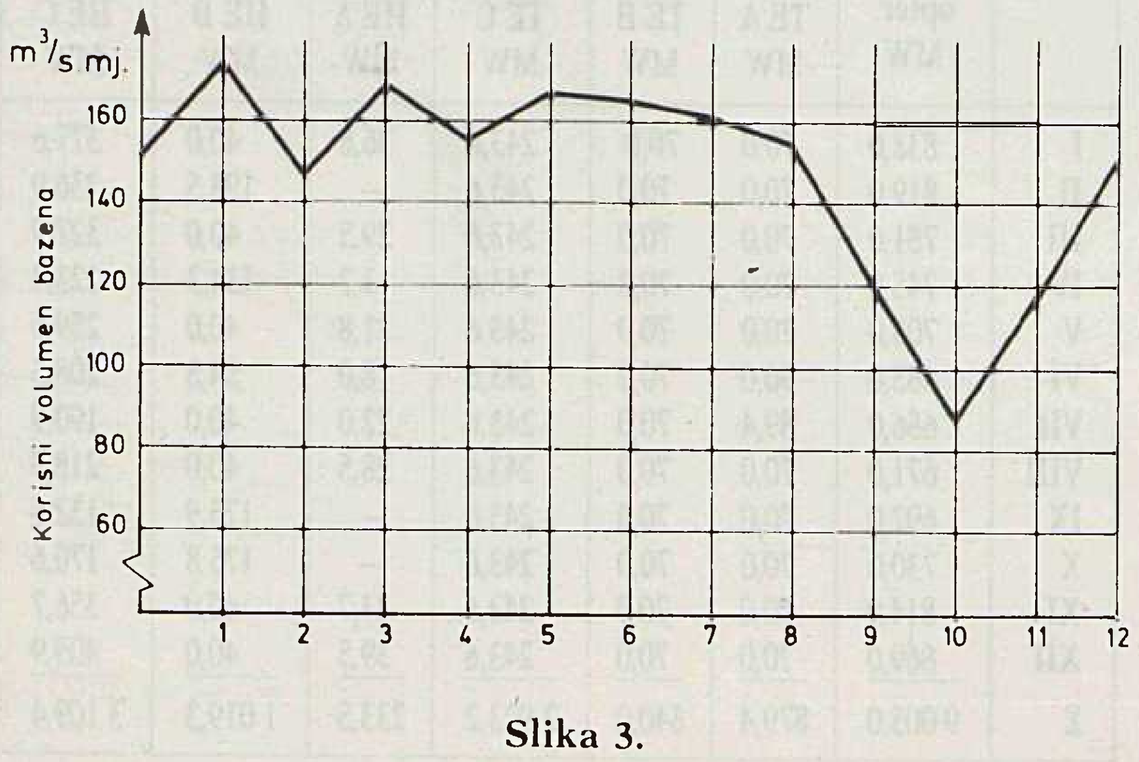
Proizvodnja termoelektrana gotovo se i ne mijenja iz mjeseca u mjesec, s iznimkom u 5. i 6. mjesecu kod termoelektrane TE A. Prilikom raspodjele proizvodnje između tri termoelektrane presudni su bili troškovi proizvodnje, pa kako su specifični troškovi treće termoelektrane najmanji, ona je na sebe preuzela glavninu opterećenja.

Suprotno od termoelektrana hidroelektrane su preuzele na sebe sezonske oscilacije potrošnje, tako da je njihova proizvodnja najveća u zimskim mjesecima, a najmanja u ljetnim mjesecima. Raspodjela opterećenja između hidroelektrana u funkciji je mogućnosti hidroelektrana. Tako je treća hidroelektrana (HE C) preuzela na sebe najveći dio opterećenja jer su i njezine mogućnosti najveće. Osim toga, ona se nadopunjuje s hidroelektranom HE B čije su mogućnosti (po snazi iste HE C).

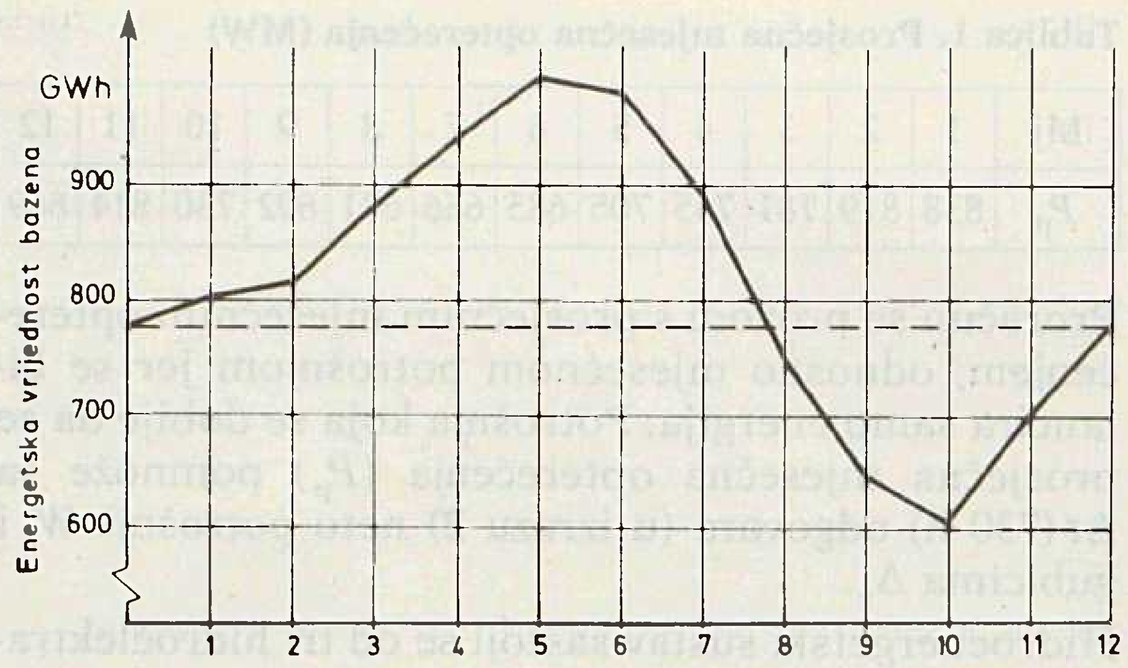
Rad hidroelektrana HE A i HE B usklađen je s ukupnim potrebama snage i energije iz hidroelektrana. Naime, budući da HE A i HE B posjeduju akumulacijske bazene i da HE C koristi vode iz jednog i drugog bazena, ritam punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena se nadopunjuje, što se može vidjeti iz sl. 2. i 3. Gotovo u svim mjesecima punjenja akumulacijskog bazena HE A odgovara pražnjenje u HE B i obrnuto.



Slika 2.



Slika 3.



Slika 4.

Ako se promatraju akumulacijski bazeni zajedno preko njihove energetske vrijednosti (sl. 4), mogu se primijetiti zakonitosti punjenja i pražnjenja u funkciji sezonskih promjena dotoka i potrošnje. Period bogat vodom (prvi i posljednji mjeseci u godini) jesu mjeseci povećanja energetske vrijednosti akumulacijskih bazena, dok su ljetni mjeseci, uključujući i ranu jesen, mjeseci pražnjenja akumulacijskih bazena. Dakako da ovakvi zaključci vrijede uz pretpostavke koje su postavljene i ne mogu se direktno odnositi na bilo koji elektroenergetski sustav.

4. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Rezultati proračuna pokazuju da opisana metoda može naći svoju primjenu u planiranju korištenja sezonskih akumulacijskih bazena. Metodom nisu obuhvaćeni svi problemi koji se pojavljuju kod planiranja korištenja, a odnose se u prvom redu na nesigurnost ostvarenja dotoka. Također je potrebno riješiti i problem zadovoljenja snage i bilancu energije i snage prema krivulji trajanja opterećenja, što je u ovom slučaju jednostavno riješeno preko prosječnog mjesečnog opterećenja.

LITERATURA

[1] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima«, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd 1966.

[2] P. G. HARHAMMER: »Wirtschaftlicher Verbundbetrieb«

[3] P. G. HARHAMMER: »Doktorska disertacija«. Tehnische Hochschule Wien

[4] H. POŽAR: »Proizvodnja električne energije I«, Zagreb

[5] D. KALPIĆ: »Upute za linearni program ETF-a u Zagrebu«

[6] J. KEGLEVIĆ: »Doktorska disertacija«, Zagreb 1975.

[7] A. ŽEPIĆ, D. KALPIĆ: »Osnove operacionih istraživanja«

[8] H. POŽAR, S. ALERIĆ: »Osnovne karakteristike hidroelektrana u Jugoslaviji«

[9] G. GRANIĆ, M. ZELJKO: »Praktično korištenje sezonskih akumulacijskih bazena«

[10] B. SMILJAN: »Korištenje sezonskih akumulacijskih bazena uz upotrebu metode linearnog programiranja«, Diplomski rad ETF Zagreb, 1982. god.

USE OF SEASONAL ACCUMULATIONS BY IMPLEMENTATION OF LINEAR PROGRAMMING

In the article is described a method for planning use of seasonal accumulations. TPP's operation costs are taken as objectiv and a method of linear programming is used for optimization. Described is method verified on power model with 3 HPP's and 3 TPP's

GEBRAUCH DER SAISON — STAUWASSERBASINS UNTER VERWENDUNG DES LINEAREN PROGRAMMIERENS

In der Arbeit wurde die Methode des Planierens für den Gebrauch der Saison- Stauwasserbasins beschrieben. Für die Funktion des Zieles wurden die Unkosten der Erzeugung von Wärmekraftwerken berechnet und als optimale Technik wurde die Methode des linearen Programmierens verwendet. Die beschriebene Methode wurde am Modell des elektroenergetischen Systems mit drei Wasserkraftwerken und drei Wärmekraftwerken überprüft.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЗОННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ, ПРИМЕНЯЯ ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

В работе описывается метод планирования использования сезонных водохранилищ. В качестве целовой функции приняты расходы производства на ТЭС, а в качестве техники оптимизации применен метод линейного программирования. Описанный метод проверен на модели електроенергетической системы с тремя гидроелектростанциями и тремя тепловыми електростанциями.

Naslov pisaca:
dr Goran Granić, dipl. inž.
Mladen Zeljko, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu, 41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 06 – 05.

ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR Elektroprenos

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:
prijenos električne energije, izraduje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja, te svojim vozilom marke

Kaelble

i prikolicom

Scheuerle

prevozi teški teret do 120 tona.

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

INTERPRETACIJA REZULTATA JEDNOFAZNE I TROFAZNE Π-SHEME DVOSTRUKOG DALEKOVODA

Marija Ožegović, Split

UDK 621.315.2:621.316.1
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazana je analitička obrada dvostrukog dalekovoda u matričnom obliku, kao i odgovarajući model. Pokazano je kako treba interpretirati rezultate sa Π-sheme dvostrukog dalekovoda i kako računati prilike na takvom dalekovodu kad je iskopčana trojka uzemljena na krajevima, a prekinuta uzduž voda.

Ključne riječi: dvostruki dalekovod, trofazna Π-shema, preplet dalekovoda, nesimetrije.

1. UVOD

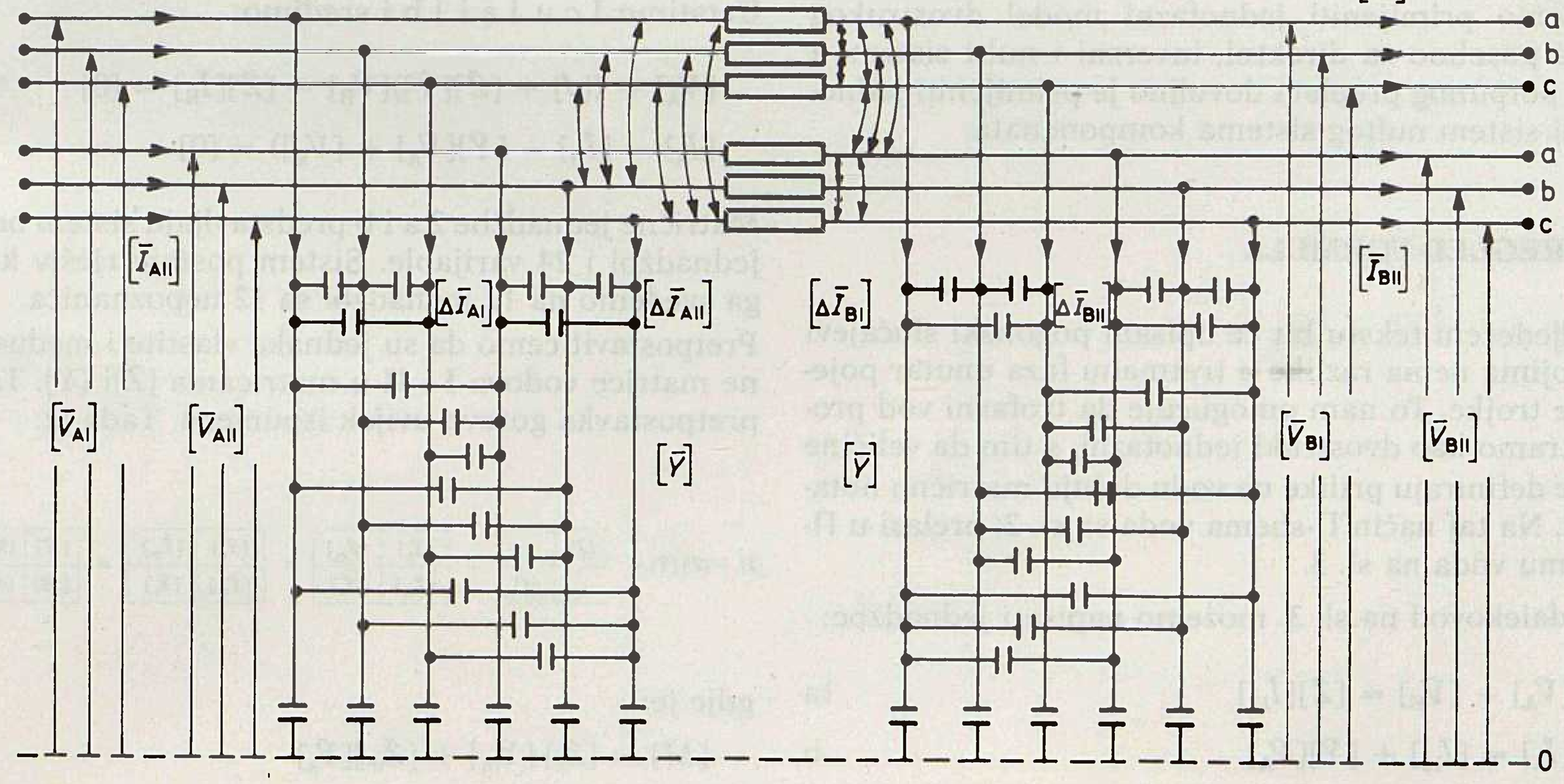
Dvostruki dalekovod pojavljuje se u praksi vrlo često, što zahtijeva da se analizama dvostrukog dalekovoda priđe s više pažnje. Jedna trojka u pogonu, a druga iskopčana dozvoljava niz pogonskih stanja. Svako ovo stanje opisujemo jednadžbama čiji broj ne predstavlja problem s obzirom na današnje tehničke mogućnosti računanja.

Najjednostavnije je za matematički model uzeti trofaznu Π-shemu dvostrukog dalekovoda i opisati je matričnim jednadžbama. Nužno prethodno udaljavanje od originala kroz primjenu Carsonovih formula, stezanje lanca četveropola u jednu Π-shemu itd. omogućuje korištenje rezultata za neposredan uvid u električne prilike originala.

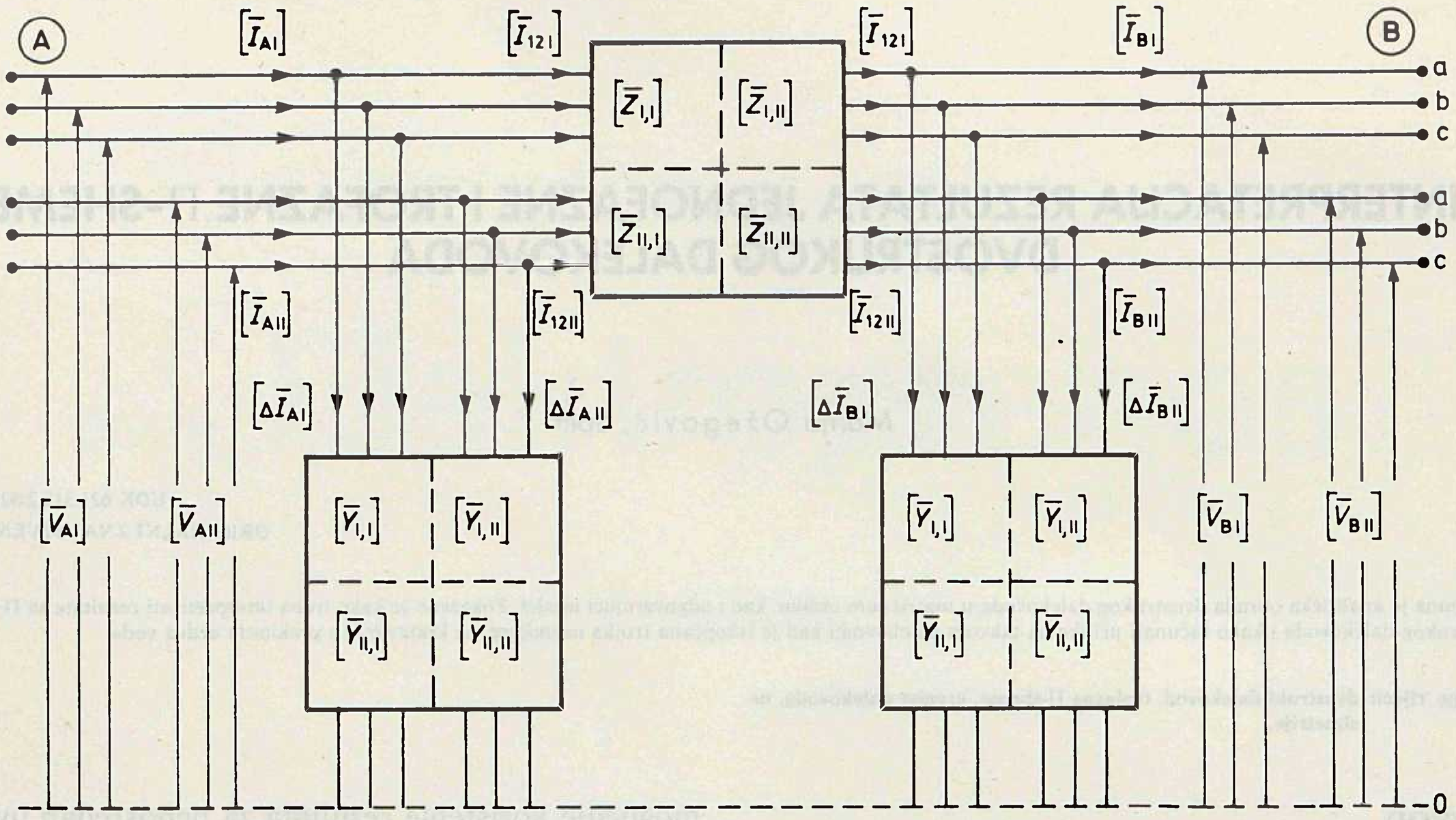
Na sl. 1. nacrtana je trofazna Π-shema dvostrukog dalekovoda. Ova shema je rezultat:

— primjene Carsonovih formula, s kojima je eliminirana zemlja kao povratni vodič
— eliminiranja vodiča vezanih u snop
— eliminiranja dozemnih užeta
— pretvorbe lanca četveropola u jednu Π-shemu.

Na sl. 2. nalazi se ista trofazna Π-shema dvostrukog dalekovoda sa sl. 1. Odnosi napona i struja uzdužne i poprečnih grana dani su matricom uzdužnih vlastitih i međusobnih impedancija $[\bar{Z}]$, odnosno matricama poprečnih vlastitih i međusobnih admitancija



Slika 1. Π-shema dvostrukog dalekovoda (fizikalni model)



Slika 2. Π-shema dvostrukog dalekovoda (analitički model)

$[\bar{Y}]$. Matrice su dimenzija 6×6. Iz slika 1. i 2. lako je uočiti koje električne veličine povezuju matrice $[\bar{Z}]$ odnosno $[\bar{Y}]$.

U sljedećem poglavlju dan je pregled formula za razna pogonska stanja kad je jedna trojka u pogonu, a druga iskopčana. Pokazalo se da je optimalno, zbog ulaznih podataka, svesti račun na 4 matrične jednadžbe.

Trofazni račun je potreban kada je dvostruki vod neprepleten. Naime, primjena simetričnih komponenata ne donosi olakšice u računu jer sistemi komponenata nisu nezavisni. Sistemi komponenata su nezavisni kod djelomičnog i kod potpunog prepleta, što je pokazano u poglavlju 3. Kod djelomičnog prepleta možemo primijeniti jednofazni model dvostrukog voda posebno za direktni, inverzni i nulti sistem, a kod potpunog prepleta dovoljno je primijeniti jednofazni sistem nultog sistema komponenata.

2. PREGLED FORMULA

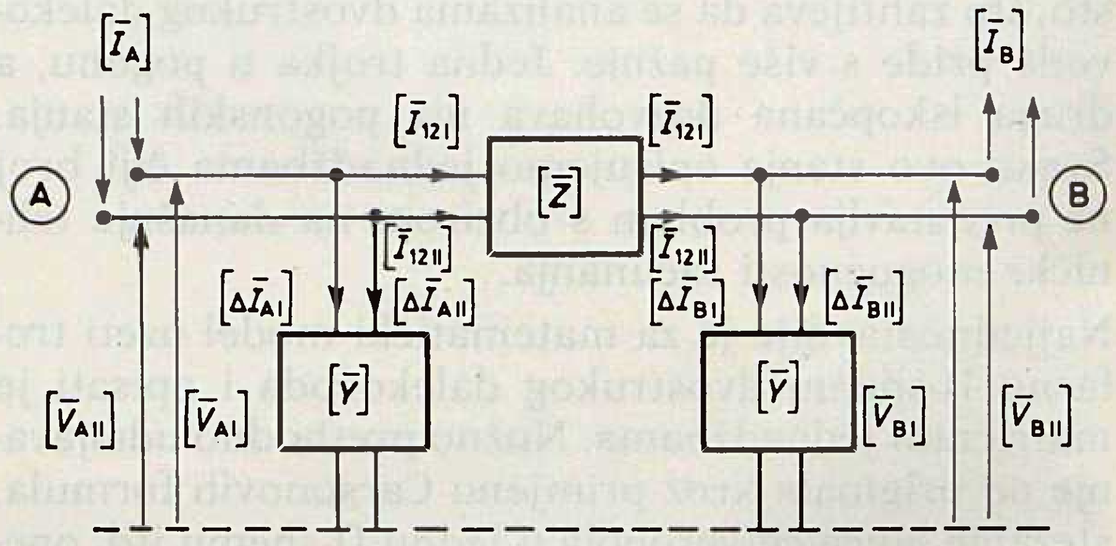
U sljedećem tekstu bit će opisani pogonski slučajevi u kojima nema razlike u tretmanu faza unutar pojedine trojke. To nam omogućuje da trofazni vod promatramo kao dvostruki jednofazni, s tim da veličine koje definiraju prilike na vodu dobiju matričnu notaciju. Na taj način Π-shema voda sa sl. 2. prelazi u Π-shemu voda na sl. 3.

Za dalekovod na sl. 3. možemo napisati jednadžbe:

$$[\bar{V}_A] - [\bar{V}_B] = [\bar{Z}][\bar{I}_{12}] \qquad 1a$$

$$[\bar{I}_A] = [\bar{I}_{12}] + [\bar{Y}][\bar{V}_A] \qquad b$$

$$[\bar{I}_{12}] = [\bar{I}_B] + [\bar{Z}][\bar{V}_B] \qquad c$$



Slika 3. Π-shema dvostrukog dalekovoda

Uvrstimo 1.c u 1.a i 1.b i sredimo:

$$[\bar{V}_A] - ([J] + [\bar{Z}][\bar{Y}])[\bar{V}_B] - [\bar{Z}][\bar{I}_B] = [0] \qquad 2a$$

$$[\bar{I}_A] - [\bar{I}_B] - [\bar{Y}][\bar{V}_A] + [\bar{V}_B]) = [0] \qquad b$$

Matrične jednadžbe 2.a i b predstavljaju sistem od 12 jednadžbi i 24 varijable. Sistem postaje rješiv kada ga svedemo na 12 jednadžbi sa 12 nepoznanica.

Pretpostavit ćemo da su jednake vlastite i međusobne matrice vodova I i II u matricama $[\bar{Z}]$i $[\bar{Y}]$. Ta je pretpostavka gotovo uvijek ispunjena. Tada je:

$$[J] + [\bar{Z}][\bar{Y}] = \begin{array}{|c|c|}\hline [J] & \\ \hline & [J] \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|}\hline [\bar{Z}_s] & [\bar{Z}_m] \\ \hline [\bar{Z}_m] & [\bar{Z}_s] \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|c|}\hline [\bar{Y}_s] & [\bar{Y}_m] \\ \hline [\bar{Y}_m] & [\bar{Y}_s] \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|}\hline [\bar{N}] & [\bar{M}] \\ \hline [\bar{M}] & [\bar{N}] \\ \hline \end{array} \qquad 3$$

gdje je:

$$[\bar{M}] = [\bar{Z}_s][\bar{Y}_m] + [\bar{Z}_m][\bar{Y}_s] \qquad 4a$$

$$[\bar{N}] = [J] + [\bar{Z}_s][\bar{Y}_s] + [\bar{Z}_m][\bar{Y}_m] \qquad b$$

Ispisujemo ponovno relacije 2.a i b:

$$\begin{bmatrix}[\bar{V}_{AI}]\\[\bar{V}_{AII}]\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}[\bar{N}] & [\bar{M}]\\[\bar{M}] & [\bar{N}]\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}[\bar{V}_{BI}]\\[\bar{V}_{BII}]\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}[\bar{Z}_s^s] & [\bar{Z}_m]\\[\bar{Z}_m] & [\bar{Z}_m]\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}[\bar{I}_{BI}]\\[\bar{I}_{BII}]\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}[0]\\[0]\end{bmatrix} \quad 5a$$

$$\begin{bmatrix}[\bar{I}_{AI}] - [\bar{I}_{BI}]\\[\bar{I}_{AII}] - [\bar{I}_{BII}]\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}[\bar{Y}_s] & [\bar{Y}_m]\\[\bar{Y}_m] & [\bar{Y}_s]\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}[\bar{V}_{AI}] - [\bar{V}_{BI}]\\[\bar{V}_{AII}] - [\bar{V}_{BII}]\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}[0]\\[0]\end{bmatrix} \quad b$$

Praktično je analizirati vod kojemu su prilike zadane na kraju. Ovdje ćemo uzeti poznate prilike na kraju voda I, tj. voda u pogonu. Broj nepoznatih smanjuje se za 6. Sada ispisujemo relacije 5.a i b na sljedeći način:

$$[\bar{V}_{AI}] - [\bar{M}][\bar{V}_{BII}] - [\bar{Z}_M][\bar{I}_{BII}] = [\bar{N}][\bar{V}_{BI}] + [\bar{Z}_s][\bar{I}_{BI}] \quad 6a$$

$$[\bar{V}_{AII}] - [\bar{N}][\bar{V}_{BII}] - [\bar{Z}_s][\bar{I}_{BII}] = [\bar{M}][\bar{V}_{BI}] + [\bar{Z}_m]\bar{I}_{BI}] \quad b$$

$$[\bar{I}_{AI}] - [\bar{y}_s][\bar{V}_{AI}] - [\bar{Y}_m]([\bar{V}_{AII}] + [\bar{V}_{BII}]) = [\bar{I}_{BI}] + [\bar{Y}_s][\bar{V}_{BI}] \quad c$$

$$[\bar{I}_{AII}] - [\bar{I}_{BII}] - [\bar{Y}_m][\bar{V}_{AI}] - [\bar{Y}_s]([\bar{V}_{AII}] + [\bar{V}_{BII}]) = [\bar{Y}_m][\bar{V}_{BI}] \quad d$$

Nepoznate varijable jesu:

$$[\bar{V}_{AI}],[\bar{I}_{AI}],[\bar{V}_{AII}],[\bar{I}_{AII}],[\bar{V}_{BII}],[\bar{I}_{BII}]$$

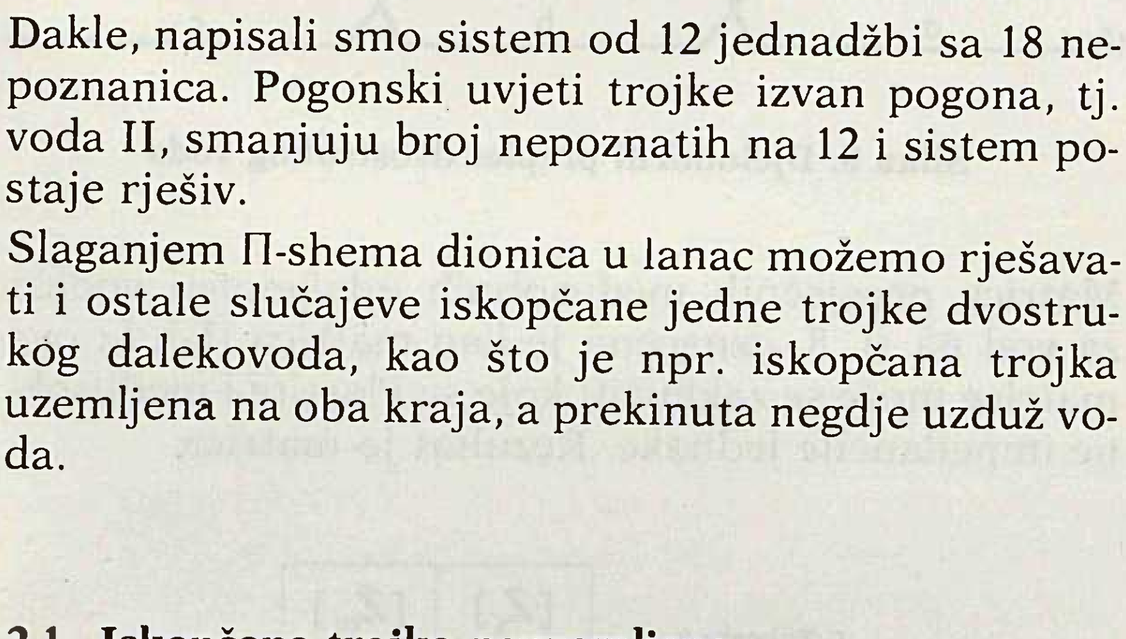
Dakle, napisali smo sistem od 12 jednadžbi sa 18 nepoznanica. Pogonski uvjeti trojke izvan pogona, tj. voda II, smanjuju broj nepoznatih na 12 i sistem postaje rješiv.

Slaganjem Π-shema dionica u lanac možemo rješavati i ostale slučajeve iskopčane jedne trojke dvostrukog dalekovoda, kao što je npr. iskopčana trojka uzemljena na oba kraja, a prekinuta negdje uzduž voda.

2.1. Iskopčana trojka neuzemljena

$$[\bar{I}_{AII}] = [0] \quad 7a$$

$$[\bar{I}_{BII}] = [0] \quad b$$



Slika 4. Vod II iskopčan i neuzemljen

Uvjete 7.a i b uvrstimo u relacije 6.abcd i sredimo. Proširena matrica koeficijenata za ovaj slučaj je:

$[J]$			$-[\bar{M}]$	$[\bar{N}][\bar{V}_{BI}]+[\bar{Z}_s][\bar{I}_{BI}]$
$-[\bar{Y}_s]$	$[J]$	$-[\bar{Y}_m]$	$-[\bar{Y}_m]$	$[\bar{Y}_s][\bar{V}_{BI}]+[\bar{I}_{BI}]$
$-[\bar{Y}_m]$		$-[\bar{Y}_s]$	$-[\bar{Y}_s]$	$[\bar{Y}_m][\bar{V}_{BI}]$
		$[J]$	$-[\bar{N}]$	$[\bar{M}][\bar{V}_{BI}]+[\bar{Z}_m][\bar{I}_{BI}]$

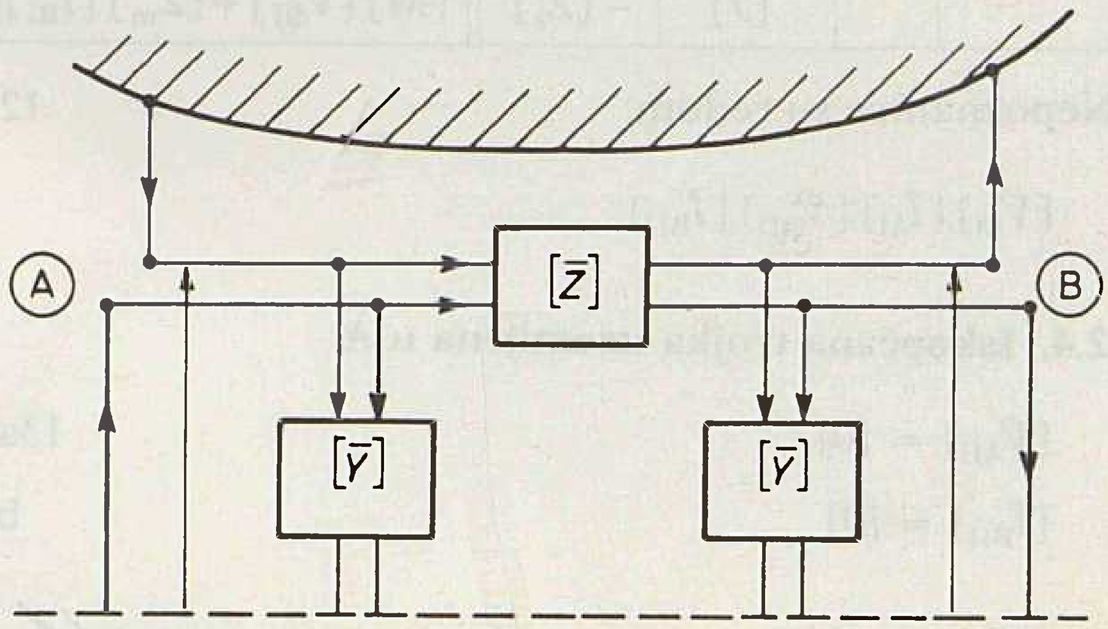
Nepoznanice su redom:

$$[\bar{V}_{AI}],[\bar{I}_{AI}],[\bar{V}_{AII}],[\bar{V}_{BII}]$$

2.2. Iskopčana trojka uzemljena na oba kraja

$$[\bar{V}_{AII}] = [0] \quad 9a$$

$$[\bar{V}_{BII}] = [0] \quad b$$



Slika 5. Vod II iskopčan i uzemljen na oba kraja

Uvjete 9.ab uvrstimo u relacije 6.abcd i sredimo. Proširena matrica koeficijenata za ovaj slučaj je:

$[J]$			$-[\bar{Z}_m]$	$[\bar{N}][\bar{V}_{BI}]+[\bar{Z}_s][\bar{I}_{BI}]$
$-[\bar{Y}_s]$	$[J]$			$[\bar{Y}_s][\bar{V}_{BI}]+[\bar{I}_{BI}]$
$-[\bar{Y}_m]$		$[J]$	$-[J]$	$[\bar{Y}_m][\bar{V}_{BI}]$
			$-[\bar{Z}_s]$	$[\bar{M}][\bar{V}_{BI}]+[\bar{Z}_m][\bar{I}_{BI}]$

10

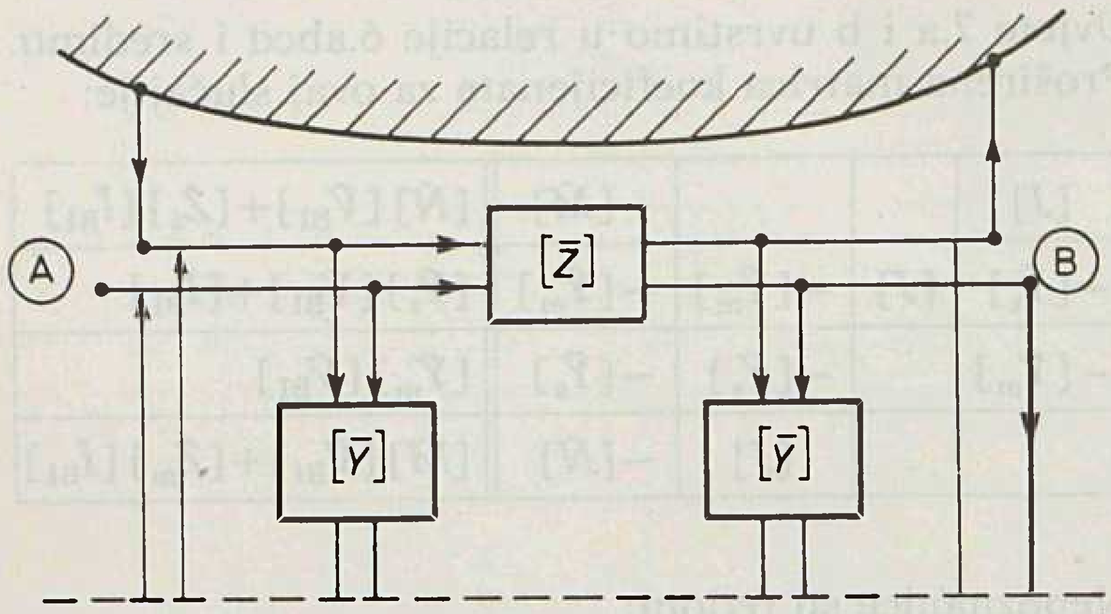
Nepoznanice su redom:

$$[\bar{V}_{AI}],[\bar{I}_{AI}],[\bar{V}_{AII}],[\bar{I}_{BII}]$$

2.3. Iskopčana trojka uzemljena u B

$$[\bar{I}_{AII}] = [0] \quad 11a$$

$$[\bar{V}_{BII}] = [0] \quad b$$



Slika 6. Vod II iskopčan i uzemljen u B

Uvjete 11.ab uvrstimo u relacija 6.abcd i sredimo. Proširena matrica koeficijenata za ovaj slučaj je:

$[J]$			$-[\bar{Z}_m]$	$[\bar{N}][\bar{V}_{BI}]+[\bar{Z}_s][\bar{I}_{BI}]$
$-[\bar{Y}_s]$	$[J]$	$-[\bar{Y}_m]$		$[\bar{Y}_s][\bar{V}_{BI}]+[\bar{I}_{BI}]$
$-[\bar{Y}_m]$		$-[\bar{Y}_s]$	$-[J]$	$[\bar{Y}_m][\bar{V}_{BI}]$
		$[J]$	$-[\bar{Z}_s]$	$[\bar{M}][\bar{V}_{BI}]+[\bar{Z}_m][\bar{I}_{BI}]$

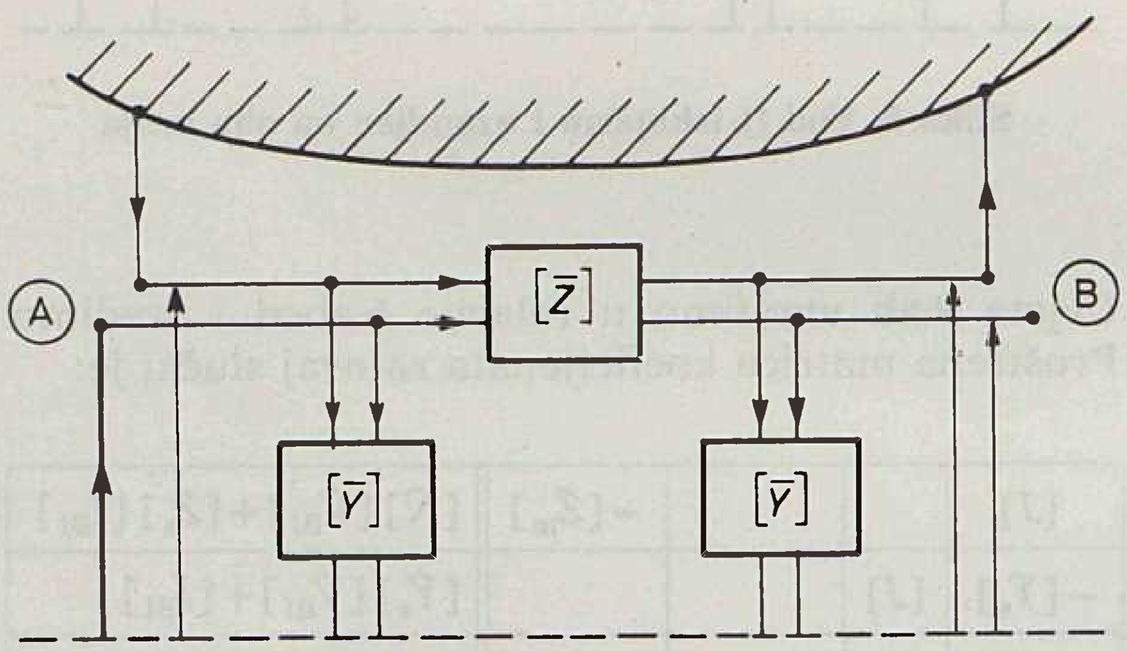
Nepoznanice su redom: 12

$$[\bar{V}_{AI}],[\bar{I}_{AI}],[\bar{V}_{AII}],[\bar{I}_{BII}]$$

2.4. Iskopčana trojka uzemljena u A

$$[\bar{V}_{AII}] = [0] \qquad 13a$$

$$[\bar{I}_{BII}] = [0] \qquad b$$



Slika 7. Vod II iskopčan i uzemljen u A

Uvjete 13.ab uvrstimo u relacije 6.abcd i sredimo. Proširena matrica koeficijenta za ovaj slučaj je:

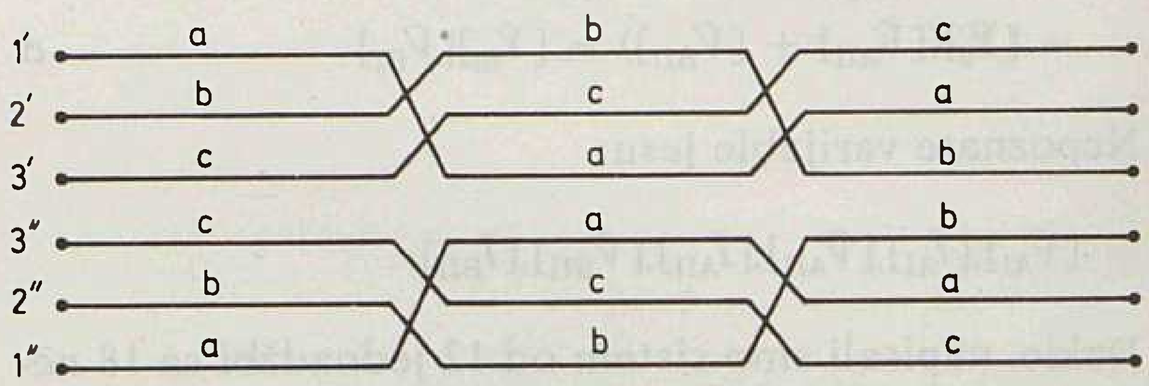
$[J]$			$-[\bar{M}]$	$[\bar{N}][\bar{V}_{BI}]+[\bar{Z}_s][\bar{I}_{BI}]$
$-[\bar{Y}_s]$	$[J]$		$-[\bar{Y}_m]$	$[\bar{Y}_s][\bar{V}_{BI}]+[\bar{I}_{BI}]$
$-[\bar{Y}_m]$		$[J]$	$-[\bar{Y}_s]$	$[\bar{Y}_m][\bar{V}_{BI}]$
			$-[\bar{N}]$	$[\bar{M}][\bar{V}_{BI}]+[\bar{Z}_m][\bar{I}_{BI}]$

Nepoznanice su redom:

$$[\bar{V}_{AI}],[\bar{I}_{AI}],[\bar{I}_{AII}],[\bar{V}_{BII}]$$

3. DJELOMIČNI I POTPUNI PREPLET

Na sl. 8.pokazan je djelomični preplet. Položaj vodiča označen je sa 1′,2′,3′, 1″,2″ i 3″.



Slika 8. Djelomični preplet dvostrukog voda

Matrica prosječnih međusobnih udaljenosti vodiča za vod na sl. 8. označena je kao matrica [U]. Iz ove matrice može se zaključiti koje su vlastite i međusobne impedancije jednake. Rezultat je matrica

$$[\bar{Z}^{abcabc}] = \begin{array}{|c|c|}\hline [\bar{Z}_s] & [\bar{Z}_m] \\ \hline [\bar{Z}_m] & [\bar{Z}_s] \\ \hline \end{array}$$

u kojoj su članovi:

	a	b	c	a	b	c
a	$u_{1'1'}+u_{33}+u_{22}$	$u_{1'2}+u_{31'}+u_{22}$	$u_{1'3}+u_{32}+u_{21'}$	$u_{1'1''}+u_{33''}+u_{22'}$	$u_{1'2'}+u_{31''}+u_{23''}$	$u_{1'3''}+u_{32'}+u_{21'}$
b	$u_{21'}+u_{1'3}+u_{32}$	$u_{22}+u_{1'1'}+u_{33}$	$u_{23}+u_{1'2}+u_{31'}$	$u_{21''}+u_{1'3''}+u_{32'}$	$u_{22'}+u_{1'1''}+u_{33''}$	$u_{23''}+u_{1'2'}+u_{31''}$
c	$u_{31'}+u_{23}+u_{1'2}$	$u_{32}+u_{21'}+u_{1'3}$	$u_{33}+u_{22}+u_{1'1'}$	$u_{31''}+u_{23''}+u_{1'2'}$	$u_{32'}+u_{21''}+u_{1'3''}$	$u_{33''}+u_{22'}+u_{1'1''}$
a	$u_{1''1'}+u_{3'3}+u_{2'2}$	$u_{1''2}+u_{3'1'}+u_{2'3}$	$u_{1''3}+u_{3''2}+u_{2'1'}$	$u_{1''1''}+u_{3'3''}+u_{2'2'}$	$u_{1''2'}+u_{3''1''}+u_{2'3''}$	$u_{1''3''}+u_{3''2'}+u_{2'1''}$
b	$u_{2'1'}+u_{1''3}+u_{3'2}$	$u_{2'2}+u_{1''1'}+u_{3'3}$	$u_{2'3}+u_{1''2}+u_{3''1'}$	$u_{2'1''}+u_{1''3''}+u_{3''2'}$	$u_{2'2'}+u_{1''1''}+u_{3'3''}$	$u_{2'3''}+u_{1''2'}+u_{3''1''}$
c	$u_{3'1'}+u_{2'3}+u_{1''2}$	$u_{3'2}+u_{2'1'}+u_{1''3}$	$u_{3'3}+u_{2'2}+u_{1''1'}$	$u_{3'1''}+u_{2'3''}+u_{1''2'}$	$u_{3'2'}+u_{2'1''}+u_{1''3''}$	$u_{3'3''}+u_{2'2'}+u_{1''1''}$

$|U| =$

$$[\bar{Z}^{abcabc}] =$$

	a	b	c	a	b	c
a	$\bar{Z}_s$	$\bar{Z}_{m1}$	$\bar{Z}_{m2}$	$\bar{Z}_{ss}$	$\bar{Z}_{mm1}$	$\bar{Z}_{mm2}$
b	$\bar{Z}_{m2}$	$\bar{Z}_s$	$\bar{Z}_{m1}$	$\bar{Z}_{mm2}$	$\bar{Z}_{ss}$	$\bar{Z}_{mm1}$
c	$\bar{Z}_{m1}$	$\bar{Z}_{m2}$	$\bar{Z}_s$	$\bar{Z}_{mm1}$	$\bar{Z}_{mm2}$	$\bar{Z}_{ss}$
a	$\bar{Z}_{ss}$	$\bar{Z}_{mm1}$	$\bar{Z}_{mm2}$	$\bar{Z}_s$	$\bar{Z}_{m1}$	$\bar{Z}_{m2}$
b	$\bar{Z}_{mm2}$	$\bar{Z}_{ss}$	$\bar{Z}_{mm1}$	$\bar{Z}_{m2}$	$\bar{Z}_s$	$\bar{Z}_{m1}$
c	$\bar{Z}_{mm1}$	$\bar{Z}_{mm2}$	$\bar{Z}_{ss}$	$\bar{Z}_{m1}$	$\bar{Z}_{m2}$	$\bar{Z}_s$

16

Sada ćemo na matricu $[\bar{Z}^{abcabc}]$ primijeniti simetričnu transformaciju. Dobit ćemo:

$$[\bar{Z}^{012012}] = \begin{array}{|c|c|}\hline [S]^{-1} & \\ \hline & [S]^{-1} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|c|}\hline [\bar{Z}_s] & [\bar{Z}_m] \\ \hline [\bar{Z}_m] & [\bar{Z}_s] \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|c|}\hline [S] & \\ \hline & [S] \\ \hline \end{array} =$$

$$= \begin{array}{|c|c|}\hline [S]^{-1}\ [\bar{Z}_s]\ [S] & [S]^{-1}\ [\bar{Z}_m]\ [S] \\ \hline [S]^{-1}\ [\bar{Z}_m]\ [S] & [S]^{-1}\ [\bar{Z}_s]\ [S] \\ \hline \end{array} =$$

$$=$$

	0	1	2	0	1	2
0	$\bar{Z}^{00}_{I,II}$			$\bar{Z}^{00}_{I,II}$		
1		$\bar{Z}^{11}_{I,I}$			$\bar{Z}^{11}_{I,II}$	
2			$\bar{Z}^{22}_{I,I}$			$\bar{Z}^{22}_{I,II}$
0	$\bar{Z}^{00}_{II,I}$			$\bar{Z}^{00}_{II,II}$		
1		$\bar{Z}^{11}_{II,I}$			$\bar{Z}^{11}_{II,II}$	
2			$\bar{Z}^{22}_{II,I}$			$\bar{Z}^{22}_{II,II}$

17

Sistemi komponenata su nezavisni. Analogno vrijedi i za matricu $[\bar{Y}^{abcabc}]$, koja simetričnom transformacijom prelazi u simetričnu matricu $[\bar{Y}^{012012}]$*. Iz toga proizlazi također, prelaskom u simetrične komponente, dijagonalizacija matrica $[\bar{M}^{012}]$ i $[\bar{N}^{012}]$. Jednadžbe 5.a i b prelaze u 3 sistema jednadžbi, za svaki sistem komponenata po jedan sistem od 4 jednadžbe sa 8 nepoznanica. Uvjeti na kraju voda smanjuju svakom sistemu broj nepoznanica na 4 i sistemi jednadžbi postaju rješivi.

Kada je vod potpuno prepleten u matrici $[\bar{Z}_s]$, međusobno su jednaki dijagonalni članovi i međusobno su jednaki izvandijagonalni članovi. U matrici $[\bar{Z}_m]$ međusobno su jednaki svi članovi. Primjena simetrične transformacije na matricu $[\bar{Z}^{abcabc}]$ u ovom slučaju daje međusobnu vezu između vodova I i II jedino u nultom sistemu komponenata.

Analogno vrijedi i za matricu $[\bar{Y}^{012012}]$. Iz toga proistječe također, prelaskom u simetrične komponente, dijagonalizacija matrice $[\bar{N}^{012}]$ dok se u matrici $[\bar{M}^{012}]$ pojavljuje jedino nulti sistem.

$$[\bar{Z}^{012012}] =$$

	0	1	2	0	1	2
0	$\bar{Z}^{00}_{I,I}$			$\bar{Z}^{00}_{I,II}$		
1		$\bar{Z}^{11}_{I,I}$				
2			$\bar{Z}^{22}_{I,I}$			
0	$\bar{Z}^{00}_{II,I}$			$\bar{Z}^{00}_{II,II}$		
1					$\bar{Z}^{11}_{II,II}$	
2						$\bar{Z}^{22}_{II,II}$

18

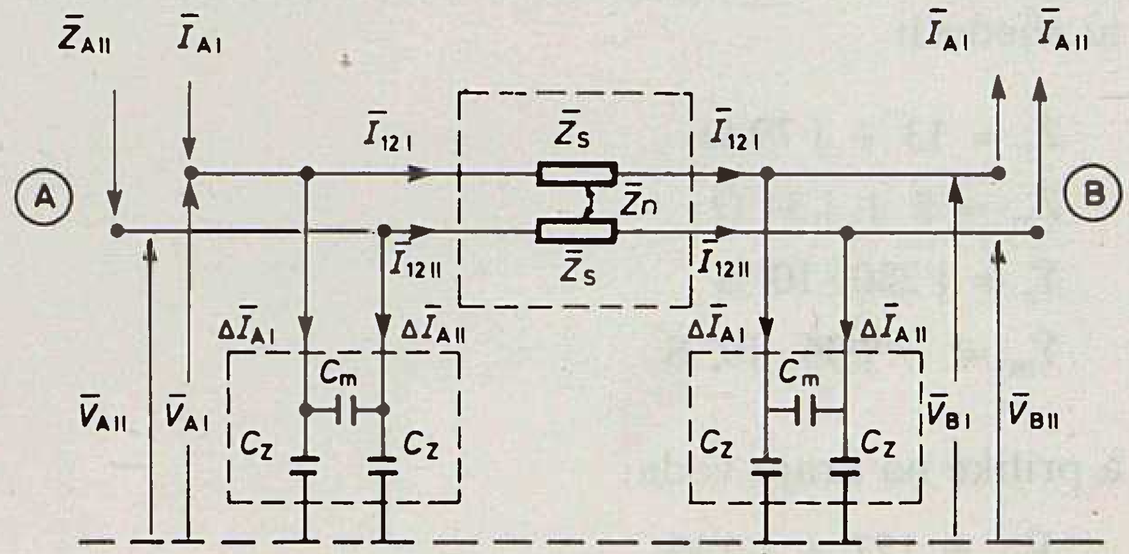
U ovom slučaju jednadžbe 5.a i b prelaze u 3 sistema jednadžbi, za svaki sistem komponenata po jedan sistem od 4 jednadžbe. U jednadžbama postoji međusobna veza među vodovima I i II jedino u nultom sistemu. Direktni sistem voda I nezavisan je od direktnog sistema voda II, a inverzni sistem voda I nezavisan je od inverznog sistema voda II.

Prema izloženom, dvostruki vod s djelomičnim i potpunim prepletom korisno je promatrati u sistemima simetričnih komponenata jer nezavisnost sistema omogućuje promatranje na jednofaznim modelima.

U slučaju dvostrukog voda, kada je jedna trojka u pogonu, a druga iskopčana, a vod je djelomično prepleten, svaki sistem posebno utječe na iskopčanu trojku. U slučaju potpunog prepleta samo nulti sistem trojke u pogonu utječe na iskopčanu trojku.

4. JEDNOFAZNI MODEL DVOSTRUKOG VODA

Najjednostavnije je promatrati prilike na jednofaznom modelu dvostrukog voda. Π-shema jednofaznog modela dvostrukog voda pokazana je na sl. 9.



Slika 9. Π-shema jednofaznog modela dvostrukog voda (fizikalni model)

U ovom modelu lako se vidi što opisuju jednadžbe:

$$[\Delta\bar{V}] = [\bar{Z}]\,[\bar{I}_{12}] \qquad 19a$$

$$[\Delta\bar{I}_A] = [\bar{Y}]\,[\bar{V}_A] \qquad b$$

$$[\Delta\bar{I}_B] = [\bar{Y}]\,[\bar{V}_B] \qquad c$$

* Čije su submatrice dijagonalne matrice.

odnosno

$$\Delta \bar{V}_I = \bar{Z}_S \bar{I}_{12I} + \bar{Z}_m \bar{I}_{12II} \quad 20a$$

$$\Delta \bar{V}_{II} = \bar{Z}_m \bar{I}_{12I} + \bar{Z}_s \bar{I}_{12II} \quad b$$

$$\Delta \bar{I}_{AI} = \bar{Y}_s \bar{V}_{AI} + \bar{Y}_m \bar{V}_{AII} \quad c$$

$$\Delta \bar{I}_{AII} = \bar{Y}_m \bar{V}_{AI} + \bar{Y}_s \bar{V}_{AII} \quad d$$

$$\Delta \bar{I}_{BI} = \bar{Y}_s \bar{V}_{BI} + \bar{Y}_m \bar{V}_{BII} \quad e$$

$$\Delta \bar{I}_{BII} = \bar{Y}_m \bar{V}_{BII} + \bar{Y}_s \bar{V}_{BII} \quad f$$

gdje je:

$$\bar{Y}_s = j\omega (\bar{C}_z + \bar{C}_m) \quad 21a$$

$$\bar{Y}_m = -j\omega \bar{C}_m \quad b$$

Stoga su struje

$$\bar{I}_{zAI} = j\omega \bar{C}_z \bar{V}_{AI} \quad 22a$$

$$\bar{I}_{zBI} = j\omega \bar{C}_z \bar{V}_{BI} \quad b$$

$$\bar{I}_{zAII} = j\omega \bar{C}_z \bar{V}_{AII} \quad c$$

$$\bar{I}_{zBII} = j\omega \bar{C}_z \bar{V}_{BII} \quad d$$

$$\bar{I}_{mAI} = j\omega \bar{C}_m (\bar{V}_{AI} - \bar{V}_{AII}) \quad 23a$$

$$\bar{I}_{mBI} = j\omega \bar{C}_m (\bar{V}_{BI} - \bar{V}_{BII}) \quad b$$

$$\bar{I}_{mAII} = j\omega \bar{C}_m (\bar{V}_{AII} - \bar{V}_{AI}) \quad c$$

$$\bar{I}_{mBII} = j\omega \bar{C}_m (\bar{V}_{BII} - \bar{V}_{BI}) \quad d$$

tj.

$$\bar{I}_{mAI} = -\bar{I}_{mAII} = \bar{I}_{mA} \quad 24a$$

$$\bar{I}_{mBI} = -\bar{I}_{mBII} = \bar{I}_{mB} \quad b$$

Primjer 1.

Zadan je dvostruki jednofazni vod. Parametri voda su sljedeći:

$$\bar{Z}_s = 13 + j\,79\ \Omega$$

$$\bar{Z}_m = 5 + j\,34\ \Omega$$

$$\bar{Y}_s = j\,250 \cdot 10^6\ S$$

$$\bar{Y}_m = -j\,34 \cdot 10^6\ S$$

a prilike na kraju voda:

$$\bar{V}_{BI} = 127 + j\,0\ kV$$

$$\bar{I}_{BI} = 200 - j\,50\ A$$

Treba izračunati struje i napone voda I i II za slučajeve:

a) vod II iskopčan i neuzemljen,
b) vod II iskopčan i uzemljen na oba kraja,
c) vod II iskopčan i uzemljen u B i
d) vod II iskopčan i uzemljen u A.

Rješenje:

Račun ćemo provesti u jediničnim vrijednostima. Ako je:

$$\bar{U}_B = 127\ kV$$

$$\bar{S}_B = 40\ MVA$$

$$\bar{Z}_B = 403{,}225$$

$$\bar{Y}_B = 0{,}002\,48\ S$$

$$\bar{I}_B = 314{,}96\ A$$

tada su jedinične vrijednosti:

$$\bar{Z}_s = 0{,}0322 + j\,0{,}1959$$

$$\bar{Z}_m = 0{,}0124 + j\,o{,}0843$$

$$\bar{Y}_s = j\,0{,}1008$$

$$\bar{Y}_m = -j\,0{,}0137$$

$$\bar{N} = 0{,}9815 + j\,0{,}003$$

$$\bar{M} = -0{,}0058 + j\,0{,}0008$$

a)

1,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0058 −0,0008	1,0330 0,1223
0,0000 −0,1008	1,0000 0,0000	0,0000 0,0137	0,0000 0,0137	0,6350 −0,0580
0,0000 0,0137	0,0000 0,0000	0,0000 −0,1008	0,0000 −0,1008	0,0000 −0,0137
0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	1,0000 0,0000	0,9815 −0,0030	0,0155 0,0523

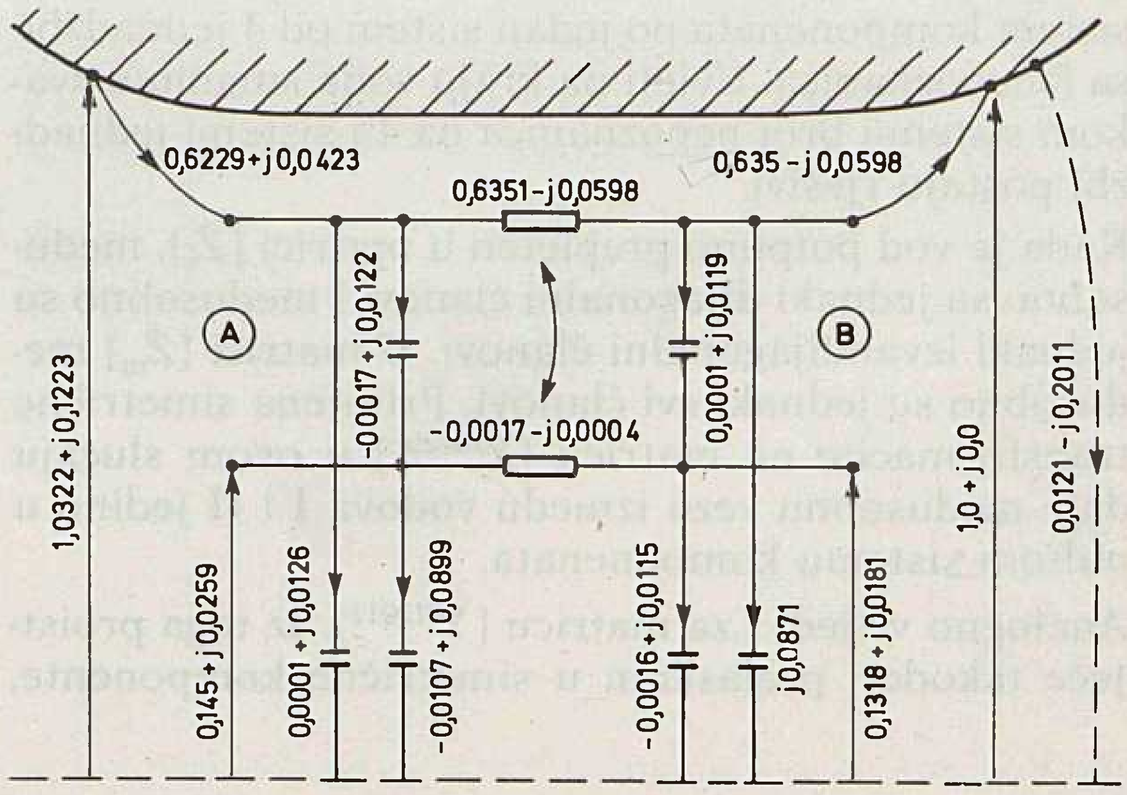
Rješenje:

$$\bar{V}_{AI} = 1{,}0322 + j\,0{,}1223$$

$$\bar{I}_{AI} = 0{,}6229 + j\,0{,}0423$$

$$\bar{V}_{AII} = 0{,}1450 - j\,0{,}0012$$

$$\bar{V}_{BII} = 0{,}1318 - j\,0{,}0181$$



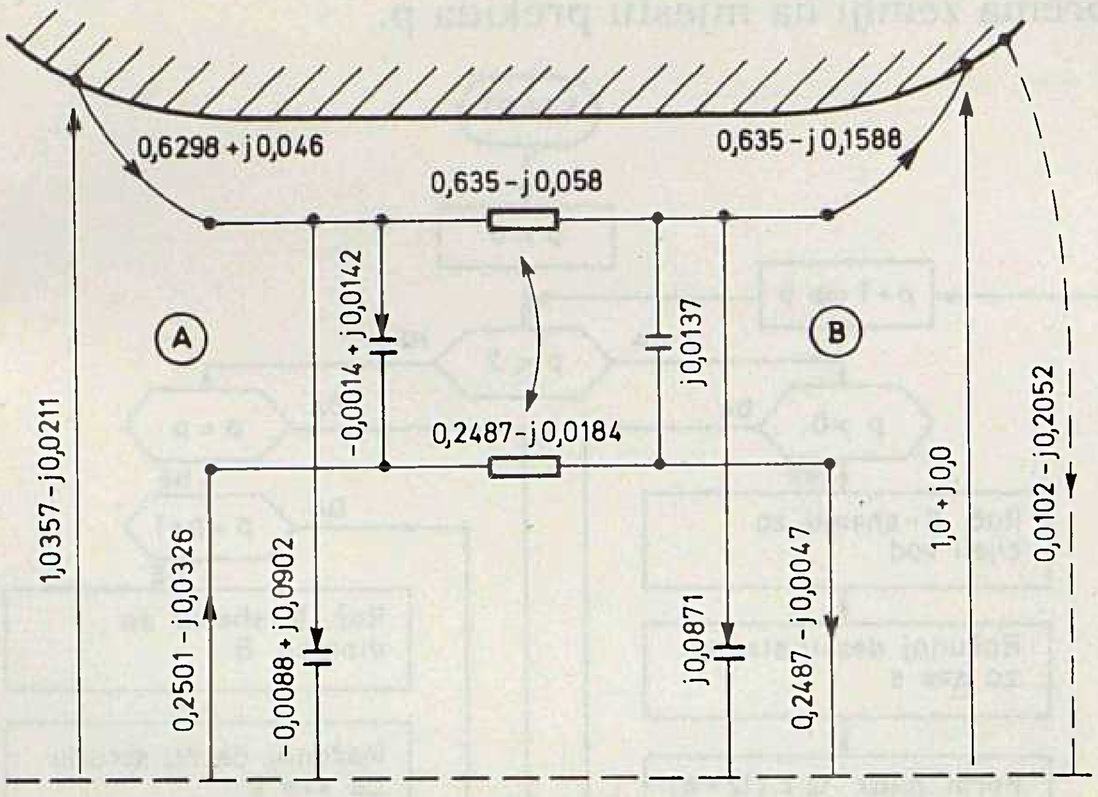
Slika 10. Vod II iskopčan i neuzemljen

b)

1,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	−0,0124 0,0843	1,0330 0,1223
0,0000 −0,1008	1,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,6350 −0,0580
0,0000 0,0137	0,0000 0,0000	1,0000 0,0000	−1,0000 0,0000	0,0000 −0,0137
0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	−0,0322 0,1959	0,0155 0,0523

Rješenje:

$$\bar{V}_{AI} = 1{,}0357 - j\ 0{,}1012$$
$$\bar{I}_{AI} = 0{,}6248 + j\ 0{,}0464$$
$$\bar{I}_{AII} = 0{,}2501 - j\ 0{,}0326$$
$$\bar{I}_{BII} = 0{,}2487 - j\ 0{,}0047$$



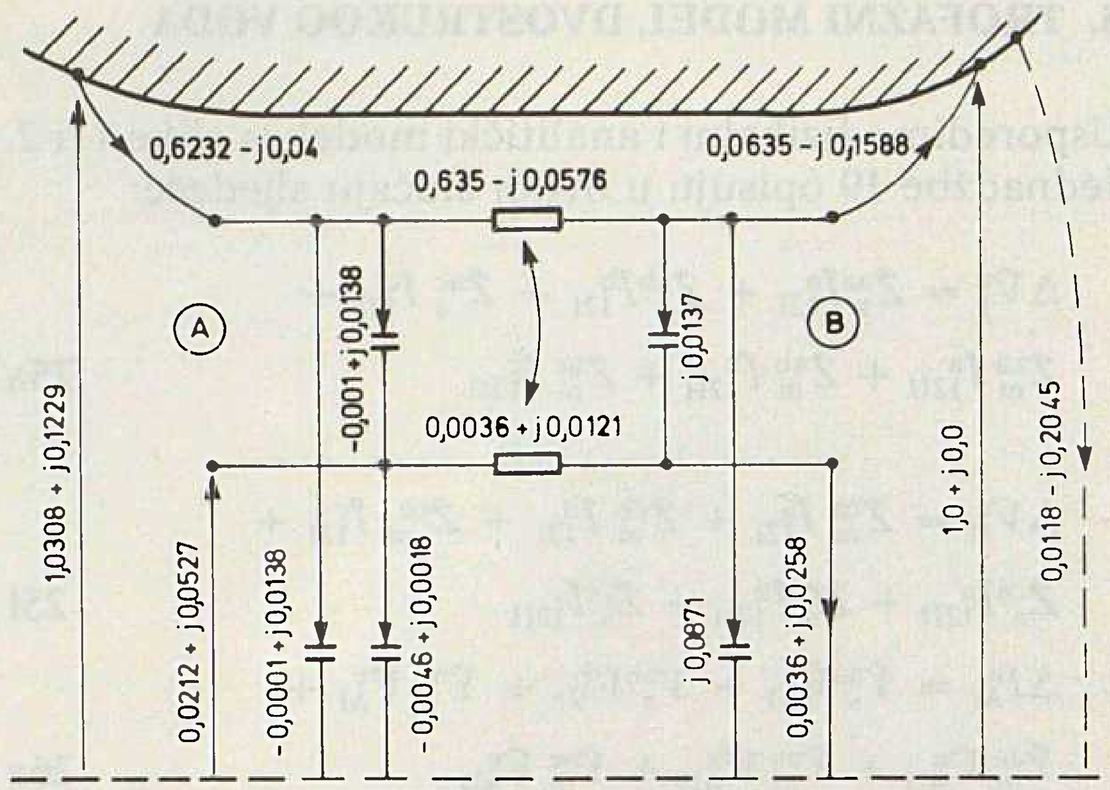
Slika 11. Vod II uskopčan i uzemljen na oba kraja

c)

1,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	−0,0124 −0,0843	1,0330 0,1223
0,0000 −0,1008	1,0000 0,0000	0,0000 0,0139	0,0000 0,0000	0,6530 −0,0580
0,0000 0,0137	0,0000 0,0000	0,0000 −0,1008	−1,0000 0,0000	0,0000 −0,0137
0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	1,0000 0,0000	−0,0322 0,1959	0,0155 0,0523

Rješenje:

$$\bar{V}_{AI} = 1{,}0308 + j\ 0{,}1229$$
$$\bar{I}_{AI} = 0{,}0232 + j\ 0{,}0460$$
$$\bar{V}_{AII} = 0{,}0212 + j\ 0{,}0527$$
$$\bar{I}_{BII} = 0{,}0036 + j\ 0{,}0258$$



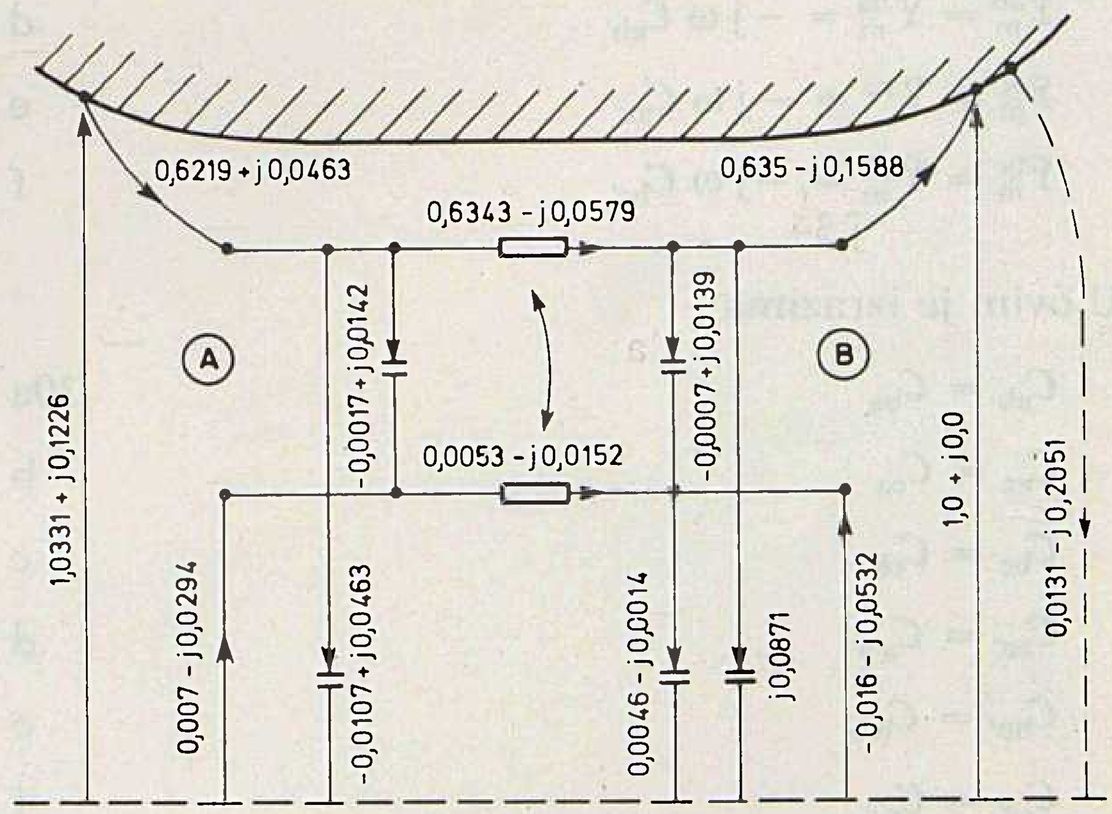
Slika 12. Vod II iskopčan i uzemljen u B

d)

1,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0058 −0,0008	1,0330 0,1223
0,0000 −0,1008	1,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0000 0,0137	0,6350 −0,0580
0,0000 0,0137	0,0000 0,0000	1,0000 0,0000	0,0000 −0,1008	0,0000 −0,0137
0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	0,0000 0,0000	−0,9815 −0,0003	0,0155 0,0523

Rješenje:

$$\bar{V}_{AI} = 1{,}0331 + j\ 0{,}1226$$
$$\bar{I}_{AI} = 0{,}6219 + j\ 0{,}0463$$
$$\bar{I}_{AII} = 0{,}0070 - j\ 0{,}0294$$
$$\bar{V}_{BII} = -\ 0{,}016 - j\ 0{,}0532$$



Slika 13. Vod II iskopčan i uzemljen u A

5. TROFAZNI MODEL DVOSTRUKOG VODA

Usporedimo fizikalni i analitički model sa slike 1. i 2. Jednadžbe 19 opisuju u ovom slučaju sljedeće:

$$\Delta \bar{V}_{\mathrm{I}}^{\mathrm{a}} = \bar{Z}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{aa}} \bar{I}_{12\mathrm{I}}^{\mathrm{a}} + \bar{Z}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ab}} \bar{I}_{12\mathrm{I}}^{\mathrm{b}} + \bar{Z}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ac}} \bar{I}_{12\mathrm{I}}^{\mathrm{c}} +$$

$$\bar{Z}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{aa}} \bar{I}_{12\mathrm{II}}^{\mathrm{a}} + \bar{Z}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ab}} \bar{I}_{12\mathrm{II}}^{\mathrm{b}} + \bar{Z}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ac}} \bar{I}_{12\mathrm{II}}^{\mathrm{c}} \qquad 25a$$

. . . . . .

$$\Delta \bar{V}_{\mathrm{II}}^{\mathrm{c}} = \bar{Z}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ca}} \bar{I}_{12\mathrm{I}}^{\mathrm{a}} + \bar{Z}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{cb}} \bar{I}_{12\mathrm{I}}^{\mathrm{b}} + \bar{Z}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{cc}} \bar{I}_{12\mathrm{I}}^{\mathrm{c}} +$$

$$\bar{Z}_{\mathrm{a}}^{\mathrm{ca}} \bar{I}_{12\mathrm{II}}^{\mathrm{a}} + \bar{Z}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{cb}} \bar{I}_{12\mathrm{II}}^{\mathrm{b}} + \bar{Z}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{cc}} \bar{I}_{12\mathrm{II}}^{\mathrm{c}} \qquad 25f$$

$$\Delta \bar{I}_{\mathrm{AI}}^{\mathrm{a}} = \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{aa}} \bar{V}_{\mathrm{AI}}^{\mathrm{a}} + \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ab}} \bar{V}_{\mathrm{VI}}^{\mathrm{b}} + \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ac}} \bar{V}_{\mathrm{AI}}^{\mathrm{c}} +$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{aa}} \bar{V}_{\mathrm{AII}}^{\mathrm{a}} + \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{aa}} \bar{V}_{\mathrm{AII}}^{\mathrm{b}} + \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ac}} \bar{V}_{\mathrm{AII}}^{\mathrm{c}} \qquad 26a$$

. . . . . .

$$\Delta \bar{I}_{\mathrm{AII}}^{\mathrm{c}} = \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ca}} \bar{V}_{\mathrm{AI}}^{\mathrm{a}} + \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{cb}} \bar{V}_{\mathrm{AI}}^{\mathrm{b}} + \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ac}} \bar{V}_{\mathrm{AI}}^{\mathrm{c}} +$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ca}} \bar{V}_{\mathrm{AII}}^{\mathrm{a}} + \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{cb}} \bar{V}_{\mathrm{AII}}^{\mathrm{b}} + \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{cc}} \bar{V}_{\mathrm{AII}}^{\mathrm{c}} \qquad 26f$$

$$\Delta \bar{I}_{\mathrm{BI}}^{\mathrm{a}} = \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{aa}} \bar{V}_{\mathrm{BI}}^{\mathrm{a}} + \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ab}} \bar{V}_{\mathrm{BI}}^{\mathrm{b}} + \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ac}} \bar{V}_{\mathrm{BI}}^{\mathrm{c}} +$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{aa}} \bar{V}_{\mathrm{BII}}^{\mathrm{a}} + \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ab}} \bar{V}_{\mathrm{BII}}^{\mathrm{b}} + \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ac}} \bar{V}_{\mathrm{BII}}^{\mathrm{c}} \qquad 27a$$

. . . . . .

$$\Delta \bar{I}_{\mathrm{BII}}^{\mathrm{c}} = \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ca}} \bar{V}_{\mathrm{BI}}^{\mathrm{a}} + \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{cb}} \bar{V}_{\mathrm{BI}}^{\mathrm{b}} + \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{cc}} \bar{V}_{\mathrm{BI}}^{\mathrm{c}} +$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ca}} \bar{V}_{\mathrm{BII}}^{\mathrm{a}} + \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{cb}} \bar{V}_{\mathrm{BII}}^{\mathrm{b}} + \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{cc}} \bar{V}_{\mathrm{BII}}^{\mathrm{c}} \qquad 27f$$

gdje je:

$$\bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{aa}} = \mathrm{j}\,\omega\,(C_{\mathrm{aa}} + C_{\mathrm{ab}} + C_{\mathrm{ac}} + C_{\mathrm{aa'}} + C_{\mathrm{ab'}} + C_{\mathrm{ac'}}) \qquad 28a$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{bb}} = \mathrm{j}\,\omega\,(C_{\mathrm{ba}} + C_{\mathrm{bb}} + C_{\mathrm{bc}} + C_{\mathrm{ba'}} + C_{\mathrm{bb'}} + C_{\mathrm{bc'}}) \qquad b$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{cc}} = \mathrm{j}\,\omega\,(C_{\mathrm{ca}} + C_{\mathrm{cb}} + C_{\mathrm{cc}} + C_{\mathrm{ca'}} + C_{\mathrm{cb'}} + C_{\mathrm{cc'}}) \qquad c$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ab}} = \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ba}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{ab}} \qquad b$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ac}} = \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{ca}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{ac}} \qquad e$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{bc}} = \bar{Y}_{\mathrm{s}}^{\mathrm{cb}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{bc}} \qquad f$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{aa}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{aa'}} \qquad 29a$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{bb}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{bb'}} \qquad b$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{cc}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{cc'}} \qquad c$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ab}} = \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ba}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{ab'}} \qquad d$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{ac}} = \bar{Y}^{\mathrm{ca}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{ac'}} \qquad e$$

$$\bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{bc}} = \bar{Y}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{cb}} = -\mathrm{j}\,\omega\,C_{\mathrm{bc'}} \qquad f$$

U ovim je izrazima:

$$C_{\mathrm{ab}} = C_{\mathrm{ba}} \qquad 30a$$

$$C_{\mathrm{ac}} = C_{\mathrm{ca}} \qquad b$$

$$C_{\mathrm{bc}} = C_{\mathrm{cb}} \qquad c$$

$$C_{\mathrm{aa'}} = C_{\mathrm{a'a}} \qquad d$$

$$C_{\mathrm{bb'}} = C_{\mathrm{b'b}} \qquad e$$

$$C_{\mathrm{cc'}} = C_{\mathrm{c'c}} \qquad f$$

$$C_{\mathrm{ab'}} = C_{\mathrm{b'a}} \qquad g$$

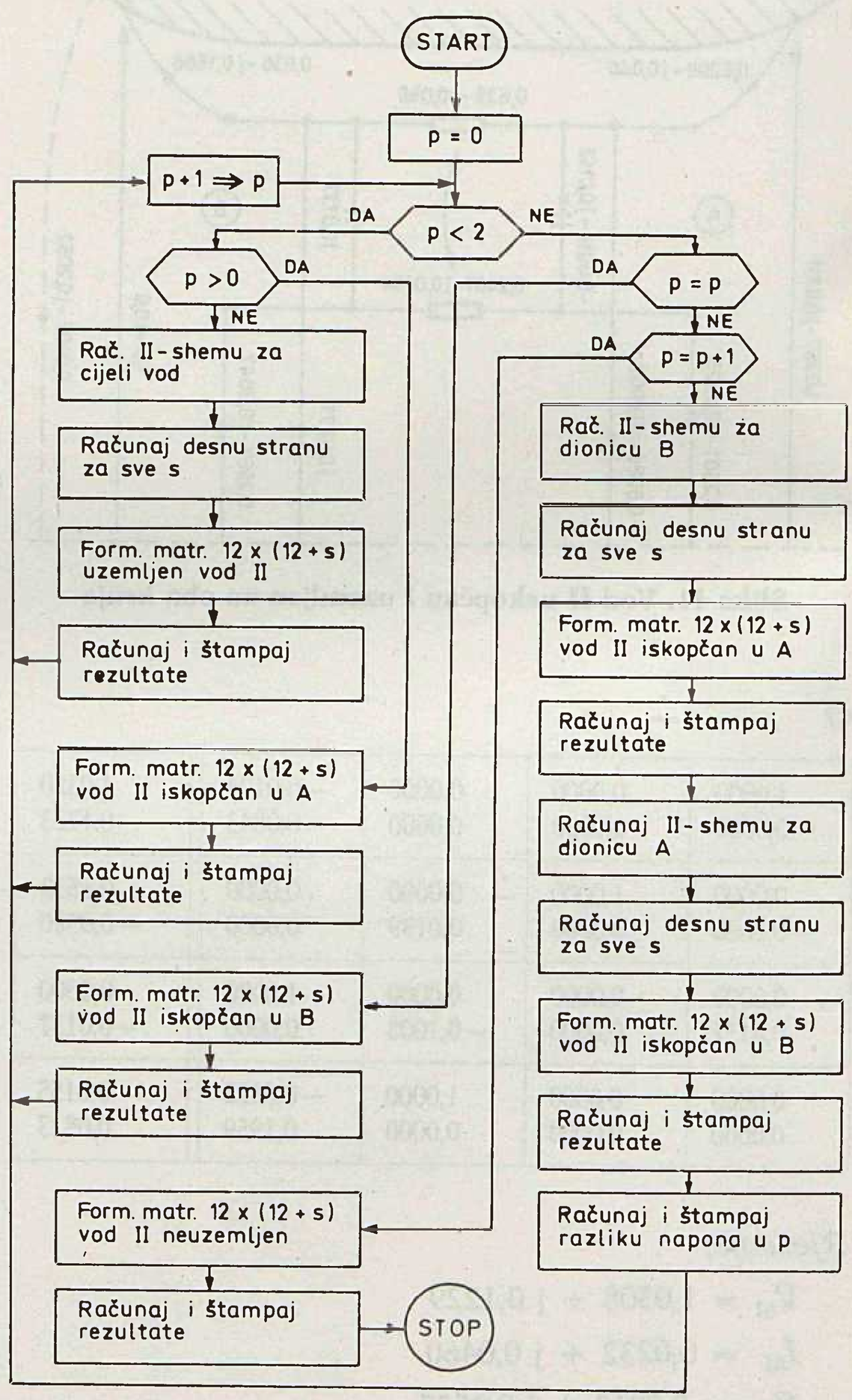
$$C_{\mathrm{ac'}} = C_{\mathrm{c'a}} \qquad h$$

$$C_{\mathrm{bc'}} = C_{\mathrm{c'b}} \qquad i$$

Blok-dijagram toka na sl. 14. pokazuje račun prilika na dvostrukom neprepletenom vodu kada je iskopčana trojka uzemljena na krajevima, i prekinuta negdje duž voda. U dijagramu znači:

p = 0 vod II uzemljen na oba kraja
p = 1 vod II uzemljen u B
p = 2 . . . (P-1) vod II uzemljen na oba kraja, prekinut u p (prekid duž voda)
p = P vod II uzemljen u A
p = P+1 vod II neuzemljen

Pretpostavlja se više pogoskih stanja na vodu I, koja su zadana prilikama na kraju voda I. Svako ovo stanje formira desnu stranu proširene matrice jednadžbi, dok matrica koeficijenata ostaje nepromijenjena. Zato se matrica koeficijenata proširuje proizvoljnim brojem vektora pogonskih stanja na vodu I, što je u dijagramu toka označeno slovom S. Glavni podatak ovog računa jest razlika napona faza i naponi prema zemlji na mjestu prekida p.



Sl. 14. Blok – dijagram toka programa »PUTDD« (prekid uzemljene trojke dvostrukog neprepletenog dalekovoda)

6. ZAKLJUČAK

Neugodan je zadatak računanja prilika na dvostrukim dalekovodima i njihova utjecaja na mrežu kada su neprepleteni ili djelomično prepleteni. Istražuje se mali utjecaj za koji je potrebno veliko računanje. Za neprepleteni vod trofazni model je jedino rješenje. Zadane prilike na vodu u pogonu morale bi se odrediti uzimajući u obzir iskopčanu trojku, kao i nesimetrije ostalih dvostrukih i jednostrukih vodova u mreži, što je praktički teško izvedivo. Zato preostaje donošenje ocjena na temelju računa simetrične mreže u kojem su male nesimetrije zbog vodova zanemarene, a predloženim računom se vrši korekcija.

INTERPRETATION OF RESULTS FOR ONE AND THREE Π-SCHEME DOUBLED TRANSMISSION LINE

In the article is described an analytical calculation for double transmission line in matrix form and applicable model. Presented is way how to interpret results for Π-sheme double line and how to calculate conditions on the line in case of switched off three lines carthed at both ends and disconnected on the line.

INTERPRETATION DER RESULTATE DES EIN UND DREIPHASEN Π SCHEMAS DER DOPPELTEN ÜBERLANDLEITUNG

Geschildert wurde die analytische Bearbeitung der doppelten Überlandleitung in der Matritzenrechnung sowie das entsprechende Modell. Gezeigt wurde wie man die Resultate von dem Π Schema der doppelten Überlandleitung interpretieren soll und wie man die Verhältnisse auf einer solchen Überlandleitung wenn die dritte an den Enden geerdete Leitung ausgeschaltet und längs der Leitung unterbrochen ist, ausrechnen soll.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОДНОФАЗНОЙ И ТРЕХФАЗНОЙ Π-СХЕМ ДВУХЦЕПНОЙ ЛИНИИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Представлена аналитическая обработка двухцепной ЛЭП в матричной форме, как и соответствующая модель. Показано как следует представлять результаты с Π-схемы двухцепной ЛЭП и как расчитывать обстановки на такой ЛЭП, когда отключенная одна цепь заземлена на концах и прервана вдоль линии.

Naslov pisca:

**dr Marija Ožegović,
Fakultet elektrotehnike,
strojarstva i brodogradnje, 58000
Split, R. Boškovića bb**

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 10 – 02.

LITERATURA

[1] M. i K. OŽEGOVIĆ: »Električne mreže III«, udžbenik-skripta, Split, 1982.

PROJEKT

INA-PROJEKT, Radna organizacija za istraživanje, inženjering i izgradnju postrojenja i objekata sa n. sol. o. OOUR-a u sastavu SOUR-a INA-Industrija nafte, Zagreb,

Proleterskih brigada 78. Telefon 533-444 Telex 22228

INA-PROJEKT je nastao 1983. god. integracijom dviju poznatih radnih organizacija inženjerske djelatnosti, tj. INA-INŽENJERING-a, Zagreb, Proleterskih brigada 78, osnovanog 1967. godine i INDUSTROPROJEKT-a, Zagreb, Savska cesta 88a, osnovanog 1951. godine, te je tako postao jedna od najvećih inženjering organizacija u SFRJ. Kolektiv INA-PROJEKT-a obuhvaća preko 1400 iskusnih radnika raznih specijalnosti od kojih je preko 40% sa visokom stručnom spremom, dok je i većina ostalih sa višom ili srednjom stručnom spremom.

Organizaciono INA-PROJEKT se sastoji od tri OOUR-a i jedne Radne zajednice:

OOUR — Inženjering (oko 1050 uposlenih)
OOUR — Proizvodnja i razvoj specijalne opreme (oko 100 uposlenih)
OOUR — Kompleksna geološka istraživanja (oko 100 uposlenih)
RZ — Radna zajednica (oko 200 uposlenih) obavlja zajedničke poslove za sve OOUR-e kao što su financijski, planski, pravni, kadrovski i drugi opći poslovi.

OOUR — INŽENJERING, Proleterskih brigada 78, Zagreb

Izrađuje i nudi za naftnu, petrokemijsku i kemijsku industriju, za industriju obojenih metala, za energetske objekte:

— Predinvesticijsku dokumentaciju, kao što su studije procesa, tržišta, lokacije itd., te kompletne investicijske programe.
— Projektnu i izvedbenu dokumentaciju
— Nabavku opreme i materijala.
— Organizaciju, planiranje i nadzor pri izgradnji.
— Specijalne usluge pri izgradnji.
— Obuku kadrova, puštanje u pogon, predaja postrojenja.
— Izgradnju objekata »pod ključ«.

OOUR — PROIZVODNJA I RAZVOJ SPECIJALNE OPREME, Savska cesta 88a, Zagreb

Proizvodi i nudi:

— Razne vrste ventila, redukcione i mjerne plinske stanice.
— Pumpne stanice, vakum pumpe.
— Instalacije za loženje u manjim industrijama, zgradama i slično.

OOUR — KOMPLEKSNA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA, Savska cesta 88a, Zagreb

Obavlja:

— Opće geološke istrage
— Istraživanja na mineralne sirovine
— Istraživanja energetskih izvora
— Hidrogeološka istraživanja
— Inženjersko-geološka i geotehnička istraživanja

PRORAČUN UNUTRAŠNJIH PRENAPONA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA UZEMLJENIM PREKO OTPORNIKA

mr Srđan Žutobradić i mr Božidar Filipović-Grčić, Zagreb

UDK 621.316:629.316.1

PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku su prikazani rezultati proračuna unutrašnjih prenapona u tipičnim distributivnim 10 kV mrežama sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika. Osim općih karakteristika tih prenapona, prikazana je njihova ovisnost o nizu utjecajnih parametara. Na temelju dobivenih rezultata predložen je kriterij za odredivanje donje moguće veličine struje jednopolnog kvara u 10(20) kV mrežama.

Ključne riječi: distributivne mreže, uzemljenje zvjezdišta, faktor prenapona, zemljospoj.

1. UVOD

U SR Hrvatskoj je u toku prelazak 35 kV distributivnih mreža na pogon s uzemljenim zvjezdištem preko maloomskog otpornika za ograničavanje struje jednopolnog kvara na maksimalno 300 A, ili 1000 A u čistim kabelskim mrežama. Također se priprema prelazak 10(20) kV mreža na rad s uzemljenim zvjezdištem. Međutim, za te mreže nije sasvim raščišćeno pitanje izbora veličine struje jednopolnog kvara (odnosno veličine otpornika). Većina naših mreža je mješovitog karaktera. U takvim mrežama kabeli podižu kapacitivnu struju zemljospoja iznad granice od 20(15) A, kada se preporučuje uzemljenje zvjezdišta. S druge strane, kod TS 10(20)/0,4 kV koje su priključene na nadzemnu mrežu dosta je teško ispuniti uvjete neopasnosti ako se struja jednopolnog kvara ograniči na više vrijednosti (zbog strogih tehničkih propisa — /1/).

Budući da je jedan od glavnih razloga zbog kojeg se provodi uzemljenje zvjezdišta snižavanje unutrašnjih prenapona prilikom jednopolnih kvarova, veoma je važno utvrditi utjecaje pojedinih parametara distributivnih mreža na visinu unutrašnjih prenapona. U našim distributivnim mrežama izvršeno je dosta mjerenja unutrašnjih prenapona koji se javljaju zbog jednopolnih kvarova (npr. /2/, /3/). Navedeni eksperimenti dali su mnogo vrijednih rezultata. No, takva mjerenja su razmjerno skupa i kompliciranа, a ne omogućuju variranje utjecajnih parametara u širokim granicama. Zato je obavljen niz proračuna faktora unutrašnjih prenapona pomoću programa PRENAP /4/. Usporedba mjernih i računskih rezultata pokazala je dobro slaganje, samo što je proračun u pravilu davao nešto više vrijednosti faktora prenapona. Prema tome, računski rezultati nalaze se na »sigurnijoj« strani.

2. OPĆENITO O UNUTRAŠNJIM PRENAPONIMA U MREŽAMA UZEMLJENIM PREKO OTPORNIKA

U srednjonaponskim mrežama čije je zvjezdište uzemljeno preko otpornika ne postoji opasnost od veoma neugodnih intermitirajućih prenapona, jer otpornik za uzemljenje omogućuje pražnjenje nultih kapaciteta. U uzemljenim mrežama također je drastično smanjena mogućnost nastanka dvostrukih zemljospojeva. To su velike prednosti u odnosu prema pogonu mreže sa izoliranim zvjezdištem. Međutim, i u uzemljenim mrežama postoji mogućnost pojave dviju vrsta unutrašnjih prenapona:

a) prenapona pri nastanku dozemnih kvarova,
b) prenapona kod isključenja dozemnih kvarova.

Prenaponi vrste b) su posljedica loših karakteristika ili neispravnosti prekidača, a mogu se znatno prigušiti ili ukloniti redovnin održavanjem i revizijama prekidača, što je i dokazano u /2/. Kao problem ostaju prenaponi vrste a). U /4/ je izložen matematički model koji opisuje radijalnu distributivnu mrežu sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika (prilikom jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama pojne točke ↓). Na temelju modela izrađen je program za elektroničko računalo PRENAP pomoću koga je izvršena serija proračuna unutrašnjih prenapona u tipičnim distributivnim mrežama napona 10 kV. Došlo se do sljedećih općih zaključaka:

1) Smanjenje veličine otpornika za ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja dovodi do sniženja unutrašnjih prenapona.
2) Porast ukupnog dozemnog kapaciteta srednjonaponske mreže (tj. porast kapacitivne struje zemljospoja) uvjetuje porast unutrašnjih prenapona.
3) Povećanje pogonskog kapaciteta u odnosu na nulti kapacitet srednjonaponske mreže djeluje u

smislu sniženja prenapona; takva situacija postoji npr. u mrežama sastavljenim od kabela tipa IPO 13 gdje je nulti kapacitet za oko 40 % manji od pogonskog.

4) Porast opterećenja razmatrane srednjonaponske mreže smanjuje unutrašnje prenapone.
5) Prijelazni otpor na mjestu jednopolnog kvara smanjuje unutrašnje prenapone.

Navedeni zaključci su u skladu s dosadašnjim spoznajama — /2/, /3/. Rezultati istraživanja utjecaja pojedinih parametara mreže na visinu unutrašnjih prenapona prilikom jednopolnih kvarova prikazani su u pogl. 3.

3. RAČUNSKA ANALIZA UNUTRAŠNJIH PRENAPONA U MREŽAMA UZEMLJENIM PREKO OTPORNIKA

Rezultati proračuna unutrašnjih prenapona zbog jednopolnih kvarova dani su pomoću faktora prenapona koji se definira kao:

$$k = \frac{U_{mf}}{U_{nf}} \qquad (1)$$

gdje je U_{mf} maksimalna tjemena vrijednost faznog napona nakon nastanka jednopolnog kvara, a U_{nf} je tjemena vrijednost dopuštenog faznog napona.

Potrebno je upozoriti da su u proračunima varirane veličine:

I_c — kapacitivna struja zemljoposja,
I_R — nazivna struja otpornika,
I_3 — struja tropolnog kvara na sabirnicama pojne točke.

Međutim, fizikalno gledano mjerodavni su iznosi:

C_o — nulte kapacitivnosti mreže,
R_n — otpor otpornika u zvjezdištu,
L_1 — induktivitet na sabirnicama pojne točke (direktni sustav).

Navedene veličine su međusobno direktno vezane preko sljedećih relacija:

$$C_o = \frac{I_c}{\omega \cdot \sqrt{3} \cdot U} \qquad (2)$$

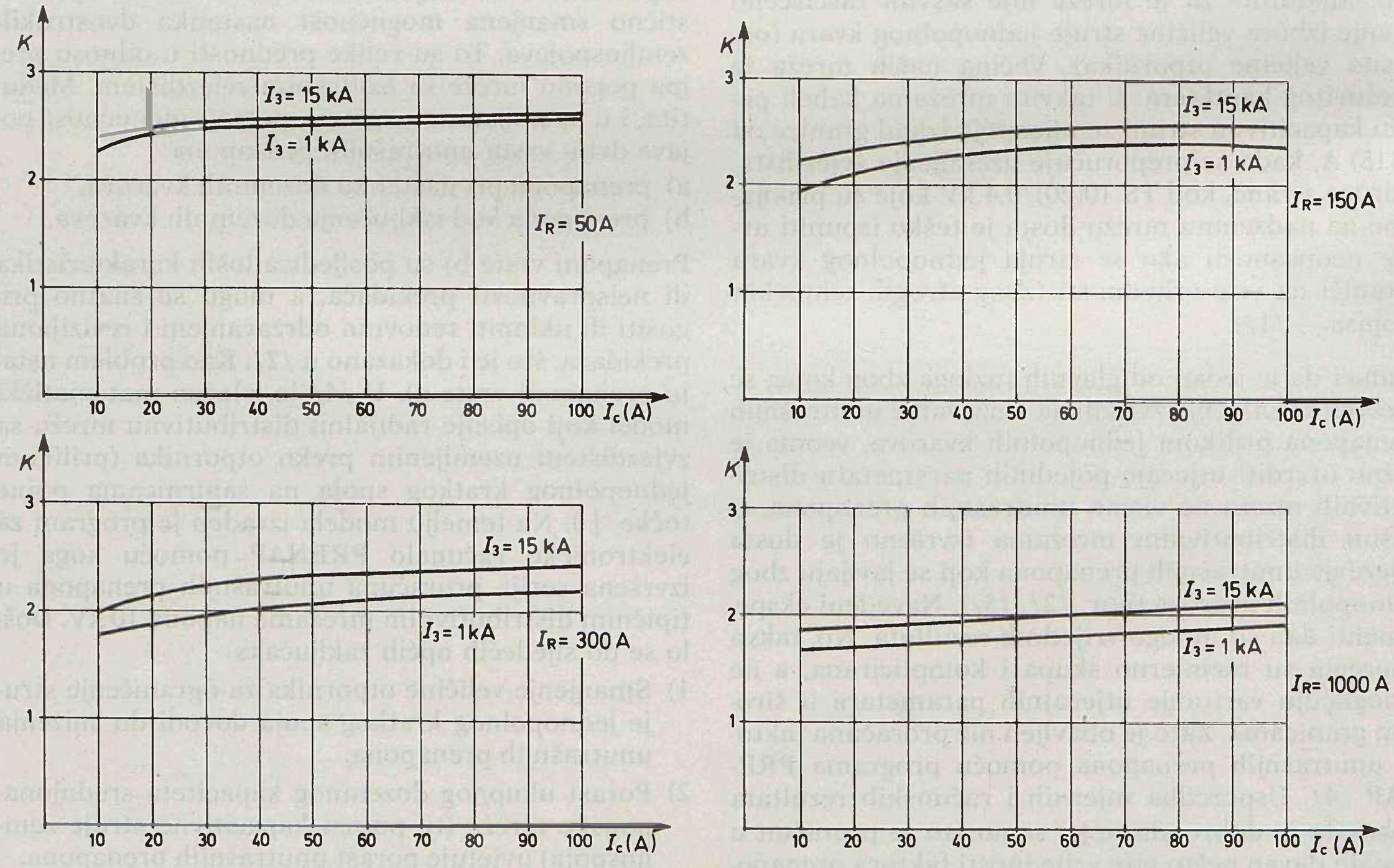
$$R_n = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_R} \qquad (3)$$

$$L_1 = \frac{U}{\omega \cdot \sqrt{3} \cdot I_3} \qquad (4)$$

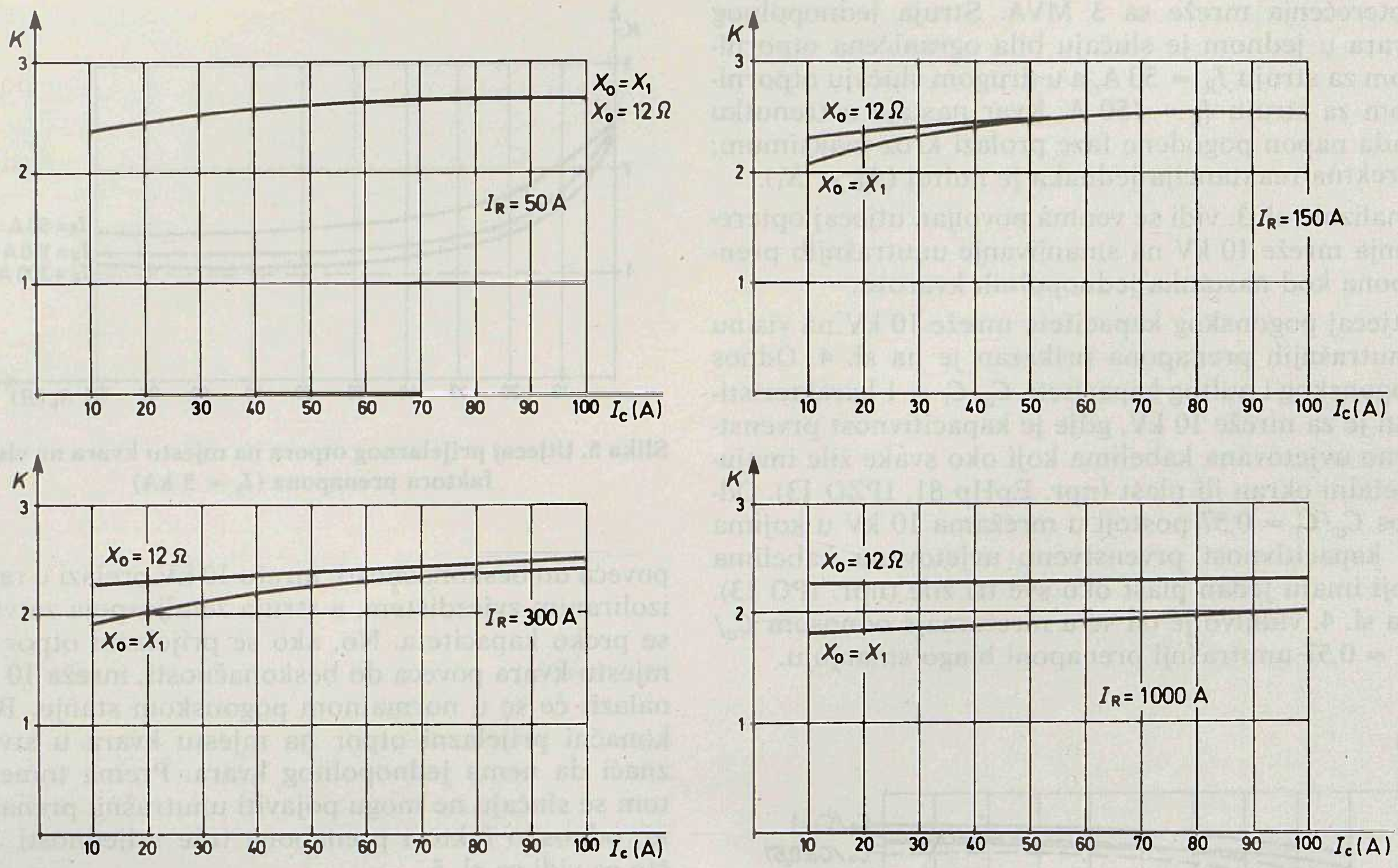
Veličina U predstavlja linijski napon mreže, a ω kružnu frekvenciju (314 s^{-1}).

Budući da su veličine I_c, I_R i I_3 puno »bliže« stručnjacima koji se bave distrubitivnom problematikom, one su varirane kao utjecajni parametri.

Na sl. 1. prikazani su faktori unutrašnjeg prenapona na sabirnicama 10 kV pojne TS 35/10 kV u ovisnosti o parametrima I_c, I_R i I_3. Pretpostavljeno je da u tre-



Slika 1. Faktori unutrašnjeg prenapona u ovisnosti o kapacitivnoj struji zemljospoja (I_c), struji otpornika (I_R), te struji tropolnog kvara (I_3) na sabirnicama 10 kV TS 35/10 kV



Slika 2. Faktori unutrašnjeg prenapona u ovisnosti o kapacitivnoj struji zemljospoja (I_c) i struji otpornika (I_R) uz primjenu umjetnog zvjezdišta induktiviteta $X_0 = 12\Omega$ ($I_3 = 5$ kA)

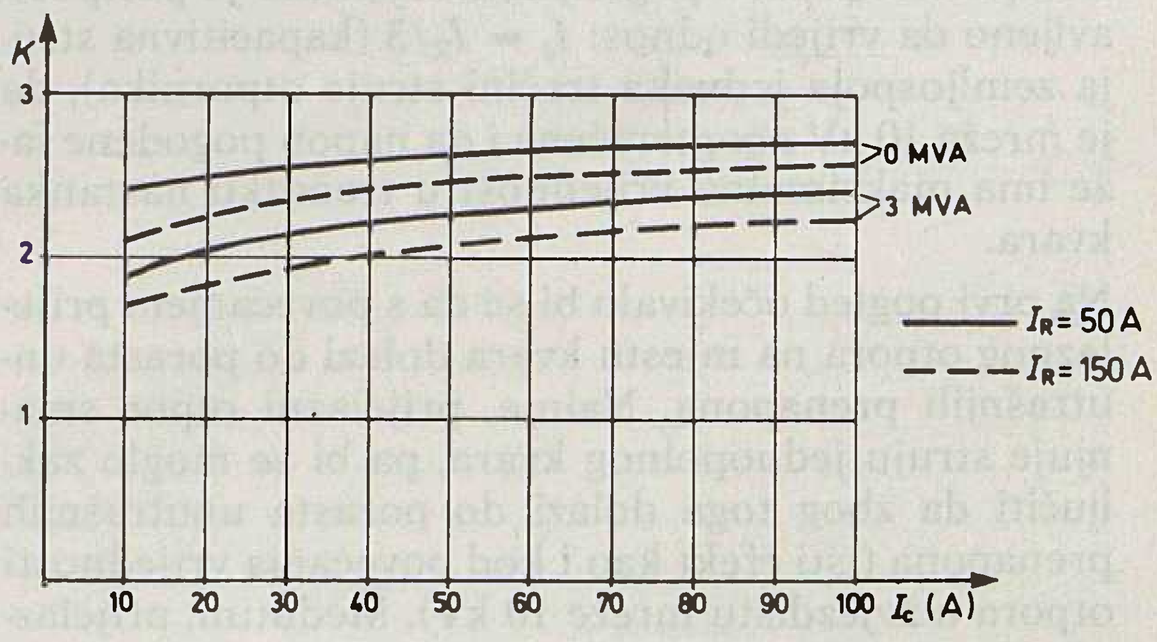
nutku kvara napon pogođene faze ima maksimalnu vrijednost, da je mreža 10 kV neopterećena, te da su nulta i direktna reaktancija pojne točke gledano sa 10 kV sabirnica jednake ($X_0 = X_1$). Zadnja pretpostavka približno vrijedi za TS 35/10 kV koje imaju transformatore u spoju Dy5.

Slika 1. potvrđuje zaključke o utjecaju veličine otpornika u zvjezdištu, te kapacitivnosti mreže na visinu faktora prenapona. Također je vidljivo da povećanje induktiviteta pojne točke (odnosno smanjenje struje tropolnog kvara) veoma blago smanjuje unutrašnje prenapone.

Na sl. 2. prikazane su vrijednosti faktora unutrašnjeg prenapona na 10 kV sabirnicama TS 35/10 kV čiji su transformatori izvedeni u spoju Yd5. U takvim situacijama nužno je formirati umjetno zvjezdište koje bitno povisuje nultu reaktanciju iznosa $X_0 = 12\Omega$. Također je pretpostavljena direktna reaktancija pojne točke koja rezultira strujom tropolnog kvara od $I_3 = 5$ kA. Opet je pretpostavljeno da u trenutku kvara napon pogođene faze ima maksimalnu vrijednost, te da je mreža 10 kV neopterećena.

Analizom sl. 2. vidi se da primjena transformatora za uzemljenje podiže razinu unutrašnjih prenapona u odnosu na istu takvu mrežu u kojoj se zvjezdište 10 kV može direktno vezati za otpornik. To je i logično jer se uzemljenjem mreže preko transformatora i otpornika formira impedantno a ne čisto rezistantno uzemljenje. S druge strane, poznato je da se kod čisto induktivnog uzemljenja zvjezdišta javljaju veći unutrašnji prenaponi u odnosu prema čisto rezistantnom uzemljenju. Ta činjenica je potvrđena i na sl. 2. Najveća relativna razlika faktora prenapona između rezistantnog uzemljenja i uzemljenja preko transformatora javlja se kod upotrebe otpornika nazivne struje $I_R = 1\,000$ A. To je zato što je u navedenom slučaju najveći udio induktivne komponente u impedanciji uzemljenja. Očito je da bi kod ograničenja struje jednopolnog kvara na 1 000 A trebalo upotrijebiti transformator za uzemljenje s nižom nultom reaktancijom ako se želi ostvariti pretežno rezistantno uzemljenje zvjezdišta.

Utjecaj opterećenja mreže na visinu faktora prenapona prikazan je na sl. 3. Pretpostavljena je vrijednost direktne reaktancije pojne točke koja rezultira strujom tropolnog kvara $I_3 = 5$ kA. Proračuni su obavljeni za slučaj mreže 10 kV u praznom hodu, te za slučaj

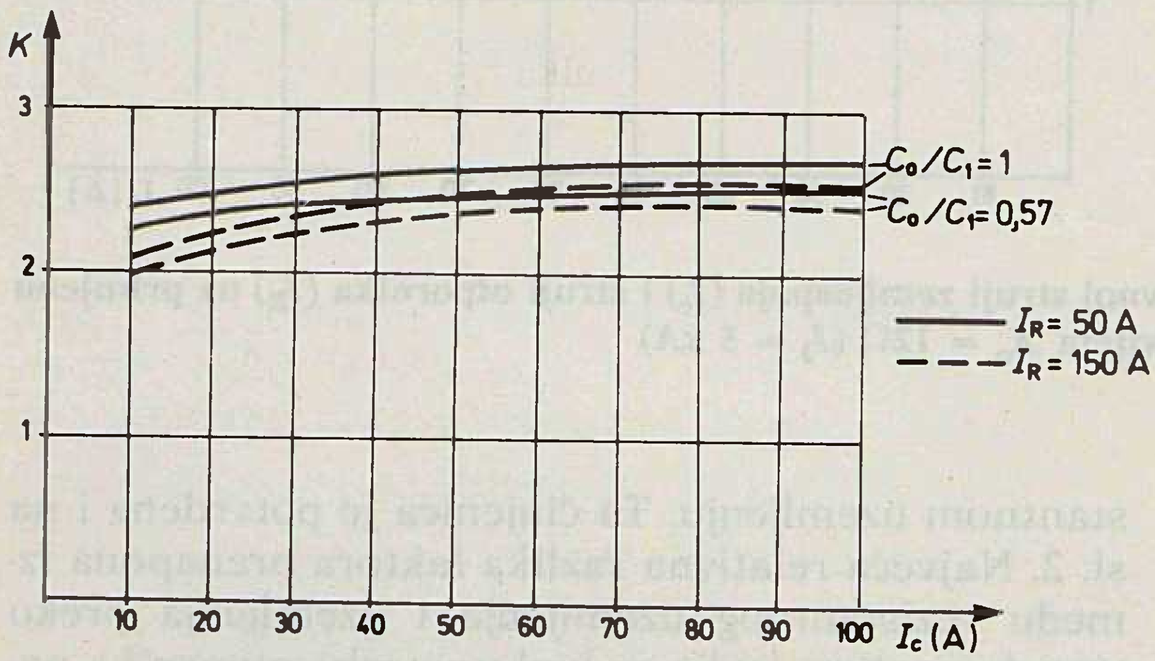


Slika 3. Utjecaj opterećenja mreže na veličinu faktora unutrašnjeg prenapona ($I_3 = 5$ kA)

opterećenja mreže sa 3 MVA. Struja jednopolnog kvara u jednom je slučaju bila ograničena otpornikom za struju $I_R = 50$ A, a u drugom slučaju otpornikom za struju $I_R = 150$ A. Kvar nastaje u trenutku kada napon pogođene faze prolazi kroz maksimum; direktna reaktancija jednaka je nultoj ($X_0 = X_1$).

Analizom sl. 3. vidi se veoma povoljan utjecaj opterećenja mreže 10 kV na smanjivanje unutrašnjih prenapona kod nastanka jednopolnih kvarova.

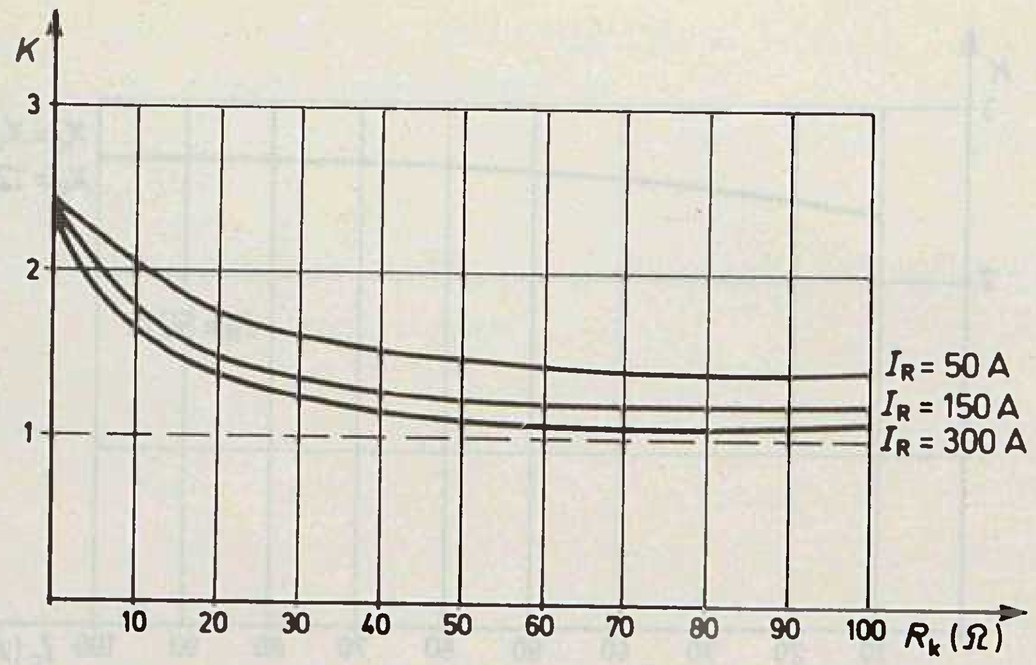
Utjecaj pogonskog kapaciteta mreže 10 kV na visinu unutrašnjih prenapona prikazan je na sl. 4. Odnos pogonskog i nultog kapaciteta $C_o/C_1 = 1$ karakterističan je za mreže 10 kV, gdje je kapacitivnost prvenstveno uvjetovana kabelima koji oko svake žile imaju metalni ekran ili plašt (npr. EpHp 81, IPZO 13). Odnos $C_o/C_1 = 0{,}57$ postoji u mrežama 10 kV u kojima je kapacitivnost prvenstveno uvjetovana kabelima koji imaju jedan plašt oko sve tri žile (npr. IPO 13). Na sl. 4. vidljivo je da se u mrežama s odnosom $C_o/C_1 = 0{,}57$ unutrašnji prenaponi blago smanjuju.



Slika 4. Utjecaj pogonskog kapaciteta mreže (C_1) na smanjenje faktora unutrašnjeg prenapona ($I_3 = 5$ kA)

Posebno je zanimljiv utjecaj prijelaznog otpora na mjestu kvara. Većina jednopolnih kvarova ostvaruje se baš preko prijelaznog otpora koji u kabelskim mrežama obično ima niske vrijednosti, dok u nadzemnim mrežama može poprimiti znatne vrijednosti. Taj utjecaj je prikazan na sl. 5. Pretpostavljeno je da struja tropolnog kvara na 10 kV sabirnicama TS 35/10 kV iznosi $I_3 = 5$ kA; da su transformatori 35/10 kV izvedeni u spoju Dy5 ($X_o \approx X_1$), te da je nulti kapacitet jednak pogonskom. Također je pretpostavljeno da vrijedi odnos: $I_c = I_R/3$ (kapacitivna struja zemljospoja jednaka trećini struje otpornika), da je mreža 10 kV neopterećena i da napon pogođene faze ima maksimalnu vrijednost u trenutku nastanka kvara.

Na prvi pogled očekivalo bi se da s povećanjem prijelaznog otpora na mjestu kvara dolazi do porasta unutrašnjih prenapona. Naime, prijelazni otpor smanjuje struju jednopolnog kvara, pa bi se moglo zaključiti da zbog toga dolazi do porasta unutrašnjih prenapona (isti efekt kao i kod povećanja vrijednosti otpora u zvjezdištu mreže 10 kV). Međutim, prijelazni otpor izaziva sasvim drukčiji fizikalni efekt od otpora u zvjezdištu mreže. Ako se otpor u zvjezdištu

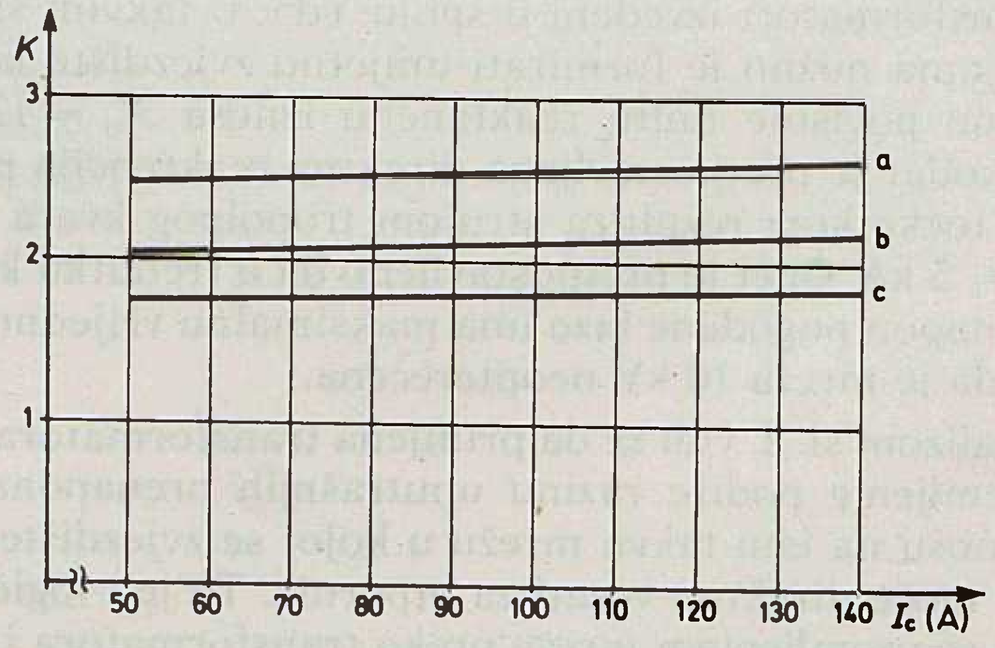


Slika 5. Utjecaj prijelaznog otpora na mjestu kvara na visinu faktora prenapona ($I_3 = 5$ kA)

poveća do beskonačnosti, mreža 10 kV prelazi u rad s izoliranim zvjezdištem, a struja zemljospoja zatvara se preko kapaciteta. No, ako se prijelazni otpor na mjestu kvara poveća do beskonačnosti, mreža 10 kV nalazit će se u normalnom pogonskom stanju. Beskonačni prijelazni otpor na mjestu kvara u stvari znači da nema jednopolnog kvara. Prema tome, u tom se slučaju ne mogu pojaviti unutrašnji prenaponi, odnosno faktori prenapona teže vrijednosti 1,0, što se vidi sa sl. 5.

Dijagrami na sl. 5. upućuju na izuzetno povoljan utjecaj prijelaznog otpora na smanjenje visine unutrašnjih prenapona koji se javljaju prilikom jednopolnih kvarova. Već kod prijelaznih otpora većih od 10 Ω faktori prenapona postaju manji od 2,0.

Na kraju je ispitan utjecaj trenutka nastanka jednopolnog kvara na visinu unutrašnjih prenapona. Proračuni su obavljeni uz sljedeće pretpostavke: struja jednopolnog kvara je ograničena otpornikom na $I_R = 150$ A; reaktancija pojne točke rezultira strujom tropolnog kvara od $I_3 = 5$ kA; nulta i direktna reaktancija pojne točke su jednake ($X_o = X_1$). Mreža 10 kV je neopterećena. Rezultati proračuna prikazani su na sl. 6. koja potvrđuje velik utjecaj trenutka nastanka kvara na visinu unutrašnjih prenapona. Očito je da će prenaponi koji su uvjetovani jednopolnim kvarovima kod kojih napon pogođene faze u tom trenutku ne prolazi kroz maksimum biti znatno niži.



Slika 6. Utjecaj trenutka nastanka kvara na visinu faktora prenapona. Napon pogođene faze u trenutku kvara ima: a — tjemenu vrijednost; b — 50% tjemene vrijednosti, c — vrijednost nula.

4. ZAKLJUČAK

U članku su izloženi rezultati proračuna unutrašnjih prenapona u mrežama 10 kV uzemljenim preko otpornika. Proračuni su izvršeni pomoću razvijenog matematičkog modela, što je omogućilo variranje utjecajnih parametara u širokim granicama.

Dobiveni rezultati potvrđuju spoznaje dobivene mjerenjima. Smatramo da treba posebno istaknuti slijedeće pozitivne utjecaje koji smanjuju unutrašnje prenapone:

— opterećenje mreže,
— prijelazni otpor na mjestu kvara,
— trenutak nastanka jednopolnog kvara.

Prema tome, najviši unutrašnji prenaponi kod jednopolnih kvarova mogu se javiti uz istovremeno ispunjenje sljedećih uvjeta:

— mreža je neopterećena,
— prijelazni otpor na mjestu kvara je zanemariv (metalni kratki spoj),
— u trenutku kvara napon pogođene faze ima maksimalnu vrijednost.

Vjerojatnost da dođe do stjecaja izloženih nepovoljnih utjecaja veoma je malena.

Izloženi rezultati pokazuju da se struja jednopolnog kvara u mrežama 10(20) kV može ograničiti i na niže iznose a da se pri tome unutrašnji prenaponi održe u podnošljivim granicama. Dakako, potrebno je utvrditi donju granicu do koje ima smisla smanjivati struju jednopolnog kvara ograničenu otpornikom u zvjezdištu. Ako se želi ostvariti rezistantno uzemljenje (dakle sa zanemarivim udjelom kapacitivne komponente u ukupnoj struji jednopolnog kvara), poželjno je da bude ispunjen uvjet:

$$I_R \geqslant 3 \cdot I_c \qquad (5)$$

odnosno da nazivna struja otpornika bude barem tri puta veća od kapacitivne struje zemljospoja razmatrane mreže. Uz ispunjavanje kriterija (5) faktori unutrašnjih prenapona zbog jednopolnih kvarova u većini slučajeva neće prijeći iznos od k = 2 0 (zbog prije navedenih pozitivnih utjecaja).

Pomoću /5/ određeni su podnosivi faktori prenapona za novu 10(20) kV izolaciju. Jednominutni podnosivi naponi industrijske frekvencije prema zemlji tada iznose:

U_{pf} = 28 kV (za 10 kV izolaciju) U_{pf} = 50 kV (za 20 kV izol.).

Podnosivi faktori prenapona svedeni na **maksimalni** dopušteni napon mreže jesu:

k = 4,04 (za 10 kV izolaciju)
k = 3,61 (za 20 kV izolaciju)

Izolacija s vremenom gubi svoju dielektričku čvrstoću. Međutim, očekivani faktori unutrašnjih prenapona toliko su manji od gornjih vrijednosti (2,0 ⩽ 4,04 (3,61) da preostaje dovoljno rezerve i za stariju opremu s oslabljenom izolacijom. Na temelju navedenog razmatranja smatramo da se izraz (5) može koristiti kao ispravna smjernica za izbor donje moguće veličine struje jednopolnog kvara u 10(20) kV mrežama. Dakako, ako uvjeti uzemljenja to omogućavaju, treba se odlučiti za ograničenje struje jednopolnog kvara na veći iznos jer se time postižu još niži unutrašnji prenaponi.

POPIS UPOTRIJEBLJENIH OZNAKA

C_o — nulti kapacitet mreže srednjeg napona
C_l — pogonski kapacitet mreže srednjeg napona
I_c — kapacitivna struja zemljospoja mreže srednjeg napona
I_R — nazivna struja otpornika za uzemljenje zvjezdišta
I_3 — struja tropolnog kvara na sabirnicama pojne točke
k — faktor unutrašnjeg prenapona
L_l — induktivitet pojne točke mreže srednjeg napona
R_k — prelazni otpor na mjestu kvara
R_n — otpor u zvjezdištu mreže srednjeg napona
U — nazivni napon razmatrane mreže
U_{mf} — maksimalna vrijednost faznog napona nakon nastanka jednopolnog kvara
U_{nf} — tjemena vrijednost dopuštenog faznog napona
U_{pf} — jednominutni podnosivi napon industrijske frekvencije prema zemlji
X_o — reaktancija pojne točke u nultom sustavu
X_l — reaktancija pojne točke u direktnom sustavu
ω — kružna frekvencija

LITERATURA

[1] »Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica«, Sl. list SFRJ, 1978.
[2] I. HRS: »Istraživanje utjecaja uzemljenja zvjezdišta razdjelnih mreža preko djelatnog otpora na nivo unutarnjih prenapona«, studija IE, Zagreb, 1977.
[3] J. NAHMAN: »Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža«, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
[4] S. ŽUTOBRADIĆ, B. FILIPOVIĆ »Kriterij unutrašnjih prenapona kod ograničenja struje jednopolnog kratkog spoja u srednjonaponskim mrežama«, CIGRE — Opatija, 1983.
[5] »JUS standard N. B. O. 030/78.«

[6] B. FILIPOVIĆ, S. ŽUTOBRADIĆ »Ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja u srednjonaponskim mrežama ugradnjom maloomskog otpornika«, studija IE, Zagreb, 1981.

[7] S. ŽUTOBRADIĆ, B. FILIPOVIĆ »Uzemljenje zvjezdišta 10 kV mreže Dalmacije na području OOUR-a »Distribucija« Split, »Stipe Ivandić« Sinj, »Elektra — Trogir« Trogir, »Elektrobiokovo« Makarska, »Elektrocetina« Omiš, »Elektroneretva« Metković, I dio: Preliminarni izbor veličina struja jednopolnog kvara, studija IE, Zagreb, 1983.

CALCULATION OF INTERNAL OVERVOLTAGE IN DISTRIBUTION NETS GROUNDED BY RESISTOR

In the article are described results of calculation for inner overvoltage in typical 10 kV distribution nets with neutral point grounded by resistor. Beside general characteristics of these overvoltages described is function of several effective parameters. On the results is proposed criteria for estimation of lower possible curent for single line ground short circuit in 10/20 kV nets.

BERECHNUNG DER INNEREN ÜBERSPANNUNGEN IN DEN DISTRIBUTIONSNETZEN DIE ÜBER DIE WIEDERSTANDSGERÄTE GEERDET SIND

Im Artikel wurden die Resultate der Berechnung der inneren Überspannungen in den typischen Distributionsnetzen 10 kV mit dem Sternpunkt der über die Wiederstandsgeräte geerdet sind geschildert. Außer der allgemeinen Charakteristika dieser Überspannungen wurde auch ihre Abhängigkeit von einer Reihe einflußreicheren Parametren geschildert. Auf Grund der gewonnenen Resultate wurde ein Kriterium für einem Pol in den 10/20 KV Netzen vorgeschlagen.

РАСЧЕТ ВНУТРЕННИХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ ЧЕРЕЗ АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

В статье изложены результаты расчетов внутренних перенапряжений в типичных распределительных сетях 10 кВ с заземленной нейтралью через активное сопротивление. Кроме общих характеристик таких перенапряжений, показана их зависимость от ряда параметров, оказывающих влияние. На основании полученных результатов предложен критерий определения наименьшего возможного значения тока однофазного повреждения в сетях 10/20 кВ.

Naslov pisaca:

mr Srđan Žutobradić, dipl. inž.
mr Božidar Filipović-Grčić, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu, 41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 09 – 02.

VISOKONAPONSKI SKLOPNI APARATI IZOLIRANI PLINOM
SF_6 — SADAŠNJOST I BUDUĆNOST

Sredinom ove godine i trafo-stanici Zagreb-Sjever predani su za upotrebu prvi »Končarevi« sklopni aparati izolirani plinom SF_6, maksimalnog napona 123 kV. Aparate je isporučila i montirala OOUR Visokonaponski aparati »Rade Končar«, ali, na žalost, s velikim udjelom uvoznih komponenata.

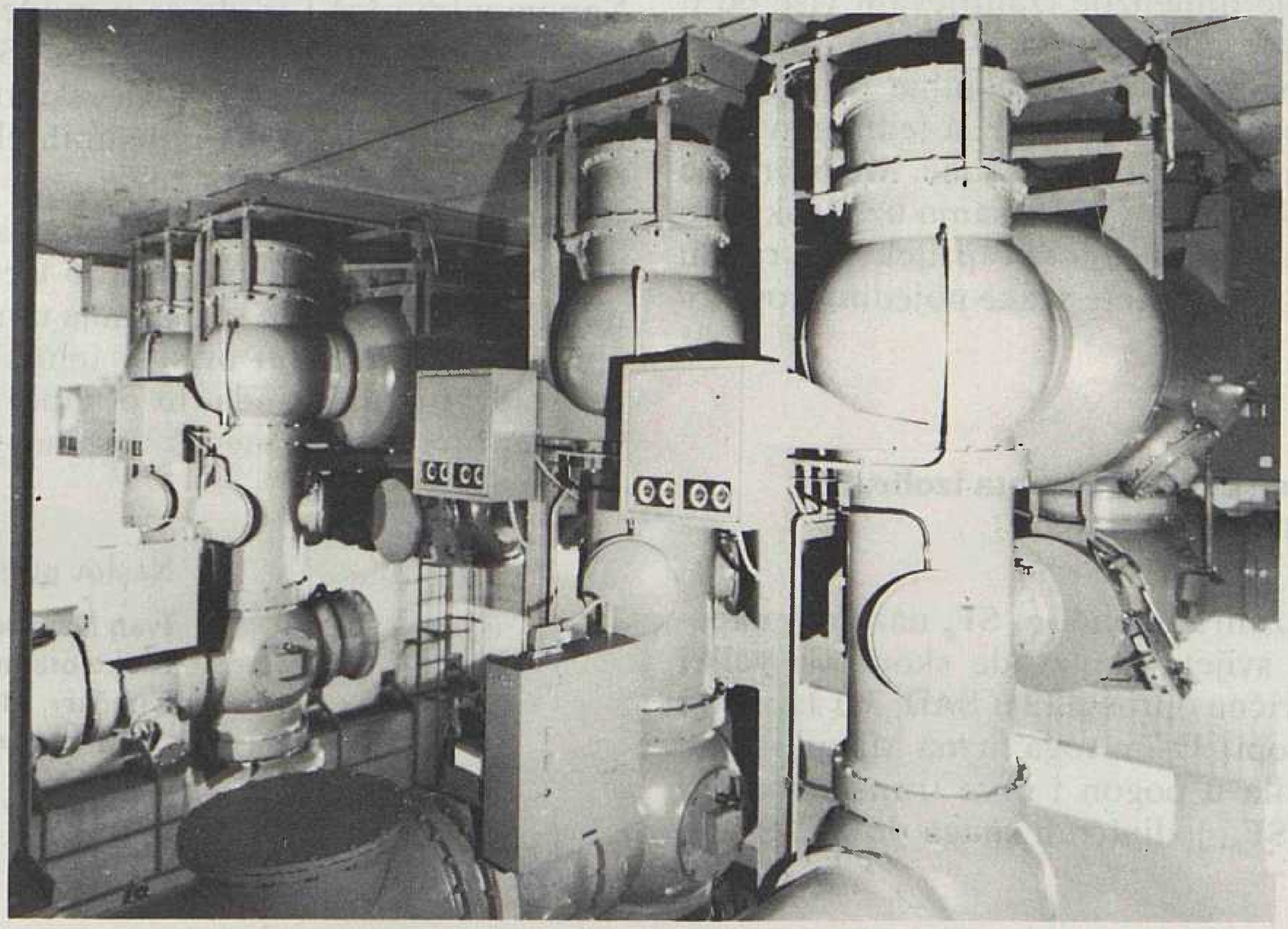
Na temelju sagledanih perspektiva plasmana novih aparata izoliranih plinom SF_6, osobito za izvoz, prošle godine je u šest »Končarevih« OOUR-a započeo rad na programu razvoja aparata izoliranih plinom SF_6. Osnovni ciljevi tog programa su:

— razvoj domaćih materijala, komponenata i sklopova, pri čemu osim definiranja vlastite koncepcije treba izvršiti sva potrebna ispitivanja i atestiranja
— razvoj proizvodnje s visokom tehnološkom razinom izrade i kontrole kvalitete.

Kakve su perspektive ove proizvodnje i kakva je budućnost sklopnih aparata izoliranih plinom SF_6 tema je ovog informativnog članka.

Napomenimo da visokonaponske sklopne aparate o kojima je ovdje riječ obuhvaćaju sljedeće komponente visokonaponskog postrojenja:

— sabirnice
— prekidači s pogonima (eventualno rastavne sklopke),
— rastavljači s pogonima
— zemljospojnici s pogonima
— mjerni transformatori (strujni i naponski)
— priključci za transformator i kabel odnosno zračni vod
— uređaji i ormari za upravljanje sa svim potrebnim blokadama i drugim elementima.



Pogled na sklopne aparate izolirane plinom SF_6 — tipa K8D6 u trafo-stanici Zagreb — Sjever

Osnovne odlike metalom oklopljenih SF_6 aparata visokog napona

Metalom oklopljeni SF_6 aparati visokog napona tvornički su izrađeni, čije su komponente potpuno zatvorene u uzemljenim metalnim plaštevima, ispunjenim plinom SF_6 (sumporni heksafluorid). Sumporni heksafluorid je neotrovan, neupaljiv i kod normalnih temperatura neagresivan plin bez boje i mirisa. Kao i svi ostali plinovi, on ima električki neutralne molekule i stoga je nevodljiv. Međutim, za razliku od zraka, njegove molekule imaju izraziti afinitet prema slobodnim elektronima i njihovim zahvatom sprečavaju stvaranje lavinske ionizacije u plinu čak i kod vrlo jakih električnih polja. Stoga je probojna dielektrička čvrstoća plina SF_6 kod atmosferskog tlaka oko

tri puta veća od dielektričke čvrstoće zraka. Povećanjem tlaka plina ta razlika se povećava, tako da plin SF_6 stlačen na 3 bara postaje bolji izolator od transformatorskog ulja.

Pri gorenju luka u prekidačima SF_6 koji su sastavni dio metalom oklopljenih postrojenja dolazi do disocijacije molekula plina u niže fluoride, koji se padom temperature, nakon gašenja luka, vrlo brzo rekombiniraju u molekule plina SF_6. Samo jedan dio produkata disocijacije stupa u plazmakemijske reakcije s primjesama u plinu i stvara trajne produkte raspadanja, ali koji ne umanjuju dielektrična svojstva plina SF_6.

Prema tome, kao osnovne odlike metalom oklopljenih SF_6 aparata visokog napona možemo nabrojiti sljedeće:

- vrlo mali izolacijski razmaci između dijelova pod naponom i uzemljenih dijelova, što rezultira vrlo malim dimenzijama sklopnih aparata
- izdvojenost dijelova pod naponom od okoline, što aparate čini neosjetljivim na stanje okoline
- kompaktnost izvedbe, koja omogućuje tvorničku izradu i provjeru velikih transportnih grupa (čija montaža na gradilištu traje vrlo kratko), te osigurava visoku pouzdanost u radu kako u normalnim uvjetima, tako i u slučaju nepogoda.

Zato metalom oklopljeni SF_6 aparati visokog napona imaju vrlo male dimenzije (zahtijevaju više od 6 puta manje tlocrtne površine od klasičnih postrojenja), neosjetljivi su na utjecaje okoline (zagađenje, sol, pijesak), otporni su na potrese, a jednostavni za montažu i sigurni za pogonsko osoblje. Međutim, ne treba zaboraviti da sve to vrijedi samo uz visok nivo tehnologije izrade postrojenja i besprijekornu radnu disciplinu i kontrolu kvalitete svake pojedine komponente aparata.

Tendencija razvoja sklopnih aparata izoliranih plinom SF_6 u nas i u svijetu

Sklopne aparate izolirane plinom SF_6 nazivnih napona 60–800 kV u svijetu proizvode skoro svi veliki proizvođači električne opreme (2 u SAD, 3 u Japanu i dvadesetak u Evropi). Osim toga firma Mitsubishi je 1979. godine stavila u pogon i prve transformatore izolirane plinom SF_6, jediničnih snaga do 10 MVA.

Godine 1982. tvrtka Siemens izlazi na tržište s novom familijom sklopnih aparata izoliranih plinom SF_6, maksimalnih napona 12–36 kV. Osim prednosti koje smo već naveli, ovi sklopni aparati imaju još jednu novu prednost — u njima su u sklopu prekidača ugrađene vakuumske komore, koje ne zahtijevaju nikakvo održavanje tijekom vijeka trajanja. Time je još više smanjena potreba za održavanjem sklopnih aparata, te povećana njihova trajnost.

Godina 1983. prolazi u znaku pojave novih proizvođača sklopnih aparata srednjeg napona izoliranih plinom SF_6, i to ne samo s prekidačima, već i s rastavnim SF_6 sklopkama, s kojima se izrađuju minijaturni kiosk-blokovi za distributivne stanice.

Na području ultravisokih napona sklopni aparati izolirani plinom SF_6 već su rješenje koje se preferira u odnosu na konvencionalnu izvedbu postrojenja. Neke evropske firme su već izašle na tržište sa sklopnim aparatima izoliranim plinom SF_6 maksimalnog napona 800 kV, a tvrtka Westinghouse za potrebe SAD razvija prvu opremu maksimalnog napona čak 1 200 kV, sa sklopnim aparatima izoliranim plinom SF_6. Naime, kod tako visokih napona konvencionalna rješenja bila bi neprihvatljiva ne samo zbog glomaznosti, već i zbog velikih elektromagnetskih i radio-frekventnih smetnji, što je kod sklopnih aparata izoliranih plinom SF_6 manje izraženo zbog uzemljenih metalnih plašteva.

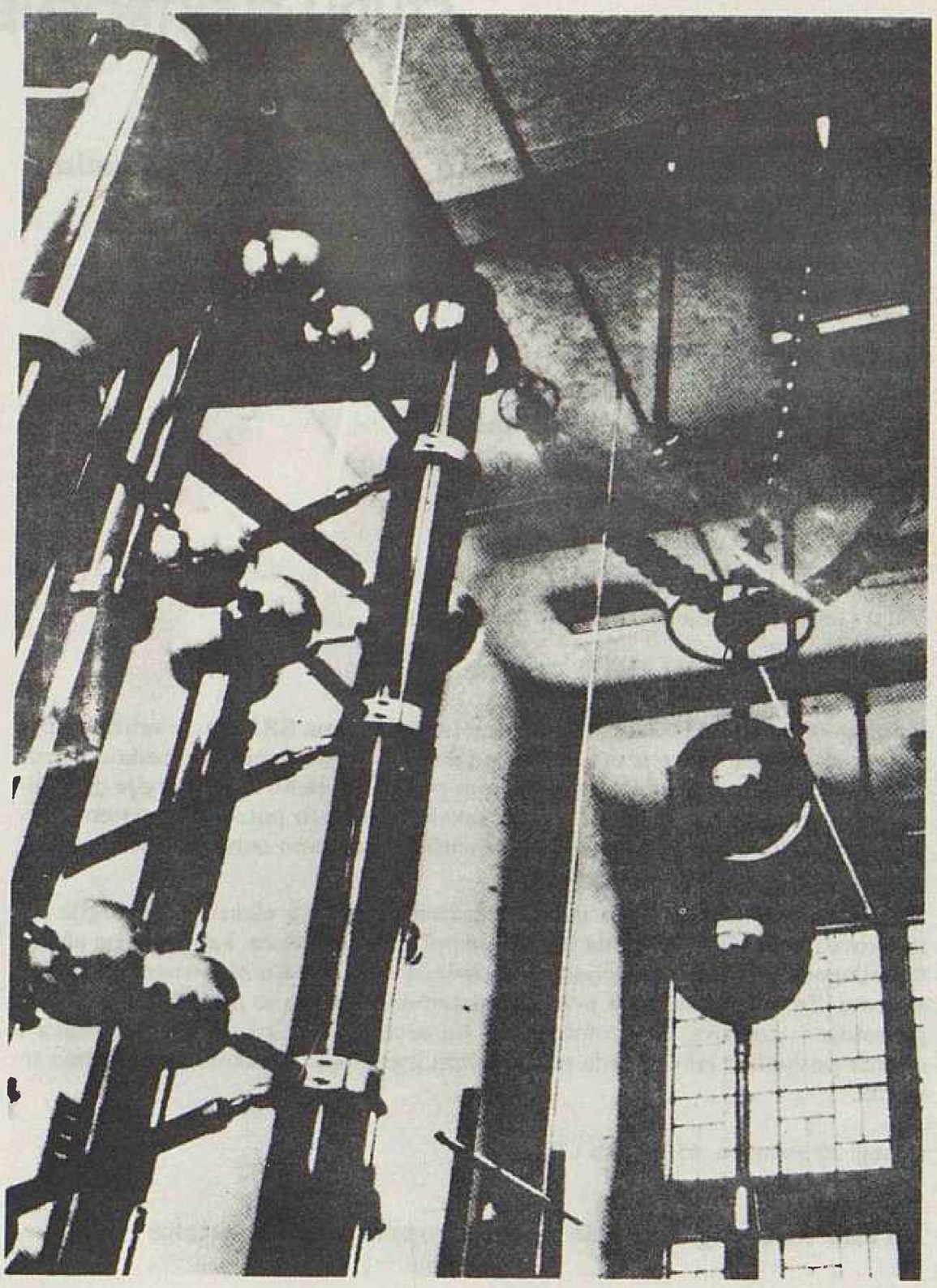
Napomenimo još i to da se u modernim rješenjima sklopnih aparata izoliranih plinom SF_6 u velikoj mjeri koriste mikroprocesori, ne samo za upravljanje, već i za kontrolu stanja pojedinih elemenata, uz optoelektronički prijenos signala.

Na kraju treba ponoviti da budućnost neke proizvodnje samo jednim dijelom ovisi o trendu razvoja tehnike. U kojoj mjeri će se ulaganja u neku proizvodnju oploditi, prvenstveno ovisi o tehnološkim uvjetima za izradu tog proizvoda, te o naporima da se proizvod napravi na vrijeme i u traženoj kvaliteti.

Naslov pisca:

Ivan Naumovski, dipl. ing.
Elektrotehnički institut »Rade Končar«, 41000 Zagreb, Baštijanova bb

Uredništvo primilo rukopis 1983–10–17.



RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1983. GODINI

Institut za elektroprivredu u Zagrebu osnovan je da bi znanstveno obrađivao porobleme razvoja elektroprivrede i ostale energetike, i u tom području djeluje već 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 bilanciranja energetskih sistema uspoređivanjem vrijednosti elektrana, stalni rad na studiji perspektivnog razvoja jugoslavenske mreže visokog i najvišeg napona, te rad na analizi potrošnje i drugim problemima razvoja razdjelnih mreža.

Osim rada na užoj problematici razvoja elektroenergetskog sistema, razvio se rad na tehnološkim elementima termoenergetike, te u tehnici visokog napona. U pojedinim specijalnostima ovih područja Institut je vodeća ustanova u zemlji. Posljednjih godina ubrzano se razvija i studij nuklearne energetike.

Suradnici Instituta su također i priznati stručnjaci izvan Instituta, među kojima je i nekoliko istaknutih sveučilišnih profesora.

Znanstvenoistraživački rad se obavlja, prema unutrašnjoj 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 1983. godini.

STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Prilagođavanje rada specijalnih potrošača mogućnostima elektroenergetskog sistema i efekti takvog rada

Naručitelj: Privredna komora Dalmacije — Split

Autori: dr Goran Granić, dipl. ing.
prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
mr Slavko Alerić, dipl. ing.
Mladen Zeljko, dipl. ing.
Neda Komerički, ek.
Mara Morić, dipl. teh.
Ivica Posavec, dipl. teh.

Završeno u rujnu 1983. godine.

Jedna je od karakteristika elektroenergetskog sistema SRH da se velik dio potrošnje električne energije ostvaruje kod nekoliko potrošača koji spadaju u grupu potrošača s vrlo visokim intenzitetom potrošnje električne energije po jedinici proizvoda. Prilagođavanjem rada takvih potrošača potrebama sistema povećava se sigurnost opskrbe ostalih potrošača, odnosno ostvaruju se uštede u izgradnji i eksploataciji sistema.

U studiji je izvršena analiza utjecaja načina korištenja električne energije na troškove u sistemu u uvjetima normalne opskrbe potrošača, kao i analiza efekata prilagođavanja rada specijalnih potrošača na prilike u elektroenergetskom sistemu. Za objektiviziranje prilika u sistemu korištena je metoda marginalne potrošnje i troškova, koja omogućava da se simulira rad svakog potrošača i odrede posljedice takvog rada na potrebnu izgradnju i troškove proizvodnje sistema.

Opseg: 20 stranica, 65 tablica i 11 slika.

Izrada tarifnog sistema u elektroprivredi Hrvatske

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: dr Goran Granić, dipl. ing.
prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.
mr Slavko Alerić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Zlatko Frajman, dipl. ing.
Mladen Zeljko, dipl. ing.
Neda Komerički, ek.
Mara Morić, dipl. teh.
Ivica Posavec, dipl. teh.

Završeno u listopadu 1983. god.

U prvom poglavlju studije obrađene su karakteristike potrošnje električne energije u SRH za razdoblje 1974 — 1981. godine. Osim analize ostvarenja potrošnje za republiku kao cjelinu, napravljena je analiza i za četiri regije u republici.

Drugo poglavlje studije posvećeno je modelu tarifnog sistema. Objektivizacija odnosa u sistemu izvedena je primjenom metode dugoročnih marginalnih troškova i potrošnje električne energije. Za osnovni princip tarifnog sistema uzeto je da svaki potrošač snosi troškove koje izaziva u elektroenergetskom sistemu s obzirom na način korištenja preuzete energije i mjesta preuzimanja. Analizirani su svi utjecaji na relativne tarifne stavove, kao što su: noć, dan, sezona, naponski nivoi, trajanje korištenja maksimalne snage itd. Prilike u elektroenergetskom sistemu promatrane su za razdoblje 1985 — 1990. godine.

Opseg: 149 stranica, 46 slika i 398 tablica.

Prostorni aspekt opskrbe potrošača energijom u SR Hrvatskoj do 2000. godine.

Naručitelj: Privredna komora Hrvatske — Opće udruženje energetike

Autori: Nikola Bilčar, dipl. ing.
mr Branko Vuk, dipl. ing.
Ivan Šimurina, ing.
Josip Bunjevčević, tehn.

Završeno u listopadu 1983. godine.

Ova je studija nastavak rada na studiji »Koncepcija i dugoročni razvoj energetike u Hrvatskoj do 2000. godine«. Najpovoljnija varijanta opskrbe potrošača energijom u SR Hrvatskoj do 2000. godine analizirana je s regionalnog aspekta i to tako da je SR Hrvatska podijeljena na četiri regije, pri čemu pojedine regije sačinjava jedna ili više zajednica općina, a izvršena podjela približno je jednaka današnjim elektroprivrednim područjima.

Za svaku regiju određene su potrebe energije, mogućnosti proizvodnje primarnih oblika, stanje postrojenja za energetske transformacije, te je na temelju toga određen potreban transport krutih goriva, derivata nafte, zemnog plina, sirove nafte i električne energije među pojedinim regijama kao i potrebna razmjena energije s drugim republikama, odnosno potreban uvoz energije.

Sve analize provedene su po petogodištima, tj. za 1985, 1990, 1995. i 2000. godinu, a osim potrebnog transporta energije u studiji je ukratko prikazan dosadašnji razvoj opskrbe potrošača energijom u SR Hrvatskoj i u četiri regije, obrađene su bilance za najpovoljniju varijantu razvoja energetskog sistema Hrvatske do 2000. godine, a također su izrađene kompletne bilance za svaku od četiri regije i za svako petogodište.

Analize su provedene uz korištenje multiregionalnog energetskog simulacijskog modela.

Opseg: 50 stranica i 98 tablica.

Koncepcija i dugoročni razvoj energetike u SR Hrvatskoj

Naručitelj: Republička zajednica za znastveni rad SRH

Autori: prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
mr Branko Vuk, dipl. ing.
dr Goran Granić, dipl. ing.
Ivan Šimurina, ing.

Završeno u srpnju 1983. godine.

Ova studija je izrađena u sklopu više studija koje su poslužile kao znanstvena osnova za izradu Dugoročnog plana razvoja Republike i predstavlja razradu »Strategije dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije« u smislu određivanja dijela koji se odnosi na SRH.

Polazeći od preliminarnih predviđanja rasta društvenog proizvoda, načinjena je prognoza razvoja potrošnje energije u SR Hrvatskoj do 2000. godine. Budući da se radi o duljem razdoblju, rast je predviđen (što je uobičajeno u ovakvim slučajevima) u dvije varijante — višoj i nižoj. Na temelju utvrđenih rezervi pojedinih primarnih izvora energije u SR Hrvatskoj i Jugoslaviji zadovoljene su potrebe u energiji predanoj pojedinim grupama potrošača, postižući pri tome povoljniju strukturu potrošnje i veću neovisnost o uvozu energije.

Osim toga, pokazan je položaj SR Hrvatske u Jugoslaviji i svijetu u odnosu na nivo i strukture potrošnje, odnosi u cijenama pojedinih oblika energije, potrebne investicije za razvoj energetike u SR Hrvatskoj, udio tih investicija u narodnom dohotku, te ukazano na potrebnu preraspodjelu narodnog dohotka u korist energetike. Obrađeni su ili naznačeni i drugi problemi proizvodnje energetske opreme u zemlji.

Na kraju su specificirane mjere i akcije za ostvarivanje predviđenog razvoja energetike u SR Hrvatskoj.

Opseg: 218 stranica, 192 tablice i 8 slika.

Tjedne karakteristike potrošnje električne energije (za razdoblje 1979 — 1981)

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: Mladen Zeljko, dipl. ing.

Završeno u travnju 1983. godine

Jedan od osnovnih uvjeta, kako za ekonomičnu eksploataciju, tako i za optimalnu izgradnju elektroenergetskog sustava, je poznavanje karakteristike potrošnje električne energije unutar samog sustava. Da bi se karakteristike potrošnje mogle detaljno poznavati, potrebno je kontinuirano praćenje same potrošnje, odnosno analiza dijagrama opterećenja za pojedinu vremensku jedinicu (dan, tjedan, mjesec ili godina).

Jedno takvo detaljno analiziranje potrošnje električne energije u elektroenergetskom sustavu Hrvatske kao cjeline, a isto tako i po pojedinim regijama (Split, Zagreb, Rijeka, Osijek), započeto je studijom »Tjedne karakteristike po-

trošnje električne energije« koja je završena 1980. godine a obuhvatila je razdoblje od 1974. do 1978. godine.

Ovo je nastavak spomenute studije, a prikupljeni su i obradeni podaci o satnim opterećenjima za sljedeće tri godine (1979 — 1981). Dakle, promatrana su srednja satna opterećenja od kojih je, aproksimacijom s tri pravca, formirana tjedna krivulja trajanja opterećenja. Budući da su posebno radene krivulje za pojedinu regiju a posebno za republiku kao cjelinu, napravljene su i usporedbe karakteristika po područjima.

Kao rezultati prikazani su, tabelarno i grafički osnovni parametri krivulje trajanja opterećenja, kao npr. faktor opterećenja, maksimalno i minimalno opterećenje, varijabilno vrijeme, koeficijenti α i β itd. Za neke najvažnije parametre prikazani su rezultati za razdoblje od 8 godina (1974 — 1981), da bi se moglo zaključiti na trendove za budućnost kod pojedinih parametara.

Opseg: 27 stranica teksta, 24 tablice i 24 slike.

Moguća proizvodnja i energetsko-ekonomska vrijednost nekih hidroelektrana užeg i šireg sliva Dalmacije

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: mr Slavko Alerić, dipl. ing.
prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Neda Komerički, ek.

U ovoj studiji proračunate su moguće proizvodnje električne energije, troškovi izgradnje i energetsko-ekonomske vrijednosti nekih hidroelektrana na užem i širem slivu Dalmacije. Pod užim slivom razumijeva se cijela Cetina. HE Peruča, HE Prančevići i He Kraljevac sve agregati na biološki minimum te HE Tisne Stine. Pod širim slivom ovdje se razumijevaju vode gornjih horizonata Livanjskog, Glamačkog, Kupreškog i Duvanjskog polja — HE Vrilo i HE Kablić, te elektroenergetsko iskorištenje voda Imotsko-Bekijskog polja HE Ričica i HE Vrljika-Drinovci. Ovaj rad je zapravo dopuna »Optimalnoj strukturi proizvodnje električne energije do 2000. godine«, u kojoj se nisu obuhvatili prije navedeni objekti.

Opseg: 33 stranice teksta, 58 tablica i 2 slike.

Rad elektroenergetskog sistema Hrvatske u izvanrednim uvjetima — rad u otočnom pogonu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autor: mr Jakša Topić, dipl. ing.

Završeno: 1983. god.

Studija obraduje probleme vezane za rad elektroenergetskog sistema Hrvatske u izvanrednim uvjetima koji mogu nastati kao posljedica velikih kvarova, elementarnih nepogoda, ratnih razaranja i u drugim prilikama koje uvjetuju izdvajanje jednog dijela elektroenergetskog sistema i njegov rad u otočnom pogonu.

U studiji su definirani tehničko-tehnološki i energetski uvjeti koji moraju biti zadovoljeni da bi sistem ili dio sistema mogao raditi u otočnom pogonu. Posebno je istaknut problem pokretanja elektrana i mogućnost regulacije frekvencije i snage. Izvršena je podjela elektroenergetskog sistema Hrvatske na podsisteme i parcijalne sisteme i utvrdene su mogućnosti zadovoljenja potrošnje svakog sistema u normalnim i izvanrednim uvjetima. Prikazane su karakteristike potrošnje i karakteristike izvora svakog podsistema. Obavljena su razna ispitivanja prijenosne mreže s obzirom na termičku opteretivost vodova, instalirane snage transformatora i dozvoljene napone čvorišta za različita pogonska stanja u normalnim i izvanrednim uvjetima. Na kraju je prikazan način upravljanja elektroenergetskim sistemom u normalnim i izvanrednim uvjetima prema koncepciji sistema daljinskog vodenja.

Opseg: 161 stranica, 18 tablica i 46 slika.

Mjerenje proizvodnosti rada u elektroprivrednim organizacijama i u elektroenergetskom sistemu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: Smiljana Jurišić, dipl. ek.
mr Damir Pešut, dipl. ing.

Završeno: 1983. godine.

U radu se pokušalo putem klasičnih — ali i putem složenih pokazatelja proizvodnosti rada dobivenih primjenom suvremenih metoda za izračunavanje proizvodnosti rada i tehničkog napretka koji do sada nisu primjenjivani u elektroprivredi — odrediti ne samo način izračunavanja proizvodnosti rada u elektroprivredi, već i utvrditi praktičnu primjenjivost i korištenje tako dobivenih rezultata. Suvremene metode po R. Solowu i H. F. Lydallu primjenjuju isključivo vrijednosne elemente za izračunavanje proizvodnosti rada. Cobb-Douglasova metoda izračunavanja tehničkog napretka koristi naturalne i vrijednosne podatke osnovnih činilaca (rada i sredstava). primjenjivost ovih metoda pokušala se verificirati na poslovanju elektroprivrede Hrvatske u razdoblju od 1975. do 1980. godine.

Opseg: 152 stranice i 70 tablica.

Izrada plana jednostavne reprodukcije elektroprivrede Hrvatske i elektroprivrednih organizacija korištenjem elektroničkog računala

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autori: Zvonimir Milonja, dipl. ek.
Smiljana Jurišić, dipl. ek.
Nada Hruška, dipl. ek.

Završeno u lipnju 1983. godine.

Planiranje jednostavne reprodukcije nužno treba biti organizirano kao tzv. susretno planiranje, a svodi se u osnovi na istovremeno planiranje za elektroprivredu u cjelini i na planiranje u pojedinim osnovnim elektroprivrednim organizacijama udruženog rada, da se na kraju postupka planiranja na temelju provedene usporedbe i analize utvrdi definitivan plan jednostavne reprodukcije za elektroprivredu u cjelini, kao i udjeli OOUR-a u prihodu od zajedničke proizvodnje el. energije. Za provedbu postupka susretnog planiranja neophodno je postojanje metodologije planiranja, tj. kriterija i mjerila za izradu planova jednostavne reprodukcije. Metodološki uvjeti za izradu planova korištenjem elektroničkog računala mogu se definirati kao i kod svake obrade na elektroničkom računalu, i to:

— utvrdivanje načina i postupka prikupljanja ulaznih tabela
— obrada podataka
— izrada gotovih rezultata i njihovo korištenje.

Izlazne tablice, osim grupiranja po ovom sadržaju, korištenju elektroničkog računala, grupiraju se i po tehnološkom organizacijskom načelu, tj. za pojedine korisnike.

Opseg: 104 stranice, 100 tablica.

Udio električne energije u ukupnom prihodu i troškovima grupacija, grana i privrednih oblasti i utjecaj na stvaranje bruto proizvoda i dohotka društvene privrede, odnosno na troškove života u SR Hrvatskoj u razdoblju od 1976. do 1980. godine

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autor: Luka Staničić, dipl. ek.

Završeno u srpnju 1983. godine.

U studiji je napravljena analiza potrošnje električne energije po pojedinim kategorijama potrošnje u Hrvatskoj u razdoblju od 1976. do 1980. godine, radi potpunijeg sagledavanja privrednih oblasti, grana, skupina i podskupina koje svojom potrošnjom najviše opterećuju rad i razvoj elektroprivrede. Na temelju takve potrošnje sagledan je udio troškova električne energije u vrijednosti proizvodnje i materijalnim troškovima te utjecaj električne energije, odnosno njezin doprinos stvaranju društvenog proizvoda odnosno dohotka u pojedinim privrednim oblastima, granama, skupinama i podskupinama.

Težište je na analizi financiranja razvoja elektroprivrede da bi se utvrdilo koje su privredne oblasti i grane kojim obujmom sredstava sudjelovale u financiranju razvoja elektroprivrede Hrvatske u razdoblju od 1976. do 1980. godine radi sagledavanja mogućeg, s obzirom na potrošnju električne energije, većeg, ekonomski značajnijeg, uključivanja potrošača električne energije u osiguranje dinarskih, pa čak i deviznih sredstava za rad i razvoj elektroprivrede Hrvatske.

Opseg: 127 stranica, 27 stranica priloga.

Energija, god. 33 (1984) 4 319 – 335

Energetika ZO Rijeka

Naručitelj: Elektroprivreda — Rijeka
Jadranplin — Pula
Privredna komora — Rijeka

Autori: prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
mr Branko Vuk, dipl. ing.
dr Goran Granić, dipl. ing.
mr Slavko Alerić, dipl. ing.
Ivan Šimurina, ing.
Josip Bunjevčević, tehn.

Završeno u studenom 1983. godine.

Studija »Energetika ZO Rijeka« izrađuje se u sklopu studije »Korištenje i razvoj tehnološko-energetskih i sirovinskih potencijala ZO Rijeka« kao jedna od podloga kompleksne studije. Budući da u izradi kompleksne studije sudjeluje veći broj izvođača, u izradi studije »Energetika ZO Rijeka« korišteni su i nalazi o mogućnosti razvoja ostalih istraživačkih organizacija.

U 1983. godini završena su tri dijela studije »Energetika ZO Rijeka«, a u izradi je još dugoročni razvoj energetskog sistema ovog područja.

U prvom dijelu studije prikazan je položaj ZO Rijeka u odnosu na SR Hrvatsku, SFR Jugoslaviju i neke zemlje svijeta u pogledu ostvarenog rasta potrošnje energije i strukture potrošnje. Osim toga, analizirano je kretanje cijena energije u nekim evropskim zemljama i u nas, naznačeno vođenje energetske politike određenih zemalja, te naznačena energetska perspektiva, odnosno buduća energetska politika.

U drugom dijelu studije razmatra se razvitak opskrbe energijom potrošača u ZO Rijeka u proteklom razdoblju od 1975. do 1981. godine, a detaljno je prikazan tok energije od bruto raspoložive energije, preko energetskih transformacija do energije predane potrošačima za svaku promatranu godinu. Osim toga je energija predana potrošačima ZO Rijeka kao cjelini razdijeljena na energiju predanu potrošačima u pojedinim općinama.

U trećem dijelu studije razmatra se struktura proizvodnje električne energije Elektroprivrede Rijeka do 2000. godine. Analize su provedene u sklopu optimalnog razvoja elektroenergetskog sistema Hrvatske kao cjeline, a definiran je opseg i dinamika zadataka koje je potrebno izvršiti na ovom području. Osim toga razmotreni su i objekti s kojima nije računato u strukturi proizvodnje električne energije u Hrvatskoj do 2000. godine.

Opseg: 91 stranica, 123 tablice i 2 slike.

Tehnička regulativa — proračun troškova nuklearnog goriva I faza

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autor: Ratko Vojvodić, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1983. godine.

Mogućnost preciznog određivanja iznosa troškova nuklearnog goriva i dinamike njihova dospijevanja jedan je od važnih faktora pri evaluaciji ponuda kod odluke o izboru tipa nuklearne elektrane. Osim toga, praćenje rada elektrane podrazumijeva i poznavanje iznosa troškova goriva kako za jednu izmjenu goriva ili godinu tako i za čitav životni vijek elektrane.

U studiji je detaljno objašnjena kategorija troškova goriva nuklearnih elektrana s reaktorima PWR i PHWR Candu. Razrađena je metodologija proračuna troškova goriva za PWR s otvorenim gorivnim ciklusom i recikliranjem plutonija te za PHWR Candu. U nastavku rada slijedi izrada računskog programa, sistematiziranje potrebnih podataka, procjena troškova pojedinih faza gorivnog ciklusa i komentiranje mogućih trendova te testiranje računskog programa i verifikacija rezultata.

Opseg: 125 stranica.

Planiranje korištenja akumulacijskih bazena i zadovoljenja potrošnje metodom linearnog programiranja za EES SRH za razdoblje 1. 7. — 31. 12. 1983.

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: dr Goran Granić, dipl. ing.
mr Damir Pešut, dipl. ing.
Mladen Zeljko, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1983. god.

Pri planiranju korištenja sezonskih akumulacijskih bazena pojavljuju se dva osnovna problema: problem dotoka i problem načina korištenja akumulirane vode. Problem dotoka rješava se putem ostvarenja u prošlosti, bilo promatranjem determinističkih nizova podataka iz prošlosti, bilo statističkom obradom tih nizova iz prošlosti i njihovim korištenjem u tom obrađenom obliku, gdje se pojavi određenog dotoka pridružuje vjerojatnost.

Za rješavanje drugog problema, tj. najpovoljnijeg računa korištenja akumulirane vode, koriste se različite metode optimizacije od kojih svaka ima za cilj zadovoljenje potrošnje električne energije uz minimum troškova u elektroenergetskom sustavu (EES).

U ovoj studiji opisan je postupak planiranja korištenja sezonskih akumulacijskih bazena uz upotrebu linearnog programiranja. Postupak je primijenjen na EES SR Hrvatske.

Iz samog naziva metode linearnog programiranja zaključuje se da dozvoljava samo linearne odose među elementima sustava za koji se vrši optimiranje. Funkcija cilja je minimum troškova za gorivo termoelektrana, a kao rezultat se dobila proizvodnja pojedine hidroelektrane, regulirani protoci, proizvodnja termoelektrana, stanja u akumulacijama, potrebe uvoza energije i sl.

Opseg: 33 stranice teksta, 23 tablice i 7 slika.

Veličina izgradnje hidroelektrane Zrmanja (Krupa)

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije — Split

Autori: mr Slavko Alerić, dipl. ing.
prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
Neda Komerički, ek.

Završeno u kolovozu 1983. godine.

Veličina izgradnje (instalirani protok) vrlo je važan pokazatelj svake, pa i ove hidroelektrane. Naime, prije njezine izgradnje u razdoblju pripreme (projektiranje) za izgradnju potrebno je svestranom analizom odrediti veličinu izgradnje hidroelektrane. To je načinjeno u ovoj studiji za hidroelektranu Zrmanja. U ovom proračunu potrebno je bilo proračunati (dopuniti za 40 godina) hidrološki niz podataka na pregradnom profilu. Nakon toga za različite pretpostavke instaliranog protoka u ovisnosti o srednjem godišnjem protoku proračunate su moguće proizvodnje električne energije. Naravno, potrebno je bilo odrediti i investicijska ulaganja. Ona su određena »parametarskom metodom«, a nakon toga se pristupilo energetsko-ekonomskim analizama. Za ovakve analize najpovoljnija je metoda simulacije prilika u elektroenergetskom sistemu. Uključivanjem promatrane varijante izgradnje hidroelektrane Zrmanja u elektroenergetski sistem dobiju se pozitivni i negativni efekti koji se mogu ekonomski valorizirati, odnosno odrediti relativna energetsko-ekonomska vrijednost. Varijanta izgradnje hidroelektrane Zrmanja koja ima najveću relativnu energetsko-ekonomsku vrijednost je i najpovoljnija.

Opseg: 32 stranice teksta, 36 tablica i 10 slika.

Analiza opravdanosti prijevremene izgradnje elektrana kontinuiteta

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: prof. dr Božo Udovičić, dipl. ing.
Nikola Bilčar, dipl. ing.
dr Goran Granić, dipl. ing.
mr Slavko Alerić, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. ek.
Neda Komerički, ek.

Završeno u travnju 1983. godine.

Polovicom 1982. godine određen je »Redoslijed izgradnje elektrana kontinuiteta za razdoblje 1981 — 1985. godine «. Naravno, ovaj redoslijed je izrađen na temelju dotadašnjih sagledavanja o razvoju i veličini konzuma. Međutim, odlukom Savezne skupštine o potrebi izrade srednjoročnih planova razvoja i njihovog uvođenja u realne okvire — program stabilizacije, proizašla je i obveza elektroprivrede Hrvatske da preispita svoje razvojne planove. Prvi korak je učinjen određivanjem prognoze potrošnje električne energije uz uvažavanje svih relevantnih faktora. Nakon toga je bilo potrebno ispitati nove rokove ulaska u pogon elektrana kontinuiteta — na niži nivo potrošnje električne energije, što je u ovoj analizi i učinjeno. Ranijim ulaskom u pogon (ranija izgradnja) elektrana kontinuiteta smanjuje se potrebna proizvodnja u termoelektranama na tekuće gorivo, a time i troškovi goriva u elektroenergetskom sistemu odnosno potrebe tekućeg goriva. Metodom aktualizacije moguće je obuhvatiti sve troškove koji figuriraju u ovakvim analizama. Rezultati analize pokazuju da uz nižu stopu ak-

tualizacije (7,5%) ima opravdanja prijevremena izgradnja elektrana kontinuiteta. Doduše, u ovakvim analizama postoji mnogo elemenata i efekata koji se ne mogu računski obuhvatiti niti nekim metodama analizirati (npr. zapošljavanje građevinske operative, elektro-strojogradnje, projektantskih organizacija i dr., kao i sekundarni efekti — vodoopskrba, navodnjavanje, obrana od poplava, odvodnjavanje itd.) pa je potrebno uvažavajući sve navedene efekte ocijeniti i pravilno donijeti odluku.

Opseg: 34 stranice teksta.

Izrada programa za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autor: mr Damir Pešut, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1983. godine.

U studiji je prikazana strukturna organizacija i dane upute za rad s programskim paketom za predvidanje dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sistemu. Program je izraden na temelju postupka koji je razvijen i testiran u okviru studije »Metoda za predvidanje dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sistemu« I, II i III dio.

Programski paket omogućava predvidanje opterećenja za 24 sata unaprijed, uz uvažavanje srednje dnevne temperature. Predvidanje opterećenja tokom vikenda je direktno uključeno u postupak, a interaktivnim radom stroj — operator omogućeno je predvidanje za praznike i radne subote.

Opseg: 50 stranica, 8 slika, 5 tablica.

Analiza obrtnih sredstava i utvrđivanje optimalne veličine i strukture obrtnih sredstava u elektroprivrednim organizacijama

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske — Zagreb

Autori: Nada Hruška, dipl. ek.
Luka Staničić, dipl. ek.

Završeno: 1983. godine.

Problem obrtnih sredstava stalno je prisutan u poslovanju elektroprivrednih organizacija, a svodi se u biti na eliminiranje manjkova i viškova raspoloživih obrtnih sredstava u odnosu na stvarne potrebe u svim važnijim vrstama sredstava u toku njihova kružnog kretanja. U tom smislu osnovni zadatak studije je:

— da se odgovarajućom metodologijom utvrde (optimalne) potrebe za obrtnim sredstvima kako u ukupnom iznosu tako i po vrstama i po svim fazama kružnog toka

— da se ukaže na mogućnosti racionalnog poslovanja obrtnim sredstvima u elektroprivrednim organizacijama vodeći računa o uvjetima u kojima posluje elektroprivreda.

Opseg: 58 stranica i 12 tablica.

STUDIJ RAZDJELNIH NISKONAPONSKIH, VISOKONAPONSKIH MREŽA I PROJEKTIRANJE

Uzemljenje zvjezdišta 10 kV mreže Dalmacije na području OOUR-a »Distribucija« Split, »Stipe Ivandić« Sinj, »Elektra-Trogir« Trogir, »Elektrobiokovo« Makarska, »Elektrocetina« Omiš i »Elektroneretva« Metković

I dio: *Preliminarni izbor veličina struja jednopolnog kvara*

Naručitelji: navedeni OOUR-i RO »Elektrodalmacije« Split

Autori: mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr Božidar Filipović, dipl. ing.

Suradnici: Krešimir Mehičić, ing.
Duda Meštrović, el. tehn.

Završeno 1983. g.

Mreže 10 kV na području navedenih OOUR-a nalaze se u pogonu s izoliranim zvjezdištima u pojnim TS 35/10 kV. Razmatrane mreže pretežno su mješovitog karaktera s većim udjelom nadzemnih vodova. Čiste kabelske mreže nalaze se isključivo na području grada Splita.

Detaljnom analizom postojećg stanja u mreži 10 kV utvrdeno je da kapacitivna struja zemljospoja prelazi iznos od 20 A u 15 TS 35/10 kV (a tada se prema teh. propisima preporučuje uzemljenje zvjezdišta). U čak 6 TS 35/10 kV kapacitivna struja danas prelazi granicu od 40 A. U preostalih 17 TS 35/10 kV struja zemljospoja ne prelazi granicu od 20 A. U studiji su detaljno analizirani svi mjerodavni kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta, odnosno struje jednopolnog kratkog spoja. Utvrdena je donja granična vrijednost struje jednopolnog kvara u mreži s uzemljenim zvjezdištem u odnosu na kapacitivnu struju zemljospoja: $I_R \geq 3I_C$. Prema tome, struja otpornika za uzemljenje zvjezdišta treba biti barem tri puta veća od kapacitivne struje zemljospoja.

Na temelju takvog kriterija predloženo je uzemljenje zvjezdišta mreža 10 kV uz sljedeća ograničenja struja jednopolnog kvara:

— pretežno kabelske mreže: $I_R = 300$ A
— mješovite mreže ($I_C > 20$ A): $I_R = 150$ A
— mješovite i nadzemne mreže ($I_C < 20$ A) — nije nužno uzemljenje.

Također su dani granični uvjeti za uzemljivače TS 10/0,4 kV, te je razmotren problem formiranja umjetnog zvjezdišta u TS 35/10 kV čiji su transformatori izvedeni u spoju Yd5. U studiji je dan sumarni prikaz mreža 10 kV i TS 35/10 kV po OOUR-ima.

Opseg: 122 stranice sa slikama.

Uzemljenje zvjezdišta 10 kV mreže »Distribucije« Split, »Stipe Ivandić« Sinj, »Elektra-Trogir« Trogir, »Elektrobiokovo« Makarska, »Elektrocetina« Omiš, i »Elektroneretva« Metković

II dio: *Proračuni u mreži i izbor relejne zaštite*

Naručitelji: navedeni OOUR-i i RO »Elektrodalmacije« Split

Autori: mr Božidar Filipović, dipl. ing.
mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.

Suradnici: mr Ivan Čauš, dipl. ing.
Krešimir Mehičić, ing.
Duda Meštrović, el. tehn.

Završeno 1983. g.

U ovom dijelu studije dani su osnovni principi relejne zaštite u mreži 10 kV sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika. Također je obradena problematika APU u 10 kV mreži. Dane su upute za izvedbu uzemljivača TS 10/0,4 kV u uvjetima uzemljenog zvjezdišta.

Izvršen je proračun tropolnog i jednopolnog kratkog spoja u svim čvorovima razmatranih 10 kV mreža. Izložen je pregled ugradene opreme i prijedlog nadopune relejne zaštite, zajedno s uputama za podešenje zaštite.

Detaljno su prikazani svi značajniji podaci o obradivanim 10 kV mrežama.

Zbog opsega izvršenih obrada ovaj dio studije je izložen u više knjiga (jedna knjiga po OOUR-u, a za »Distribuciju« Split dvije knjige).

Opseg: 7 knjiga sa 1 412 stranica (uključujući slike i tablice).

Uzemljenje zvjezdišta 35 kV mreže Dalmacije na području OOUR-a »Distribucija« Split, »Stipe Ivandić« Sinj, »Elektra-Trogir« Trogir, »Elektrobiokovo« Makarska, »Elektrocetina« Omiš i »Elektroneretva« Metković

Naručitelji: navedeni OOUR-i i RO »Elektrodalmacije« Split

Autori: mr Božidar Filipović, dipl. ing.
mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.
Dasenko Baldasari, dipl. ing.

Suradnik: Krešimir Mehičić, ing.

Studija se sastoji od dva dijela. U prvom (općem) dijelu obrađeni su kriteriji za izbor veličine otpornika u zvjezdištu 35 kV mreže, odnosno veličine struje jednopolnog kvara. Izložen je komentar tehničkih propisa o opasnim naponima dodira, opisan je proračun struje mjerodavne za kontrolu uzemljivača TS 35/10 kV, te proračun napona dodira u TS 35/10 kV. Također je prikazan način proračuna unutrašnjih prenapona u mreži uzemljenoj preko otpornika.

Predloženo je ograničenje struje jednopolnog kvara na 300 A. Detaljno su opisani kriteriji za izbor i podešenje relejne zaštite u mreži 35 kV, te je dan osvrt na APU u mreži 35 kV; te na opasne utjecaje energetskih vodova na PTT vodove.

U drugom dijelu studije izvršeni su svi potrebni proračuni u mrežama 35 kV (po pojnim TS 110/35 kV), te su dani pregledi postojeće zaštite, skupa sa prijedlozima za nadopunu zaštite i podešenje. Također je dan pregled orijentacijskih troškova za prelazak mreže na pogon sa uzemljenim zvjezdištem.

Opseg: 285 stranica sa slikama i tablicama.

Uzemljenje zvjezdišta 10 kV mreže grada Dubrovnika

Naručitelj: »Elektrojug« Dubrovnik

Autori: mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr Božidar Filipović, dipl. ing.

Suradnik: Krešimir Mehičić, ing.

Završeno 1983. g.

Mreža 10 kV na području grada Dubrovnika posve je kabelskog karaktera. Razmatrana mreža se napaja iz TS 35/10 kV »Dubrovnik« i »Lapad«. Kapacitivne struje zemljospoja iznose 37 A (mreža priključena na TS »Dubrovnik«, odnosno 41 A (mreža priključena na TS »Lapad«).

Ovakav način rada pokazao se nezadovoljavajućim s pogonskog stajališta. Zato je u studiji izvršena analiza mogućnosti uzemljenja zvjezdišta u pojnim stanicama, uz izbor veličine maloomskog otpornika (odnosno struje jednopolnog kvara u mreži 10 kV). Analiza je obavljena uz uvažavanje sljedećih kriterija: propisa o naponima dodira u niskonaponskim mrežama i pripadajućim instalacijama, unutrašnjih prenapona koji se javljaju prilikom nastanka jednopolnih kvarova i mogućnosti relejne zaštite. Predloženo je ograničenje struje jednopolnog kvara na 300 A. Ovakav izbor ne zahtijeva nikakve zahvate na postojećim uzemljivačima, što je veoma značajno.

Detaljno je prikazan izbor relejne zaštite, te način njezina podešenja u mreži uzemljenoj preko otpornika. Dane su upute za izvedbu uzemljivača TS 10/0,4 kV u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Također je izvršen proračun tropolnog i jednopolnog kratkog spoja u mreži 10 kV, te termička kontrola vodova 10 kV.

Opseg: 124 stranice sa slikama.

Uzemljenje zvjezdišta 10 kV mreže u TS 35/10 kV »Blato«; i TS 35/10 kV »Ston«

Naručitelj: »Elektrojug« Dubrovnik

Autori: mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr Božidar Filipović, dipl. ing.

Suradnici: mr Ivan Čauš, dipl. ing.
Duda Meštrović, el. tehn.

Završeno 1983. g.

Mreža 10 kV na području TS 35/10 kV »Ston« i »Blato« mješovitog je karaktera s većim udjelom nadzemnih vodova. Međutim, zbog utjecaja dugačkih podmorskih kabela kapacitivne struje zemljospoja su veoma visoke (43 A sa TS »Blato«, odnosno 45 A za TS »Ston«). Zbog toga se pokazala potreba da se izradi studija o rješenju uzemljenja zvjezdišta.

U studiji su detaljno razmotreni svi bitni kriteriji koji diktiraju izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta odnosno veličine struje jednopolnog kvara (teh. propisi, unutrašnji prenaponi, relejna zaštita). Predloženo je ograničenje struje jednopolnog kvara na 150 A. Ovakva struja ne zahtijeva veće zahvate na uzemljivačima TS 10/0,4 kV.

U studiji su dani granični uvjeti za uzemljivače TS 10/0,4 kV, upute za formiranje umjetnih zvjezdišta u TS 35/10 kV, te upute za izbor i podešenje relejne zaštite. Obrađen je sistem APU u distributivnim mrežama. Obavljeni su proračuni tropolnog i jednopolnog kratkog spoja u svim čvorovima mreže 10 kV, te kontrola termičke ugroženosti vodova. Detaljno su prikazani svi podaci razmatranih mreža.

Opseg: 206 stranica sa slikama i tablicama.

Uzemljenje zvjezdišta 35 kV u TS 110/35 kV »Bjelovar«

Naručitelj: »Elektra« Bjelovar

Autori: mr Božidar Filipović, dipl. ing.
mr Srđan Žutobradić, dipl. ing.

U studiji su izloženi svi kriteriji za izbor veličine struje jednopolnog kvara u mreži uzemljenoj preko otpornika (teh. propisi, unutrašnji prenaponi kod nastanka jednopolnog kvara). Predloženo je ograničenje struje jednopolnog kvara na 300 A.

Detaljno su obrađeni principi za izbor i podešenje relejne zaštite u mreži uzemljenoj preko otpornika. Za TS 110/35 kV »Bjelovar« i napajane TS 35/10 kV dan je prijedlog izbora i podešenja relejne zaštite, skupa s procjenom troškova prelaska mreže 35 kV na pogon s uzemljenim zvjezdištem. Također su razmotreni opasni utjecaji na PTT vodove.

Opseg: 127 stranica sa slikama.

Izgradnja niskonaponske električne mreže u brdskim seoskim naseljima u odnosu na problematiku padova napona

Naručitelj: ZEOH

Autor: mr Ivan Čauš, dipl. ing. mr informatike, dipl. oec. i ing. cest. saobr.

Konzultanti: mr Rihard Schenner, dipl. ing.
mr Ernest Mihalek, dipl. ing.

Završeno u travnju 1983.

Odgovarajući dio konzumnog elektrodistributivnog područja otpada na brdska seoska naselja, koja djelomično ulaze u skup tzv. raštrkanih naselja. Kod izgradnje niskonaponske mreže u tim naseljima je značajna problematika padova napona, jer specifične geografske i tehno-ekonomske karakteristike izlažu investitora povećanim troškovima izgradnje i eksploatacije da bi se udovoljilo propisima prema kojima se mora potrošaču osigurati kvalitetni napon uz sve potrebne mjere zaštite. Za postizanje tih uvjeta praksa koristi uobičajena rješenja, koja proizlaze iz variranja presjeka vodiča, naponskog nivoa te snaga i razmještaja transformatora i vodova kao i odgovarajuće podešene zaštite. U spletu uzročno-posljedičnih veza koje smo uočili kod izrade ove studije primjenom varijantne metode i traženja optimuma preko izbora alternativa proizlaze na modelima predmetnih mreža:

— maksimalne mogućnosti napajanja, a da se ne prijeđe dopušteni pad napona
— lokacije transformatorskih stanica uz zadani faktor istodobnosti, respektirajući faktor snaga.

Niz popratnih tablica i crteža detaljno ilustrira zavisnosti relativnih gubitaka, investicijskih i godišnjih troškova o broju kućanstava te udaljenosti među kućama i naseljima variranjem vršne snage potrošača za svaku pojedinu varijantu. Posebno je razmotrena primjena međunapona 950 V koji poboljšava pogonske karakteristike mreže, ali otežava eksploataciju pošto se smanjuje ukupna pouzdanost sustava. Napokon, dinamika razvoja ovih mreža orijentacijski se može zadovoljavajuće procijeniti korištenjem navedenih zakonomjernosti iz ove studije, ali za točniji proračun proporuča se analiza konkretnih slučajeva primjenom metoda operacijskih istraživanja.

Opseg: 121 stranica, od čega 51 tablica i 23 slike.

STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA

Podloge i upute za izradu studije o utjecaju NE na okolinu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: mr Niko Malbaša, dipl. ing.

U uvodu se daju osnovne napomene o potrebi izrade studija o utjecaju na okolinu za nuklearne elektrane s gledišta zakonskih obveza te razgraničenje u odnosu na druge elemente koje je potrebno priložiti pri traženju potrebnih dozvola i suglasnosti.

U nastavku se daje detaljan prijedlog standardnog formata izvještaja o utjecaju na okolinu u osam glava kako slijedi:

1. Uvodni dio
2. Opis okoline predlagane elektrane
3. Opis elektrane
4. Utjecaj izgradnje elektrane na okolinu
5. Utjecaj eksploatacije elektrane na okolinu
6. Program mjerenja i monitoringa u okolini
7. Utjecaj potencijalnih nezgoda na okolinu
8. Alternative predloženom projektu.

Daje se opsežan pregled literature (104 naslova) te domaći i značajniji inozemni regulatorni dokumenti.

Opseg: 145 stranica.

NE Prevlaka — pregled i analiza prethodnih radova (Izrađeno u suradnji s Elektroprojektom — Zagreb)

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autori: mr Niko Malbaša, dipl. ing.
Zoran Selanec, dipl. ing
Antun Eisenreich, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.

U studiji je dana analiza prethodnih radova obavljenih na lokaciji NE Prevlaka u razdoblju 1969. do 1981. godine. Daje se ocjena usklađenosti s postojećom regulativom, ocjenjuje se kompletnost i kvaliteta rezultata te definiraju dodatni radovi i dopune postojećih, posebno za potrebe izdavanja dozvole za lokaciju i za gradnju nuklearne elektrane Prevlaka.

Dan je pregled potrebnih dozvola i suglasnosti te popis i terminski plan potrebnih aktivnosti u budućem periodu.

Dane su i osnove programa izobrazbe kadrova za nuklearni program.

Opseg: Oko 200 stranica.

Izbor preliminarnih mikrolokacija za lociranje nuklearnih elektrana na području Dalmacije

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autori: mr Niko Malbaša, dipl. ing.
mr Mladen Petričec, dipl. ing.
mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
mr Jure Ćurković, dipl. ing.
Hrvoje Kunaj, dipl. ing.
prof. dr Edvard Prelogović, dipl. ing.
dr Dragutin Cvijanović, dipl. ing.
prof. dr Pavao Miletić, dipl. ing.
dr Darko Mayer, dipl. ing.

U uvodu se daje detaljan opis procesa izbora lokacije za nuklearnu elektranu s planom nužnih radova, do traženja dozvole za lokaciju.

Formirani su nužni kriteriji za lociranje nuklearne elektrane 2 × 1 000 MW u području Dalmacije. Analizirano je potanko područje od interesa te odredene potencijalne mikrolokacije koje su analizirane i vrednovale preko 16 karakterističnih parametara o kojima ovisi kvaliteta pojedine lokacije.

Na kraju je dan prijedlog preliminarnih mikrolokacija za dataljnu analizu koja slijedi u nastavku istražnih radova.

Opseg: 232 stranice s tabličnim prikazima i slikama.

Evaluacija demografskih karakteristika lokacije nuklearne elektrane Prevlaka

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb

Autori: mr Jure Ćurković, dipl. ing.
Vladimir Jelavić, dipl. ing.
mr Damir Subašić, dipl. ing.
Hrvoje Štingl, dipl. ing.
Duška Bradić, dipl. ing.
Marijan Sarajlija, dipl. tehn.

U fazi lociranja nuklearnog postrojenja jedna od bitnijih analiza jest analiza naseljenosti u okolini elektrane. Da bi se dobila što cjelovitija slika demografskih karakteristika, u studiji je dan pregled demografskih kriterija zemalja s razvijenom nuklearnom tehnologijom i izgradenim nuklearnim postrojenjima. Nadalje su opisane metode za komparaciju dviju i više lokacija, te primjena opisanih metoda za lokaciju NE Prevlaka i NE Krško. Osim toga, opisane su metode za procjenu broja stanovnika i principi tretiranja složene demografske problematike u okolici NE. Na temelju preporuka IAEA i ostale relevantne literature razvijen je originalni računski model DEMOS, koji u potpunosti udovoljava zahtjevima što ih propisuju navedene institucije.

Prezentirani rezultati predstavljaju podloge i dokumentacijsku osnovu za daljnja istaživanja i studije za konačno oblikovanje prostora oko NE Prevlaka.

Opseg: 217 stranica s tabelarnim prikazima i slikom.

Analiza naseljenosti u okolini lokacije nuklearne elektrane Slavonija

Naručitelj: »Elektroslavonija« — Osijek

Autori: mr Jure Ćurković, dipl. ing.
Vladimir Jelavić, dipl. ing.
Marijan Sarajlija, dipl. tehn.

U studiji je opisana međunarodna praksa u tretiranju demografske problematike, opisane su metode za usporedivanje i vrednovanje lokacija za nuklearne elektrane sa stajališta demografskih značajki lokacija, dana je analiza naseljenosti u radijusu od 80 km od NE, metode i procjena broja stanovnika, te analiza budućeg kretanja stanovnika u okolici lokacije NE.

U studiji je dana evaluacija demografskih karakteristika NE Slavonija i usporedba s lokacijom NE Prevlaka i NE Krško.

Korištene metode za evaluaciju demografskih karakteristika lokacija i primijenjeni računski model DEMOS ocijenili su stručnjaci IAEA kao prihvatljive u analizi navedene problematike.

Opseg: 165 stranica s tabličnim prikazima i slikama.

Mogućnost primjene ugljena kao energetske osnove razvoja Elektroprivrede Zagreb

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, OOUR Toplinske mreže

Autori: Zoran Selanec, dipl. ing.
Milivoj Krejči, dipl. ing.
dr Duško Čorak, dipl. ing.
mr Jure Ćurković, dipl. ing.
Slavko Tomić, dipl. ing.
Tomislav Bilić, dipl. ing.
Marijan Saralija, dipl. tehn.

Studija je izradena da obradi problematiku vezanu za korištenje ugljena kao pogonskog goriva u TE – TO.

U studiji je dan pregled rezervi ugljena u SFRJ s osvrtom na svjetsku energetsku situaciju, dan je pregled rudarskih bazena potencijalnih isporučioca ugljena, dane su karakteristike ugljena i opisani lokacijski uvjeti s obzirom na transport, te potrebne količine ugljena iz pojedinih rudnika.

Studija osim toga analizira transportne mogućnosti te troškove transporta i investicijska ulagalja u neke rudarske bazene. Na kraju su navedeni ekološki aspekti korištenja ugljena te analizirani problemi uz izgaranje ugljena i transport pepela.

Opseg: oko 200 stranica.

Mogućnost akumulacije toplinske energije za potrebe vrelovodnog sistema grada Zagreba

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, OOUR Toplinske mreže

Autor: mr Zlatko Komerički, dipl. ing.

Promjena načina rada centraliziranog vrelovodnog sistema nastala primjenom restriktivnih mjera u potrošnji očituje se u sniženju temperature polazne vode u toku noći i do 30 °C. Posljedica snižavanja temperature polazne vode je i sniženje povratne temperature, tako da u jutarnjim satima dolazi do naglog povećanja toplinske snage u izvorima. Pri naglom rastu snage u pogon ulaze vršne jedinice (vrelovodni kotlovi), koji nakon jedan do dva sata rada i stabilizacije sistema ponovo izlaze iz pogona. Ovakav način rada vrelovodnih kotlova vrlo je štetan, da bi se broj ulazaka i izlazaka iz pogona vršnih vrelovodnih jedinica smanjio i svео na razumnu mjeru, analiziran je rad toplinskog sistema i mogućnost akumulacije toplinske energije u toku noći u vrelovodnoj mreži, i to prvenstveno u povratnom vodu.

Opseg: 64 stranica teksta, 15 tabličnih prikaza, 25 slika i prilozi hidrauličkog proračuna vrelovodne mreže postojećeg stanja i bliže budućnosti.

Mogućnost učešća domaćih proizvođača energetske opreme, projektnih i consalting-organizacija u programu izgradnje nuklearnih elektrana — I dio

Naručitelji: RO Elektroprivreda Zagreb
SOUR »Rade Končar« Zagreb
TKP — Zagreb
RO Institut »Đ. Đaković« — Zagreb
SOUR »Jugoturbina« — Karlovac
RO ATM — Zagreb
Elektroprojekt — Zagreb
Industroprojekt — Zagreb

Autori: Vladimir Bradoč, dipl. ing.
Stjepan Brnjak, dipl. ing.
mr Boris Kalan, dipl. ing.

Radi utvrđivanja mogućnosti domaćih proizvođača energetske opreme, projektnih i consalting-organizacija u programu izgradnje nuklearnih elektrana izrađen je pregled opreme i sistema nuklearnih elektrana tipa PWR i HWR. U prvom dijelu studije navedeni su zahtjevi koje trebaju ispuniti potencijalni proizvođači nuklearne energetske opreme. Na osnovu odgovora radnih organizacija, sudionika u izradi ove studije, u drugom dijelu će se definirati moguće učešće i pravci razvoja domaće elektrostrojogradnje.

Opseg: 730 stranica teksta i tabličnih prikaza.

Studija o mogućnosti iskorištavanja otpadnih toplina u kombinatu »Željezara – Sisak«

Naručitelj: SOUR Metalurški kombinat »Željezara – Sisak«

Autor: Hrvoje Brkić, dipl. ing.

U studiji se analiziraju gubici dimnih plinova pojedinih značajnijih procesnih peći i istražuje mogućnost daljnjeg korištenja otpadnih toplina. Predlažu se tehnička rješenja za svaku pojedinu peć u skladu s očekivanim optimalnim ekonomskim rezultatima i potrebama za pojedinim oblicima energije kombinata.

Opseg: 83 stranice teksta i prilozi.

Opravdanost primjene suhih rashladnih tornjeva na termoenergetskim objektima u SAP Kosovo

Naručitelj: »Đuro Đaković«, RO Fabrika vazduhom hlađenih izmjenjivača toplote u osnivanju — Urošević

Autor: Hrvoje Kunaj, dipl. ing.
Boris Štajer, dipl. ing.
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.

Studija je izrađena da bi se razmotrile mogućnosti primjene suhih rashladnih tornjeva za termoenergetska postrojenja u SAP Kosovo. Analizom rezultata obuhvaćeni su hidrološki kapaciteti vodotoka u regiji i izvršena procjena budućih potreba stanovništva i industrije za pitkom vodom. Opravdanost primjene suhih rashladnih tornjeva izvedena je na primjeru TE snage 300 MW, komparirajući sve tehničke, ekonomske i pogonske razlike između rashladnog sistema elektrane s vlažnim i suhim rashladnim tornjevima.

Opseg: 149 stranica teksta s tabličnim prikazima i slikama te prilozi proračuna na elektroničkom računalu.

Prijedlog koncepcije mjerenja za energetsko bilanciranje bloka 3 u TE – TO Zagreb

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, OOUR TE – TO

Autor: Čedomir Selanec, dipl. ing.

Studija je izrađena u kontekstu konzultantskih usluga naručitelju i isporučiocu informativnog sistema (Rade Končar — Zagreb). Svrha joj je da se odredi pristup proračunima za on-line bilanciranja turbinskog ciklusa i kotlovskog postrojenja radi utvrđivanja pokazatelja rada, efikasnosti i stanja kako pojedinih dijelova, tako i bloka u cjelini. Na osnovi postavljene koncepcije bilanciranja određena su i sva potrebna mjerna mjesta, čije su vrijednosti ulazni podaci za provođenje bilanci.

Opseg: oko 60 stranica teksta, slika i dijagrama.

Garancijsko ispitivanje kotlova TGM 84/B i kondenzacijsko-oduzimnog turboagregata PT-135/165-130/15 u TE – TO Novi Sad – blok 1

Provedba ispitivanja i izrada elaborata: Stjepan Ivančić, dipl. ing.
Čedomir Selanec, dipl. ing.
Ernest Prištof, dipl. ing.
Miroslav Juretić, dipl. ing.
Berislav Nadinić, dipl. ing.
Vladimir Martinec, dipl. tehn.
Ivo Vdović

TE – TO Novi Sad ušla je u redovnu proizvodnju 1982. god. Radi provjere garantiranih i penaliziranih performansi postrojenja provedena su garancijska ispitivanja. Elaborat sadrži energetske analize kao pokazatelje kvalitete procesa energetskih pretvorbi unutar ciklusa, te pokazatelje efikasnosti rada i stanja pojedinih dijelova postrojenja.

Opseg: oko 200 stranica teksta i proračuna s prilozima.

Ispitivanje turbine br. 3 u TE Jertovec

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, OOUR TE Jertovec

Nosioci zadatka: Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.

U toku 1983. god. obavljeno je detaljno bezrazorno ispitivanje turbine br. 3 (12,5 MW) u TE Jertovec. Ultrazvučnim, površinskim i vizualnim ispitivanjem obuhvaćeni svi vitalni dijelovi turbine kao što su: rotor, kućište, dijafragme, glavni spojni vijci, brzozatvarajući ventil, regulacijski ventili, te generatorski i turbinski ležajevi. Rezultati ispitivanja pokazali su da je homogenost materijala pojedinih dijelova turbine složena s obzirom na to da je na vitalnim dijelovima turbine (kućište, rotor, dijafragme, ventili) pronađen veći broj pukotina i oštećenja. Pukotine su nasale na diskontinuitetima konstrukcije kao posljedica koncentracije naprezanja potpomognutim toplinskim šokovima izazvanim čestim pokretanjem i zaustavljanjem turbine, jer se turbina koja je prije 25 godina izgrađena za bazni tip elektrane prelaskom na kombi sistem koristila kao vršna turbina. Rezultati ispitivanja, analiza i evaluacija rezultata prezentirani su u završnom elaboratu u kojem je dana ocjena stanja opreme te preporuke za daljnji rad i praćenje propagacije pojedinih složenijih pukotina nakon određenog broja upuštanja turbine u pogon. Na bazi provedenih ispitivanja i ekspertiza predloženo je da se planira skora zamjena visokotlačnog dijela kućišta turbine.

Ispitivanje parovoda TE Jertovec

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, OOUR TE Jertovec

Nosioci zadatka: Mijo Martinko, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.

Potkraj 1983. god. započeto je ispitivanje dijela parovoda TE Jertovec. Ispitivanja su provodena na horizontalnim sekcijama parovoda, gdje je nakon obustave rada elektrane zaostajao kondenzal. Cjevovod je vizualno pregledan s unutrašnje strane pomoću TV kamere s daljinskim upravljanjem. Osim toga, svi diskontinuiteti parovoda ispitivani su s vanjske strane površinskim bezrazornim metodama, te volumetrijski pomoću ultrazvuka. Već prva ispitivanja provedena u prosincu 1983. god. pokazala su da je cjevovod na mjestima zadržavanja kondenzata »izgrižen« zbog korozivnog djelovanja kondenzata, tako da se debljina stijenke cjevovoda na korodiranim mjestima stanjila za više od 50% u odnosu na projektnu debljinu. Osim toga, na koljenima su pronadene pukotine paralelne s vanjskom izvodnicom cjevovoda. Ispitivanja će se nastaviti i u toku 1984. god.

Ispitivanje cijevnog snopa kondenzatora TE Jertovec

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, OOUR TE Jertovec

Nosioci zadatka: Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.

Početkom 1983. g. obavljeno je ispitivanje homogenosti cijevi kondenzatora br. 3 u TE Jertovac. Ispitano je oko 20% odabranih cijevi pomoću metode visokofrekventnih vrtložnih struja. U ispitivanju se koristila oprema MIZ-12. Neposredno po ispitivanju obavljena je interpretacija rezultata ispitivanja, te izraden završni elaborat s ocjenom stanja cijevnog snopa kondenzatora. Ispitivanjem je konstatirano da na odredenom broju cijevi postoje pukotine nastale u toku eksploatacije kao posljedica neadekvatne ili nedovoljne toplinske obrade cijevi.

Ispitivanje strojarske i hidromehaničke opreme HE Gojak

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb — OOUR HE Gojak

Nosioci zadatka: Mijo Martinko, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.

U sklopu programa tehničkog promatranja obavljeno je bezrazorno ispitivanje dijela hidromehaničke i strojarske opreme HE Gojak. Sva provedena ispitivanja obavljena su prema mogućnostima pristupa na komponentama u montiranom stanju na hidromehaničkoj opremi brane Sabljaci i Bukovnik, tlačnom cjevovodu, predturbinskim zatvaračima, turbinama i generatorima, te rashladnom cjevovodu. Na navedenim dijelovima elektrane obavljeno je ultrazvučno ispitivanje, ispitivanje tekućim penetrantima te magnetskim česticama, vizualni pregledi te mjerenje vibracija kod različitih režima rada. Rezultati ispitivanja obradeni su i prezentirani u završnom elaboratu u kojem je osim ocjene pogonske spremnosti ispitane opreme dan i prijedlog potrebnih daljnih tehničkih promatranja te dodatnih ispitivanja koja je potrebno obaviti na nekim komponentama u demontiranom stanju.

Ispitivanje i ocjena stanja visokotlačnih cjevovoda HE Dubrovnik

Naručitelj: HE Dubrovnik

Nosilac zadatka: Mato Cvitanović, dipl. ing.

Ispitivanje visokotlačnih cjevovoda HE Dubrovnik obavljeno je radi otkrivanja lokalnih stanjenja debljine stijenke zbog erozije i/ili elektrokemijske korozije. Na osnovi provedenih mjerenja dana je opća ocjena stanja cjevovoda te je stvorena osnovna grupa podataka koja će poslužiti za praćenje promjena debljine stijenke tokom eksploatacije.

Ispitivanje i ocjena stanja strojarske opreme TE Jugovinil u Kaštel Sućurcu

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije

Nosilac zadatka: Mladen Nadinić, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
sa suradnicima

U toku 1983. god. obavljena je II faza ispitivanja strojarske opreme energane TE Jugovinil. Ispitivanja su obuhvatila sljedeće vitalne dijelove i komponente:

- kotao I (26/29t/h); kotao III (50/64t/h)
- dio glavnog parovoda (cjevovod, izolacija, zavješenja, armatura)
- kondenzator turbine 10 MW (cijevi vodne komore i plašt kondenzatora)
- hladnjaci generatora 10 MW
- kontrola vibracijskog stanja agregata 10 MW.

Na osnovi rezultata ispitivanja iz obje faze izraden je elaborat u kojem je dana ocjena stanja pojedinih dijelova i komponenata, te generalna ocjena stanja strojarske opreme energane sa stanovišta uključivanja energane u elektroenergetski sistem u toku sljedećih 10-15 godina.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za TE – TO Osijek

Naručitelj: Elektroslavonija — Osijek

Nosioci zadatka: Mato Cvitanović, dipl. ing.
Vladimir Bradač, dipl. ing.

U toku 1983. godine provedene su aktivnosti osiguranja kvalitete pri izradi i montaži strojarskih komponenata prema »Programu kontrole i osiguranja kvalitete« izradenom u Institutu za elektroprivredu — Zagreb.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za HE Čakovec

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, RZ za izgradnju HE Čakovec

Nosioci zadatka: Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.

Godine 1983. završio je šestogodišnji angažman Instituta za elektroprivredu na poslovima osiguranja kvalitete u toku izrade i montaže strojarske opreme za HE Čakovec. U toku posljednje godine angažmana sredivao se i pripremio paket atestne dokumentacije koji je prikupljen za vrijeme praćenja izgradnje. Sreden, sistematiziran i ocijenjen paket dokumentacije poslužio je naručitelju za potrebe tehničkog prijema elektrane i ishodenja uporabne dozvole od nadležne republičke institucije.

Osiguranje kvalitete strojarske opreme za RHE Obrovac

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije

Nosioci zadatka: Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.

U toku 1983. god. nastavljene su aktivnosti osiguranja kvalitete pri izradi strojarskih komponenata za RHE Obrovac. Kontrola kvalitete izvođena je prema »Programu osiguranja kvalitete« izradenom u Institutu za elektroprivredu, a obavljena je kod pojedinih isporučioca opreme.

Ispitivanje cijevi generatora pare NE Krško prije i poslije ekspandiranja cijevi

Naručitelj: Westinghouse Nuclear International

Nosioci zadatka: Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
sa suradnicima

Za američku tvrtku Westinghouse NI provedeno je u NE Krško u toku prve izmjene goriva ispitivanje oko 700 cijevi u svakom generatoru pare pomoću metode visokofrekventnih vrtložnih struja. Osim toga, neposredno nakon obavljenog ekspandiranja oko stotinjak cijevi u predgrijačkoj sekciji cijevnog snopa svakog generatora pare, obavljeno je dodatno ispitivanje ekspandiranih cijevi. Cijeli ovaj složeni zadatak obuhvatio je sljedeće aktivnosti:

- organizaciju ispitivanja
- osiguranje mjera zaštite od zračenja
- uvježbavanje osoblja za montažu opreme u generatoru pare na specijalnom modelu
- pripremu

— provjeru i montažu opreme
— baždarenje te ispitivanje koje se provodilo 24 sata na dan.

Paralelno s ispitivanjem vršena je interpretacija rezultata, koju su zajednički obavili Institut za elektroprivredu i američka tvrtka Zetec Inc.

Praćenje projekta ekspandiranja cijevi generatora pare NE Krško

Naručitelj: NE Krško

Nosioci zadatka: Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.

Za vrijeme prve izmjene goriva u NE Krško američka tvrtka Westinghous NI radila je na projektu ekspandiranja cijevi predgrijačke sekcije generatora pare br. 1 i br. 2. U svakom generatoru pare ekspandirano je oko stotinjak cijevi na mjestu druge i treće potporne ploče na hladnoj strani cijevnog snopa. Zbog složenosti cijelog projekta, koji je osim ekspandiranja uključio i ultrazvučna ispitivanja ekspandiranih cijevi, te mjerenja veličine i točnosti ekspandiranih cijevi, NE Krško je angažirala Institut za praćenje odvijanja cijelog projekta. Nakon završetka projekta Institut je o obavljenom poslu izradio izvještaj sa stručnom ocjenom.

Ispitivanje strojarske opreme NE Krško tokom prve izmjeme goriva

Naručitelj: NE Krško

Nosioci zadatka: Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
sa suradnicima

U skladu sa zahtjevima američkog propisa ASME B & PV Code Sec. XI pripremljen je desetogodišnji program ispitivanja cjevovoda, posuda, pumpi i izmjenjivača topline klase 1, 2 i 3 prema kojem će se u toku desetogodišnjeg intervala ispitati svake godine određeni postotak zavara, dijelova komponenata i vijčanih spojeva u NE Krško. Na bazi ovog programa u toku 1983. g. obavljeno je bezrazorno ispitivanje dijelova reaktorske posude, kućišta generatora pare, tlačnika, CS izmjenjivača topline, RH pumpe, te cjevovoda i zavješenja primarnog i sekundarnog kruga. Cijeli projekt ispitivanja podijeljen je u tri faze: pripremu, ispitivanje i izradu završnog izvještaja. U fazi pripreme definiran je detaljan plan, program i opseg ispitivanja, definirani su zahtjevi vezani za pripremu ispitnih mjesta, zaštitu osoblja vezanu uz rad u području s ionizirajućim zračenjem, pripremu i reviziju pisanih postupaka za ispitivanje, baždarenje opreme za bezrazorna ispitivanja, te uskladivanje terminskog plana ispitivanja s ostalim aktivnostima koje su se provodile u elektrani za vrijeme remonta i izmjene goriva. U fazi ispitivanja za vrijeme remonta obavljena su ultrazvučna, površinska i vizualna ispitivanja komponenata definiranih programom. Prema potrebi, program ispitivanja se proširivao i dopunjavao ovisno o nalazima prethodno definiranog opsega ispitivanja. Po završetku ispitivanja naručitelju je predan preliminarni izvještaj radi remonta. Sva mjesta gdje su provedene korektivne akcije, ponovno su ispitana, kako bi se snimilo stanje zavarenog spoja ili komponente nakon obavljenih popravaka ili dorade. Tri mjeseca nakon završetka ispitivanja predan je naručitelju završni izvještaj o obavljenom ispitivanju s ocjenom stanja ispitanih dijelova primarnog i sekundarnog kruga.

Ispitivanje generatora pare NE Krško prema NRC REG. GVIDE 1.83

Naručitelj: NE Krško

Nosioci zadatka: Mijo Martinko, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.

U skladu sa zahtjevima američkog propisa NRC R. G. 1.83 potrebno je u toku životnog vijeka NE Krško pratiti homogenost cijevnog snopa svakog generatora pare tako da se svake godine ispita minimalno 3% cijevi u svakom generatoru pare. U tom smislu je obavljeno za vrijeme prve izmjene goriva u NE Krško osim izvanrednog ispitivanja za Westinghouse NI i redovno ispitivanje koje se zahtijeva referentnom tehničkom regulativom. Program ispitivanja pri prvoj izmjeni goriva obuhvatio je nešto više od 3% cijevi po generatoru pare s obzirom na to da su u opseg ispitivanja uključene i sve one cijevi koje su imale izvjesnu degradaciju debljine stijenke, a koja je pronađena prilikom prethodnih izvanrednih ispitivanja cijevnog snopa. Paralelno s ispitivanjem provedena je interpretacija rezultata, tako da je prije zatvaranja generatora pare naručitelj imao uvid u homogenost ispitanih cijevi i mogućnost eventualnih korektivnih zahvata. Završni izvještaj predan je naručitelju tri mjeseca nakon provedenih mjerenja.

Ispitivanje kondenzatora i visokotlačnih zagrijača napojne vode u NE Krško

Naručitelj: NE Krško

Nosioci zadatka: Mijo Martinko, dipl. ing.
Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Marino Balog
sa suradnicima

U toku 1983. god. nastavljena je praksa kontinuiranog praćenja homogenosti cijevnih snopova izmjenjivača topline na klasičnom dijelu postrojenja NE Krško. Tako je u toku redovnog godišnjeg remonta elektrane obavljeno ispitivanje metodom vrtložnih struja na kondenzatorima i visokotlačnim zagrijačima napojne vode. U tom smislu je pripremljen program rada za svaku komponentu za čiju su osnovu poslužili rezultati dotadašnjih ispitivanja i postotak broja oštećenih cijevi. Na bazi tako definiranog programa ispitano je oko 10% cijevi kondenzatora i oko 25% cijevi visokotlačnih zagrijača napojne vode. Paralelno s ispitivanjem obavljana je interpretacija rezultata tako da je naručitelj mogao poduzimati korektivne akcije prije zatvaranja zagrijača. Analiza rezultata dana je u završnom izvještaju.

Ispitivanje turbine u TE Sisak

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, OOUR TE Sisak

Nosioci zadatka: Zoran Kuljiš, dipl. ing.
Marino Balog, dipl. ing.
Mato Cvitanović, dipl. ing.
Mijo Martinko, dipl. ing.
sa suradnicima

Za vrijeme redovnog godišnjeg remonta TE Sisak obavljeno je bezrazorno ispitivanje dijelova turbine 210 MW. Ispitivanja su provedena na kućištu i rotoru turbine, te brzozatvarajućem ventilu. Ispitivanja su provedena slijedećim bezrazornim metodama:

— ultrazvukom
— tekućim penetrantima
— magnetskim česticama
— vizualnim pregledom.

Završnim izvještajem prezentirani su rezultati provedenih mjerenja.

Consalting i engineering – usluge na snižavanju tehničkog minimuma bloka 1 u TE Sisak

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb, OOUR TE Sisak

Nosilac zadatka: dr Dubravko Matanić, dipl. ing.

U toku 1983. god. nastavljena je dugogodišnja suradnja Instituta i TE Sisak na problematici snižavanja tehničkog minimuma bloka 1. Dosadašnji rad u suradnji sa sovjetskim stručnjacima rezultirao je ispitivanjima koja su u potpunosti opravdala prihvaćenu koncepciju. Daljnji rad odvijat će se na području ispitivanja i prikupljanja podataka za rješavanje kompletne opreme za mjerenje, regulaciju i upravljanje za povećani dijapazon regulacije.

Garancijska, normativna i pogonska ispitivanja energetske opreme

Naručitelji: Razni

Izvršitelji: Radnici Studijske jedinice za termoenergetske sisteme

Poznavanje stvarnog stanja energetske opreme postrojenja i poznavanje stvarnih karakteristika procesa energetskih pretvorbi unutar ciklusa veoma su važne činjenice na osnovu kojih je moguće provoditi analize ekonomičnosti rada termoenergetskih objekata, te utvrditi efikasnost energetskih pretvorbi unutar samog ciklusa. Ovi podaci su značajni ne samo za pogonske potrebe, nego su bitni i za društvenu zajednicu u širem smislu. Poznavanjem stvarnih karakteristika pojedinih postrojenja mogu se provoditi i analize najekonomičnije ra-

spodjele snaga s obzirom na troškove proizvodnje električne i toplinske energije.

Najpouzdaniji način utvrđivanja ovih pokazatelja jesu provedbe normativnih, garancijskih i kontrolnih pogonskih ispitivanja, instrumentacijom koja svojom klasom i pouzdanošću znatno premašuje zahtjeve pogonske instrumentacije.

Institut za elektroprivredu već niz godina provodi ovakva ispitivanja. Danas raspolaže opremom za automatsko prikupljanje i obradu mjerenih vrijednosti, koja uključuje kontrolne mjerne instrumente kompatibilne s mjernom centralom. Ovakav pristup u koncepciju mjerenja omogućuje prezentaciju rezultata mjerenja na samom mjestu u zahtijevanoj formi od naručioca. Navedena oprema se u toku 1983. god. koristila pri mjerenjima u termoenergetskim postrojenjima.

STUDIJ HIDROTEHNIČKIH SISTEMA

Opravdanost primjene suhih rashladnih tornjeva na termoenergetskim objektima u SAP – Kosovo (Građevinsko – Hidrotehnički dio)

Naručitelj: »Đuro Đaković«, RO Fabrika vazduhom hlađenih izmjenjivača toplote u osnivanju — Urošević

Autori: Boris Štajer, dipl. ing. građ.
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing. građ.

U građevinsko-hidrotehničkom dijelu studije dan je prikaz hidroloških karakteristika i uređenosti voda i zemljišta po porječjima, s naglaskom na područja od interesa za lociranje termoenergetskih postrojenja. Za područja potencijalnih lokacija analizirane su potrebe i mogućnost vodoopskrbe u dva vremenska presjeka: 1985. god. i 2000. god. Predloženo je nekoliko varijanti koncepcije rješenja vodoopskrbe, a u okviru ekonomskih obrada definirani su investicijski troškovi za svaku od varijanti, kao i specifične investicije po m^3 osigurane količine vode.

Opseg: 61 stranica s 31 tablicom i 3 slike, te 5 grafičkih priloga.

Studija varijantnih rješenja sanacije zahvata rashladne vode TE – TO Zagreb

Naručitelj: »Elektroprivreda Zagreb« OOUR »Termoelektrana – Toplana« Zagreb

Autori: mr Mladen Petričec, dipl. ing. građ.
Boris Štajer, dipl. ing. građ.
Aleksander Russo, dipl. ing. građ.
Ljiljana Aleksić, dipl. ing. građ.

U studiji je tretiran problem opskrbe TE – TO Zagreb potrebnim količinama glavne rashladne vode u uvjetima ekstremno niskih vodostaja i promjenjene morfologije korita r. Save. U skladu s mišljenjem Vodoprivrede i planovima razvoja Elektroprivrede, te na osnovi provedenih hidroloških, morfoloških i hidrauličkih analiza, definirana su varijantna tehnička rješenja sanacije zahvata i kroz komparativne tehničko-ekonomske analize predloženo najpovoljnije od njih.

Opseg: 66 stranica, 10 tablica i 9 slika te 16 priloga.

Analiza velikih voda Dunava i Drave za potrebe NE – SLAVONIJA

Naručitelj: Elektroslavonija, Osijek

Autori: mr Mladen Petričec, dipl. ing. građ.
Krešimnir Plantić, dipl. ing. građ.
Irena Pavić, dipl. ing. građ.
vanjski suradnici

Radi definiranja projektne velike vode za NE – Slavonija analizirane su nepovoljne hidrološke pojave na širem području lokacije. Hidrološka analiza provedena je na osnovi zabilježenih podataka vodomjernih stanica Bezdan i Bogojevo na Dunavu i Donji Miholjac na Dravi. Za definiranje sigurnosnog platoa NE odabrana je velika voda 10 000 godišnjeg povratnog perioda s nivoom povjerenja od 95%. Analizirane su i moguće nepovoljne situacije u budućnosti nakon provedenih regulacija Dunava i izgradnje hidroenergetskih objekata uzvodno od lokacije NE.

Opseg: 107 stranica teksta sa slikama i 150 priloga.

Ostali radovi

Naručitelj: »Elektroprivreda Zagreb«, vodoprivredne i druge organizacije

Autori: kolektiv Studijske jedinice za hidrotehničke sisteme

Na zahtjev elektroprivrednih i drugih organizacija obavljene su u toku 1983. godine razne aktivnosti od kojih se navode neke opsežnijeg karaktera:

- koordinacija nad aktivnostima provedenim radi urgentnog rješenja problema opskrbe TE – TO Zagreb potrebnim količinama glavne rashladne vode pred početak ogrjevne sezone 1983/84. god.
- suradnja s OVP – Zagreb na izreadi dijela izvedbene tehničke dokumentacije za prag u koritu r. Save, kao mjere za poboljšanje dotoka vode u crpnu stanicu TE – TO Zagreb
- nadzor nad radovima i kontinuirano praćenje efekata izgradnje praga u koritu Save.

Studija utjecaja zahvata podzemne vode TE – TO na postojeće i planirane vodoopskrbne objekte u širem području TE – TO

Naručitelj: »Elektroprivreda Zagreb«, OOUR »Termoelektrana – Toplana« Zagreb

Autori: Đuro Hatić, dipl. ing. građ.
Ljiljana Aleksić, dipl. ing. građ.

Suradnja s Građevinskim institutom Zagreb

Na osnovi rezultata simuliranja strujanja podzemne vode i određivanja vremenskog trajanja putovanja infiltrirane vode od konture napajanja do mjesta zahvata definiran je utjecaj predviđenog zahvata podzemne vode na izdašnost postojećih i planiranih vodoopskrbnih objekata u širem području TE – TO. Dana je i ocjena kvalitete podzemne vode koja se zahvaća za potrebe TE – TO. Naručiocu je predloženo rješenje vodoopskrbe TE – TO i dan prijedlog za daljnja istraživanja.

Opseg: 49 stranica teksta i 14 priloga.

Rješenje sanacije slapišta evakuacionih organa HE Ozalj II

Naručitelj: »Elektra« Karlovac, OOUR HE Ozalj

Autori: Krunoslav Klak, dipl. ing. građ.
Ljiljana Aleksić, dipl. ing. građ.

U okviru elaborata definirano je stanje slapišta, predložena tehnička rješenja i proračunati su troškovi njegove sanacije.

Opseg: 14 stranica teksta i 5 priloga.

Hidrološka studija i rješenje odvodnje desnoobalnih pritoka Drave — Prvi dio (knjiga 1-3)

Naručitelj: Elektroslavonija, Osijek
VRO Drava – Dunav, Osijek

Autori: Đuro Hatić, dipl. ing. grad.
Krunoslav Klak, dipl. ing. grad.
Irena Pavić, dipl. ing. grad.

U elaboratu je dan pregled prikupljenog i sistematiziranog postojećeg hidrološkog materijala o svim stanicama desnoobalnih pritoka r. Drave, od ušća u Dunav do ušća Mure. Sređeni i obrađeni su podaci srednjih dnevnih vodostaja i protoka za ukupno 41 stanicu hidrološke mreže u slivu r. Drave.

Elaborat sadrži oko 100 stranica teksta sa 60 grafičkih priloga, 39 tabličnih prikaza i oko 650 stranica kompjutorskog lista.

STUDIJ VISOKONAPONSKE OPREME I PRIJENOSNIH MREŽA

Prijenosna mreža SR Hrvatske za 1990, 1995. i 2000. godinu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1983. godine

Ova je studija izrađena za donošenje petnaestogodišnjeg plana razvoja elektroprivrede Hrvatske, i to u dijelu koji se odnosi na izgradnju prijenosne mreže u razdoblju 1900-2000. godina. mreža 110 kV analizirana je za presjek opterećenja koji se očekuje 1990. godine, dok su se 1995. i 2000. promatrale samo kroz superponiranu 400 kV i 220 kV mrežu. U 2000. godini mreža je definirana u ovisnosti o alternativama lokacije nuklearne elektrane u Hrvatskoj.

Studija je dala potrebne parametre o veličini izgradnje mreže, a što se tiče 110 kV mreže poslije 1990. godine dane su tendencije razvoja. U studiji je dan osvrt na polazna elektroenergetska stanja kao i rekapitulaciju dosada izrađenih novijih studija s tom problematikom.

Opseg rada: 129 stranica, slike, protokoli s elektroničkog računala.

Analiza pogonskih stanja i postupak puštanja u pogon južnog poteza 380 kV mreže na dijelu od Mostara do Divače

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1983. godine.

Stavljanje 380 kV dionice Konjsko — Melina pod nominalni napon rezultiralo je kvarovima i previsokim naponima u 400 kV mreži, pa je zato vod stavljen pod napon 220 kV. Ulazak RHE Obrovac u pogon traži vraćanje napona na 400 kV, pa je za tu situaciju istraživan i predložen najbolji način prvog stavljanja voda pod napon.

Istovremeno istražena je opća naponska slika elektroenergetskog sistema Jugoslavije i predloženo je niz praktičnih i realnih mjera kako bi se njome ovladalo.

Opseg rada: 98 stranica, slike i protokoli s elektroničkog računala

Istraživanje prilika u 110 kV mreži pri proizvodnom priključku TS 110/35 kV Željezara — Sisak

Naručitelj: Elektroprenos — Zagreb

Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u travnju 1983. godine.

U smanjenom opsegu izgradnja Željezara Sisak priključit će se provizorno na 110 kV mrežu. U studiji je analizirana pouzdanost provizornog priključka kao i veličina opterećenja Željezare koju takav priključak još zadovoljava.

Opseg: 8 stranica, slike i protokoli s elektroničkog računala.

Konfiguracija elektroenergetskog sistema SFRJ za studiju prijelaznih stanja u elektroenergetskom sistemu SFRJ kod uključenja NE Prevlaka u EES

Naručitelj: Elektrotehnički institut »Rade Končar«

Autor: Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1983. godine.

Za potrebe ispitivanja prijelazne stabilnosti NE Prevlaka dana je najvjerojatnija konfiguracija superponirane 400 kV i 220 kV mreže Jugoslavije s podacima o granama (vodovi, transformatori) i opterećenju čvorišta. Postavljeni sistem ispitan je sa stanovišta razdiobe opterećenja i naponskih prilika.

Opseg: 21 stranica, protokoli s elektroničkog računala.

Izbor potencijalnih mikrolokacija za lociranje nuklearnih elektrana na području Dalmacije — Elektroenergetski aspekti

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.

Završeno u veljači 1983. godine.

Za studiju »Izbor potencijalnih mikrolokacija za lociranje nuklearnih elektrana na području Dalmacije« izrađen je dio koji se odnosi na elektroenergetske aspekte pojedinih lokacija.

Studija je odgovorila kakve su mogućnosti priključka i kolike sa potrebne dužine priključnih vodova za pojedine lokacije, i to sa stajališta investicijskih troškova, kao i gubitaka snage u priključnim vodovima. Lokacije su ocijenjene i iz aspekta utjecaja okoline na priključne vodove. Valorizirana je postojeća izgrađenost sistema i indicije u potrebnim pojačavanjima, te položaj lokacije u odnosu na konzumna čvorišta podsistema.

Opseg: 33 stranice, slike i protokoli s elektroničkog računala.

Pouzdanost prijenosnog sistema — program NEVA

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: mr Boris Kalan, dipl. ing.

Završeno u rujnu 1983.

U prvom dijelu studije dan je pregled koncepcije pouzdanosti elektroenergetskog sistema, prvenstveno prijenosa, te metode i teorije za evaluaciju pouzdanosti i sigurnosti sistema.

U drugom dijelu dan je opis programa NEVA (Network Evaluation) koji je prilagođen za rad na računskom stroju Instituta, s prikazom analize jednog sistema te opisom svih potrebnih ulaznih podataka.

Opseg: 50 stranica, 17 slika, 1 tablica.

Ispitivanja i proračuni karakteristika kabela i trase kabela 110 kV od TS Jarun do TS Uklopna IX

II dio: *Proračuni konstanti kabela 110 kV i raspodjele početnih struja jednopolnog kratkog spoja na potezu TS Jarun — TS Uklopna IX*

Naručiitelj: »Elektra« Zagreb OOUR Projektni biro, Zagreb

Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing.,
mr Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1983.

Na temelju konkretnih podataka o izvedbi kabela, kao i podataka o utjecajima elektroenergetskog sistema na njegovim krajevima, izračunati su parametri direktne (inverzne) i nulte nadomjesne sheme, te su provedeni proračuni raspodjele struja jednopolnog kratkog spoja, kod neistodobnih kvarova na različitim mjestima duž trase kabela.

Opseg rada: 10 stranica teksta, 1 tablica, 2 slike, protokoli s elektroničkog računala.

Naponi opasnosti u dojavnim vodovima pod utjecajem elektroenergetskog voda 110 kV Matulji — Vinodol dionica Melina — Mavrinci — Rijeka

Naručitelj: Elektroprivreda Rijeka, OOUR »Elektroprenos« Opatija

Autor: dr Miroslav Jung, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1983.

Mjerenja napona opasnosti u dojavnim vodovima, pod utjecajem voda 110 kV Melina — Rijeka, provedena su radi provjere visokih računskih vrijednosti navedenih napona, iz projekta dalekovoda, kao i radi opravdanja primjene skupih mjera zaštite. Navedena mjerenja provedena su, kao niskonaponska, sa strujama reda veličine 120 A, te kao visokonaponska sa strujama reda veličine 7 000 A. Usporedba vrijednosti produkta meduinduktiviteta i rezultirajućeg faktora redukcije pokazuje, kod niskonaponskih mjerenja vrijednosti, koje su za 20 — 40 % niže od računskih vrijednosti, dok su kod visokonaponskih mjerenja vrijednosti za oko 50 % niže od vrijednosti dobivenih niskonaponskim mjerenjima, odnosno iznose 30 — 60 % naprijed navedenih računskih vrijednosti.

Apsolutne vrijednosti napona opasnosti, utvrdene visokonaponskim mjerenjima, nadalje pokazuju, da iste nigdje ne prelaze dvostruki iznos dozvoljenih vrijednosti, što znači da već ugradeni odvodnici prenapona pružaju dovoljnu zaštitu dojavnih vodova, odnosno da je primjena daljih mjera zaštite nepotrebna.

Opseg: 11 stranica teksta, 2 tablice, 6 oscilograma.

Uzemljenje i prenaponska zaštita zvjezdišta autotransformatora

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autori: dr Miroslav Jung, dipl. ing.
dr Ivo Hrs, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1983.

Prikazan je postupak — i matematička podloga programa NIZA — za proračun napona izoliranih zvjezdišta (auto) transformatora, kod jednopolnih kvarova na stezaljkama njihovih primarnih (serijskih) ili sekundarnih (paralelnih) namota. Potom su na temelju mjerenih vrijednosti direktnih (inverznih) i nultih impedancija autotransformtora 400/220 (110) kV, proizvodnje »Rade Končar«, ugradenih u naš elektroenergetski sistem, izračunate najviše moguće vrijednosti navedenih napona u redovitom pogonu i kod pogrešnih manipulacija u postrojenjima.

Provjera svojstava ugradenih odvodnika prenapona za zaštitu izoliranih zvjezdišta autoransformatora pokazuje da oni zadovoljavaju u redovitom pogonu, dok se kod pogrešnih manipulacija mogu na njima pojaviti prenaponi viših od njihovih proradnih napona. Stoga se u buduće preporučuje primjenjivati odvodnike, koji pružaju pouzdanu zaštitu i kod pogrešnih manipulacija u postrojenjima. Preporuke za izbor potonjih navedene su i obrazložene u studiji.

Opseg: 26 stranica teksta, 6 stranica priloga, 3 tablice, 48 slika.

Izmještanje DV 110 kV Osijek 2 — Beli Manastir na lokaciji RO »Standard«

Naručitelj: Dalekovodprojekt Zagreb

Autor: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1983.

Za potrebe proračuna utjecaja dalekovoda na TT linije i dimenzioniranje uzemljenja obavljen je proračun konstanata i raspodjele početnih struja jednopolnog kratkog spoja na DV 110 kV Osijek 2 — Beli Manastir.

Opseg: 11 stranica teksta sa slikama i tablicama i protokol s elektroničkog računala.

DV 110 kV Tvornice cementa Našice — Slavonska Požega

Naručitelj: Dalekovodprojekt, Zagreb

Autor: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u kolovozu 1983.

Rad obuhvaća proračun konstanata i raspodjele početnih struja jednopolnog kratkog spoja za dalekovode:

1. DV 110 kV Tv. cementa Našice — Slavonska Požega II
2. DV 110 kV Nova Gradiška — Slavonska Požega II
3. DV 110 kV Slavonska Požega I — Slavonska Požega II

Opseg: 17 str. teksta, 6 slika, 3 tablice, protokol s elektroničkog računala.

Paralelni rad generatora u Tvornici »Boško Buha«, Virovitica na mrežu 35 kV — proračun kratkog spoja

Naručitelj: »Đuro Đaković«, RO Inžinjering Slavonski Brod

Autor: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u rujnu 1983.

Uz paralelan rad generatora u Tvornici »Boško Buha«, Virovitica trebalo je kontrolirati mrežu na kratki spoj u postrojenju 35/6/0,4 kV tvornice šećera »Boško Buha«, Virovitica. Pri tome je proveden proračun udarnih, početnih, rasklopnih i trajnih struja tropolnog i dvopolnog kratkog spoja i jednopolnog kratkog spoja. Rezultati su za mrežu 35 kV prikazani u varijantama izolirane mreže i uzemljenje preko kovinskog otpornika za ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja nazivne struje 300 A u TS 110/35 kV Virovitica i Koprivnica.

Rezultati proračuna kratkog spoja pokazali su da je moguć paralelan rad energane TS 35/6/0,4 kV u tvornici šećera »Boško Buha«, Virovitica, s vanjskom 35 kV distributivnom mrežom.

Analiza rada distantne zaštite u rezervnom stupnju u visokonaponskoj mreži elektroprenosa Zagreb

Naručitelj: »Elektroprenos« Zagreb

Autor: mr Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1983.

Dosadašnji rad na području analize rada distantne relejne zaštite u rezervnom stupnju ukazao je na problem medunapajanja mjesta kvara, tako da u mnogo slučajeva distantna zaštita nema uvjeta za rad u nižim stupnjevima.

U ovom je radu proveden proračun primaranih impedancija koje mjere svi »susjedni« distantni releji, kao i pripadajućih faktora medunapajanja kada se promatraju kvarovi na bolesnom vodu. Proračuni obuhvaćaju stanje u trenutku nastupa kvara, kao i stanje nakon otvaranja jednog od prekidača koji neposredno štite bolesni vod. U okviru izloženog rada razvijen je novi program za računski stroj, koji brzo i efikasno obavlja proračun primarnih vrijednosti impedancija kod kvarova na bolesnom vodu.

Rezultati proračuna nalaze se u posebno uvezanom protokolu računskog stroja, a sastoje se od dva dijela koji obuhvaćaju proračune stanja u trenutku nastupa maksimalnog odnosno minimalnog tropolnog i jednopolnog kratkog spoja i ukazuju na teže prilike kod kvarova u 110 kV mreži u užem području mreže Elektroprenosa Zagreb.

Opseg: 10 stranica teksta, 4 slike i protokol s elektroničkog računala.

Ograničenje prenapona u sekundarnim krugovima visokonaponskih električnih postrojenja i problemi elektromagnetske kompatibilnosti

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: Ante Sekso, dipl. ing.

Završeno u rujnu 1983.

Ovaj rad predstavlja uvod u problematiku utjecaja elektromagnetske okoline unutar visokonaponskih postrojenja na različite vrste sekundarnih krugova. To je pokušaj uvodenja u našu praksu znanosti o elektromagnetskoj kompatibilnosti (EMC) koja uključuje poznati problem elektromagnetske interferencije (EMI).

U prvom poglavlju dane su definicije pojmova i pregled očekivanog nivoa tranzijentnih napona u sekundarnim krugovima. U drugom poglavlju dan je sažeti opis izvora prenapona u sekundarnim krugovima, a u trećem opisane su sve četiri vrste širenja poremećaja od izvora do sekundarnih krugova. U daljnjem poglavlju dan je pregled efekata tranzijentnih napona na elektromehaničke i poluvodičke releje i uredaje te na kompjutore koji sve više ulaze u sastav postrojenja. Peto poglavlje je najopsežnije i sadrži detaljan opis različitih pristupa i mjera za redukciju tranzijentnih napona. U posljednja dva poglavlja kratko su prikazane mjerne metode te stanje istraživanja na ovom polju kod nas i u svijetu.

U nastavku ovog rada detaljno će se razraditi metodologija mjerenja, a zatim će se mjerenja provesti u nekoliko postrojenja naše mreže 400 kV.

Opseg: ukupno 114 stranica sa 4 tablice, 42 slike i 48 referenci.

Zaštita od utjecaja morske soli na V. N. izolaciju objekata mreže »Elektroprenosa« Split

Naručitelj: »Elektroprivreda Dalmacije« Split, OOUR Elektroprenos — Split

Autor: Ante Sekso, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1983.

U priobalnom dijelu mreže »Elektroprenosa« — Split uočen je u posljednjim godinama negativan utjecaj taloženja morske soli na visokonaponske izolatore. Svrha ovog rada bila je da dade najpogodnije zaštitne mjere i smjernice za eksploataciju ugroženih objekata. Najveća pažnja posvećena je analizi svih aspekata primjene zaštitnih masti za premazivanje izolatora. Kao najpogodnije preporučene su zaštitne masti na bazi ugljikovodika WT 185 i WT 235 engleske proizvodnje. One po cijeni i trajnosti kudikamo nadmašuju domaće silikonske premaze. To su dokazala dosadašnja iskustva u kabelskoj kućici 110 kV Travno na otoku Hvaru. Od ostalih mjera preporučena su dodatna zaštitna rebra (booster sheds) kakva smo s uspjehom primijenili u TS Ražine. Takoder je dan opis niza ostalih zaštitnih mjera i pogonskih uputa.

U posljednjem poglavlju aktualizirana su pitanja mjerenja nivoa posolice ranije odabranim metodama. Kao prilog studiji dostavljen je Priručnik za upotrebu mjerača vodljivosti koji je preveden i obraden prema engleskom originalu.

Opseg: 54 stranice, slika 13, tablica 5, priručnik od 20 str.

Ispitivanje i ocjena stanja elektrotehničke opreme HE Gojak

Naručitelj: RO Elektroprivreda, Zagreb; OOUR HE Gojak, Ogulin

Autori: Josip Mužny, dipl. ing.
Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Suradnici: Đuro Juretić, tehn., Stjepan Zubić, tehn.

Završeno u studenom 1983.

U HE Gojak obavljeno je ispitivanje izolacije statora na sva tri generatora. Primijenjene su sljedeće mjerne metode: ispitivanje vidljivosti indeksa polarizacije i vremenske konstante pri niskom istosmjernom naponu 1 000 V, mjerenje faktora apsorpcije pri istosmjernom naponu do 1,5 U_n mjerenje tg δ u ovisnosti o naponu, kao i mjerenje parcijalnih izbijanja.

Osim toga, provedeno je ispitivanje izolacije rotora, kao i mjerenje impedancije namota rotora, takoder na sva tri generatora u HE Gojak. Osim na generatorima, ispitivanja su obavljena na svim energetskim transformatorima, kabelima 10 kV, mjernim transformatorima 110 kV na odvodnicima prenapona i sabirnicama 110 kV.

Na energetskim transformatorima provedeno je ispitivanje izolacije, ulja i magnetskog kruga.

Kabeli 10 kV ispitivani su podnosivim istosmjernim naponom. Na mjernim transformatorima provedeno je ispitivanje izolacije pri istosmjernom naponu 1 000 V, UI metodom.

Odvodnici prenapona ispitivani su na izmjenični proradni napon, primjenom visokonaponske prijevozne ispitne stanice. Sabirnice su takoder ispitivane podnosivim izmjeničnim naponom.

U elaboratu su objašnjene mjerne metode, prikazani rezultati mjerenja, obavljena analiza rezultata mjerenja, te dane preporuke za daljnju eksploataciju. Kao primjer izdvajamo da je utvrdeno loše stanje izolacije statora jednog generatora i da je preporučeno prematanje namota. Takoder je utvrdeno nekoliko loših mjernih transformatora 110 kV, ali istovremeno je utvrdeno da su mnogi od starih mjernih transformatora talijanske proizvodnje u još zadovoljavajućem stanju.

Opseg: 124 stranice, 83 tablice, 7 slika.

Ispitivanje i ocjena stanja elektrotehničke opreme TE Jertovec

Naručitelj: RO Elektroprivreda Zagreb, OOUR TE Jertovec

Autor: Josip Mužny, dipl. ing.

Suradnici: Đuro Stanković, dipl. ing.
Đuro Juretić, tehn.
Stjepan Zubić, tehn.

Završeno u ožujku 1983.

U TE Jertovec na tri generatora izvršena su sljedeća mjerenja karakteristika statorske izolacije: mjerenje otpora izolacije, indeksa polarizacije, vremenske konstante izolacije, specifične struje izbijanja, faktora apsorpcije, faktora dielektričkih gubitaka u ovisnosti o naponu te parcijalnih izbijanja u ovisnosti o naponu. Na rotorskim namotima mjeren je otpor izolacije, impedancije namota i omski otpor namota. Takoder su na sva tri generatora mjerene ležajne struje.

Na dva energetska transformatora obavljeno je mjerenje karakteristika izolacije: otpor izolacije, vremenska konstanta izolacije, specifična struja izbijanja, indeks polarizacije, te faktor dielektričnih gubitaka. Takoder je obavljena kontrola magnetskog kruga.

Iz rezultata mjerenja i uočene nedostatke dane su naručiocu upute za njihovo otklanjanje.

Opseg: 67 stranica, 34 tablice, 6 slika.

Istraživanje mogućnosti upotrebe kabela 110 kV položenih u mrežama Rovinja i Siska, za pogon pod naponom 20 kV

Naručitelj: Elektroistra Pula, Elektra, Sisak

Autor: Josip Mužny, dipl. ing.

Suradnici: Đuro Juretić, tehn.
Stjepan Zubić, tehn.
Svetolik Subotić, ing.

Završeno u siječnju 1983.

Rastom potrošnje električne energije pojavila se potreba uvodenja napona 20 kV u distributivnim mrežama. Osim ovih distributivnih mreža nazivnog napona 20 kV, i pojedini dijelovi sada postojećih 10 kV-nih mreža morat će se pregraditi na nazivni napon 20 kV. Kako bi se ta pregradnja ubrzala, a ujedno smanjilo početno investiciono ulaganje, potrebno je ustanoviti da li se kabeli 10 kV mogu staviti pod napon 20 kV. U tu svrhu iz mreža Siska i Rovinja uzeti su uzorci kabela 10 kV. Prethodna ispitivanja pokazala su da se ugradeni kabelski pribor 10 kV (glave i spojnice) u mrežama Siska i Rovinja ne može koristiti za napon 20 kV. Zbog toga je u suradnji s tvornicom TEP Zagreb razraden i konstruiran nov tip kabelskog pribora kako za kabele s izolacijom od impregniranog papira, tako i za izolaciju od krutog dielektrika (PVC). Na svaki uzorak kabela ugradena je po jedna spojnica te glava za vanjsku i unutrašnju montažu novokonstruiranog pribora. Uzorci su 8 sati zagrijavani na radnu temperaturu i 16 sati ohladeni na temperaturu okoline. Na uzorke je neprestano bio narinut napon. Naponi su birani tako da se dobiju različite veličine maksimalnog električkog polja u izolaciji. Najniži ispitni napon iznosio je 24 kV. Uzorci su držani pod naponom do proboja. Tokom ispitivanja praćeno je stanje izolacije kabela odgovarajućim ispitivanjima. Iz rezultata provedenih ispitivanja proizlazi da se kabeli s PVC izolacijom nazivnog napona 10 kV neupotrebljivi u 20 kV-tnoj mreži. Kabele s izolacijom od impregniranog papira nazivnog napona 10 kV može se staviti pod napon 20 kV uz smanjenje životne dobi na nekoliko godina. S obzirom na nužnost promjene kabelskog pribora potrebno je za svaki kabelski vod izraditi ekonomsku analizu prije odluke o njegovoj pripremi za prijelaz na napon 20 kV.

Opseg: 31 stranica, 15 tablica, 13 slika.

Uzroci preobilnog vlaženja cijevnih generatora HE »Čakovec« i njegovog utjecaja na stanje funkcionalnih i konstruktivnih komponenti generatora

Autori: dr Fedor Šprung, dipl. ing.,
Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Suradnici: Pal Zahorec, dipl. ing.
Dimitrije Avedjev, dipl. ing.
Tomislav Veselić, ing.

Završeno u siječnju 1984.

Cijevni generatori HE »Čakovec« smješteni su u podvodnim kapsulama s povišenim tlakom rashladnog zraka. Ovakva izvedba primijenjena je prvi put u našoj zemlji te su bile nepoznate specifične okolnosti koje se pojavljuju u režimu rada ovakvih generatora. Nalaženje brzog rješenja otežavala je i činjenica da su se poteškoće javljale pretežno na samo jednom od dva generatora, a zabrinjavajuće pojave unutarnjeg rošenja kapsule primjećivale su se na oba generatora u toku radova na njima.

Studija je razjasnila okolnosti radi kojih dolazi do rošenja u kapsulama, razradila kvantitativne zakonitosti relevantne za ove pojave, eksperimentalno odredila konstante pojedinih aparatura za koje sudjeluju u održavanju konstantnog tlaka u generatorskim kapsulama, a koje su važne za neposrednu primjenu razrađenih zakonitosti na ovaj slučaj.

Na osnovi razrađenih zakonitosti i izmjerenih konstanti i poznatih meteoroloških uvjeta u okolici HE »Čakovec« određen je najveći dozvoljeni gubitak zraka kapsule generatora pod tlakom u ovisnosti o svojstvima aparata za koje sudjeluju u održavanju tog tlaka.

Provedena mjerenja svojstava izolacije statorskog namota ispitivanog generatora upućuju na izvantehnološke razloge u proizvodnji i potrebu pažljivijeg sušenja izolacije ovih strojeva, prilagođenog uvjetima i mogućnostima koje pružaju specifičnosti ovih generatora.

Opseg: 113 stranica, 27 slika, 3 priloga i 6 tablica.

Aktivnosti na programu osiguranja kvalitete za I & C opremu na NE Krško

Autori: Dimitrije Avdejev, dipl. ing.,
mr Boris Kalan, dipl. ing.

Poslovi na programu osiguranja kvalitete za I & C opremu su se odnosili na pogon NE Krško i remont. U pogonu su izvršene aktivnosti za vrijeme održavanja, testiranja, modifikacija i popravaka, kao i pregled pogonskih procedura, a u remontu se pratilo izvršenje i kvaliteta radnih naloga kod izmjene goriva, rekalibracije instrumenata, glavni kompjutor, dizel–generatori i »start-up« testovi od 0 do 100% snage. Uz to se obavljao pregled tehničke i atestne dokumentacije. Izdano je stručno mišljenje za početak rada NE Krško, a obavljeni su i poslovi oko izdavanja zbirne stručne ocjene za inspekcijske službe.

Dokumentacija osiguranja kvalitete elektrotehničke opreme RHE »Obrovac«

Naručitelj: »Elektroprivreda« Dalmacije

Izvršioci: dr Fedor Šprung, dipl. ing.,
Pal Zahorec, dipl. ing.

Na temelju programa osiguranja kvalitete, koji je ranije izrađen i usklađen s investitorom i proizvođačem, obavljena su ispitivanja rotacionih strojeva predviđena programom.

Program je djelomično revidiran na inicijativu proizvođača i po nalogu investitora, a u vezi sa skraćenjem roka isporuke.

Obavljen je pregled dokumentacije o kvaliteti lima lančanog prstena, lima jezgre pola, bakra za statorske i rotorske namote i lima statorskog paketa, kao i dokumentacije o izradi segmenata za statorski paket, koliko su od utjecaja na funkcionalna svojstva generatora u pogonu. Obavljena je kontrola ispitivanja štapova statorskih namota ugrijavanja statorskih paketa, namota statora i polova rotora, te provjerena dokumentacija.

Obavljeni su poslovi nostrifikacije dokumentacije firme »Simelectro« za oklopljene sabirnice za ovu elektranu i revizije kriterija za preuzimanje elemenata oklopljenih sabirnica u vezi sa stečenim iskustvima.

Osiguranje elektrotehničke opreme za TE–TO Osijek

Naručitelj: »Elektroslavonija« Osijek

Izvršitelji: dr Fedor Šprung, dipl. ing.,
Pal Zahorec, dipl. ing.

U toku 1983. godine obavljene su aktivnosti osiguranja kvalitete prilikom izrade i montaže elektrotehničkih komponenti opreme i montaže elektrotehničkih komponenti opreme za ovaj objekt, prema programu kontrole i osiguranja kvalitete izrađenom u ovom Institutu.

Program osiguranja i kontrole kvalitete uređaja i sistema regulacije termoenergetskih jedinica na tekuća, plinovita i kruta goriva

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske

Autor: mr Boris Kalan, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1983.

U studiji su obrađeni propisi i standardi (DIN, VDI/VDE, IEC, ASMEPTC) za provjeru funkcionalnosti i kvalitete dijelova regulacionog kruga kao što su regulator i izvršni uređaj. Također je obrađena metoda za ispitivanje zatvorenog regulacionog sustava na objektu u pogonu, kao i zahtjevi za primopredajno ispitivanje regulacionih sustava generatora pare (str. 85, sl. 13).

Ispitivanje uzemljenja TS 110/20 kV Lovran — analiza utjecaja dozemnog kratkog spoja na okolinu

Naručitelj: Elektroprenos Opatija

Autor: Dragutin Mihalic, dipl. ing.

Suradnici: Đuro Juretić, tehn.
Svetolik Subotić, ing.
Tomislav Veselić, ing.
mr Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1983.

Pri ispitivanju uzemljenja i analizi utjecaja dozemnog kratkog spoja u TS 110/20 kV Lovran najprije je analiziran projekt uzemljenja. Pronađen je pogrešan proračun mjerodavne struje za napone dodira, kao i gruba greška pri termičkom dimenzioniranju uzemljivača. U studiji su nadalje razmatrane prilike u postojećoj i planiranoj mreži, prema dostupnim podlogama. Proračunom na električkom računalu izračunata je struja jednopolnog kratkog spoja za sve predvidive varijante i veličine mreže.

Prezentiran je način određivanja i učinjen proračun mjerodavne struje za napone dodira za sve varijante mreže.

Uspoređene su odredbe naših i VDE propisa o termičkom dimenzioniranju uzemljivača. Pokazano je da odabrani presjek bakrenog užeta zadovoljava odredbe VDE propisa, dok odredbe naših (zastarjelih) zadovoljava samo za sadašnje stanje mreže. Provedena su ispitivanja uzemljivača UI metodom i utvrđeni su potrebni parametri.

Utvrđeno je nekoliko mjesta s previsokim naponima dodira, kao i nedovoljan utjecaj potencijalnog lijevka uzemljivača TS Lovran na distributivnu mrežu 0,4 kv (na nul-vodič). Mjerenjima i analizom prilika pokazano je da nema direktne opasnosti za ljude, ali da postoji velika opasnost za kućanske aparate.

Na kraju su dane preporuke za uklanjanje svih nedostataka, a posebno za uklanjanje utjecaja na NN mrežu.

Opseg: 56 stranica, 16 slika, 12 tablica.

Istraživanje uzemljivača mreže 35 kV grada Osijeka, uzemljenje preko malog otpora, napajanje iz TS 110/35 kV Osijek 1 i TS 110/35 kV Osijek 2

Naručitelj: Elektroslavonija Osijek, OOUR Elektrodistribucija Osijek

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Suradnici: Svetolik Subotić, ing.
Irislav Drezga, dipl. ing.

Završeno u veljači 1983. g.

Kontrola mjerenja potencijala uzemljivača obavljena je U-I metodom kod sniženog napona na svih 12 transformatorskih stanica 35-kV mreže grada Osijeka. Iz 5 trafo-stanica izlazi niski napon (napajanje konzuma 0,4 kV), pa su učinjena i dodatna mjerenja

Dodatna mjerenja napona dodira i koraka te eventualne preporuke za korekciju uzemljivača izvršena su na svim trafo-stanicama s nadzemnim vodovima 35 kV.

Kratki spoj napajan je niskim naponom iz dviju pojnih točaka TS 110/35 Osijek 1 i TS 110/35/10 kV Osijek 2, kao u stvarnom pogonu, gdje će zvjezdište mreže

35 kV biti uzemljeno preko malog otpora. Iz raspodjele struja kroz plašt kabela i zemlju dobiveni su i stvarni redukcioni faktori kabela oznake IPZO-13.

Na temelju rezultata studije, s obzirom na to da nisu potrebne korekcije uzemljivača (uz brzo isključenje struje kvara), te činjenice da nivo unutarnjih prenapona značajno opada sa smanjenjem veličine otpora u zvjezdištu, predloženo je ograničenje struje jednopolnog kvara na 1 000 A za kabelsku i zračnu mrežu 35 kV grada Osijeka.

Opseg: 37 st anica, 13 nacrta.

Mjerenje raspodjele potencijala na uzemljivaču i okolici Tvornice umjetnih gnojiva INA – Kutina i TS 110/10 kV te smjernice za eventualnu korekciju uzemljivača

Naručitelj: INA – Petrokemija Kutina

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Suradnici: Dimitrije Avdejev, dipl. ing.
Stjepan Zubić, teh.
Ivan Konfic, teh.

Završeno u lipnju 1983. g.

Nakon izgradnje tvornice umjetnih gnojiva INA – Kutina 2 obavljeno je kompletno ispitivanje međusobno povezanih sljedećih uzemljivača:

— glavnog uzemljivača TS 110/10 kV Kutina 1
— glavnog uzemljivača Tvornice umjetnih gnojiva Kutina 1
— glavnog uzemljivača Tvornice umjetnih gnojiva Kutina 2
— glavnog uzemljivača postrojenja fluorovodične kiseline.

U elaboratu su dani otpori uzemljivača mjereni U-I metgodom, raspodjela potencijala s ucrtanim padom potencijala od glavnog uzemljivača od vrijednosti 100% do 0%, kao i rezultati mjerenja napona dodira i koraka, unutar i izvan ograde postrojenja.

Rezultati mjerenja ovako velikog i rasprostranjenog uzemljivača na zemljištu dobre vodljivosti (oranica) pokazali su da je uzemljivač dobro dimenzioniran za slučaj najnepovoljnijeg jednopolnog kratkog spoja.

Opseg: 22 stranice, 10 nacrta.

Ispitivanje specifičnog otpora tla duž trase 110 kV kabela od TS Jarun do TS Uklopna IX

Naručitelj: Elektra – Zagreb, OOUR Projektni biro — Zagreb

Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Suradnik: Tomislav Veselić, ing.

Završeno u kolovozu 1983. g.

Povezivanje na mrežu 110 kV buduće TS 110/20 kV EL-TO (Uklopna IX, Zagorska 1) isprojektirano je kabelom nazivnog napona 110 kV od TS 110/30 kV Jarun.

Uzduž trase od 3 800 m mjerenje specifičnog električnog otpora tla izvršeno je na dubini 1, 2 i 10 m na 22 mjesta ili prosječno na svakih 173 m.

Na početku i na kraju trase kabela mjerenje je osim dubina 1, 2 i 10 m obavljeno još i na dubinama 25 i 40 m. Mjerenje specifičnog električnog otpora tla izvršeno je Schlumbergerovim rasporedom elektroda.

Opseg: 23 stranice, 8 nacrta.

Istraživanje uzemljivača TE Sisak

Naručitelj: Elektroprivreda — Zagreb
OOUR Termoelektrana — Sisak

Autori: Josip Kučak, dipl. ing.

Suradnici: Tomislav Veselić, ing.
Stjepan Zubić, tehn.
Ivan Konfic, teh.

Završeno u listopadu 1983.

Uzemljivač termoelektrane Sisak smješten je između desne obale rijeke Save i postrojenja INA-Rafinerija Sisak.

Metalni cjevovodi za vodu od pumpnih stanica Sava prolaze preko postrojenja termoelektrane posebno za Rafine: i i posebno za Željezaru Sisak (dužine 3,4 km).

Međusobna povezanost uzemljivača i utjecaj potencijala u najnepovoljnijem slučaju jednopolnog kratkog spoja kontrolirana je mjerenjem raspodjela potencijala i mjerenjem napona dodira i koraka unutar i izvan ograde elektrane.

Rezultati mjerenja u potpunosti zadovoljavaju tehničke propise, čak su na nekim mjestima naponi dodira znatno manji od onih izmjerenih 1976. g. nakon izgradnje druge faze, što se može protumačiti boljim spojem između zemlje i položenog uzemljivača zbog slijeganja zemlje, kao i povezivanjem metalnih masa, npr. na taložniku u Željezari Sisak.

Opseg: 18 stranica, 7 nacrta.

Ispitivanja prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom

Naručitelj: Elektroprivredne organizacije SRH

Posljednjih nekoliko godina Institut za elektroprivredu se, uz pomoć elektroprivrednih organizacija 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 osnovni 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 uglavnom se ispituju jednominutni podnosivi naponi opreme i ispravnost odvodnika prenapona, a istosmjernim se 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 provođena su u 1983. godini mnogobrojna ispitivanja odvodnika prenapona i izolacione čvrstoće opreme u elektroprivrednim postrojenjima, pa je potvrđena njena velika praktična vrijednost.

RAZNI RADOVI

Naručitelj: Elektroprivredne i druge organizacije

Autori: 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

Ispitivani 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 ispitivati svakih šest mjeseci, a ako su neupotrijebljene 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 između VN 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 naručitelj je od Instituta dobio atest za ispitivani proizvod.

Ispitivanje odvodnika prenapona obuhvaća kontrolu izmjeničnog i udarnog proradnog napona.

U sklopu ovih ispitivanja obavljena su i dodatna ispitivanja odvodnih prenapona udarnim naponom u laboratoriju s obzirom na to da 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 prednost 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 jakom strujom i dovoljno visokim naponom propaliti kabel dok se na povređenom mjestu ne postigne karbonizirani spoj minimalnog otpora. Nakon toga nije teško odrediti mjesto pogreške bilo kojom poznatom metodom.

Prema tome, uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela napona 10 kV poslije polaganja. On također omogućuje brzo i točno pronalaženje mjesta pogreške u kabelima bilo kojom od poznatih metoda, a može se upotrijebiti u granicama svojih karakteristika i u druge svrhe.

Uređaj za ispitivanje kabela IPKN-1

Ovaj uređaj namijenjen je za ispitivanje 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-1 000 A ili IR-2 000 A).

Uređaj IR-UZ

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i podešavanje sekundarnih usmjerenih nadstrujnih, zemljospojnih i sličnih releja i njihovih vremenskih članova.

Uz dodatak IR-1 000 i IR-2 000 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-1 000 A i IR-2 000 A i više

Ovi uređaji su dodatni uređaji za IR-2S 50 A i IR-UZ, pa imaju kontinuiranu regulaciju i mjerenje stanja do 1 000 A, 2 000 A i više.

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

ENERGETSKA BUDUĆNOST SRBIJE

Na temelju zaključka Izvršnog vijeća SR Srbije, radna grupa pod predsjedanjem prof. dr M. Simonovića, završila je potkraj 1983. studiju »Strategija dugoročnog razvoja energetike Srbije van SAP«. Ona obuhvaća razdoblje do 2000. godine s vizijom do 2020.

U uvodnom dijelu dan je pregled i stanje energetike Srbije danas. Konstatirano je da potrošnja električne energije od 2 500 kWh godišnje po stanovniku (1980. god.) niska u usporedbi sa zemljama Evrope, a struktura potrošnje, tj. udio industrije u ukupnoj potrošnji nepovoljan. Struktura potrošnje primarne energije također je nepovoljna zbog velikog udjela tekućih goriva (sirova nafta 41,1%).

U Srbiji su ukupne energetske rezerve (geološke) malene. One su po stanovniku 30% manje od prosjeka Evrope. Hidropotencijal iznosi 13 500 GWh, od čega je izgrađeno 70%. Ukupne energetske rezerve Srbije iznose 23% raspoloživih rezerva Jugoslavije. Sa stajališta energetske bilance posebno je karakteristična njezina zavisnost od nabave dijela kvalitetne energije iz susjednih područja ili inozemstva. Ugljen ima dominantno mjesto kako u proizvodnji, tako i u potrošnji energije.

Prema sadašnjem stupnju istraživanja Srbija ne pripada među potencijalna područja za pronalaženje nafte, ali ima znatne naslage (oko $4{,}8 \cdot 10^9$ tona) uljnih škriljaca. Nadalje, može se računati na 18 000 tona potencijalnih rezervi uranova koncentrata, ali je teško prognozirati da li će proizvodnja iz ovih rezervi biti ekonomična.

Dugoročni plan razvoja SR Srbije (bez pokrajina) nije još donesen, pa su procjene budućih energetskih potreba učinjene na temelju nekih pretpostavki trenda razvoja. Razmatrane su tri varijante povećanja potreba energije s porastima 3,9%, 4,12% i 4,6% godišnje.

Premda je energetski potencijal uže Srbije skroman, smatra se da ipak može biti siguran stabilan i ekonomski povoljan oslonac za uspješan privredni razvoj područja do kraja milenija i prvih nekoliko desetljeća sljedećega. Da se to postigne, treba nastaviti s istraživanjima, razvijati proizvodne kapacitete, racionalizirati potrošnju energije i provesti supstituciju nafte i električne energije ugljenom i drugim raspoloživim energetskim izvorima.

Ukupna proizvodnja ugljena morala bi porasti sa $27 \cdot 10^6$ tona na oko $60 \cdot 10^6$ tona u 2000. godini. Planira se proizvodnja briketa iz lignita i mrkog ugljena ukupno $2{,}1 \cdot 10^6$ tona godišnje. Ukupno bi se izgradilo 7 briketnica od toga 3 do 2000. godine. Također se predviđa izgradnja jedne sušare za lignit u 1985. godini. Do 2000. godine bi se izgradio uređaj za plinofikaciju ugljena od $1 \cdot 10^9$ Nm^3 plina godišnje, a do 2020. godine još jedan takav uređaj.

Uža Srbija može u potpunosti zadovoljiti svoje potrebe na električnoj energiji iz svojih energetskih izvora, i to prvenstveno izgradnjom termoelektrana na lignit, izgradnjom hidroelektrana i jedne nuklearne elektrane negdje oko 2000. godine. Do 2000. godine predviđa se izgradnja 530 MW u hidroelektranama, 1 200 MW u reverzibilnim hidroelektranama, 3 300 MW u termoelektranama i toplanama i 500 MW u prvoj nuklearnoj elektrani Srbije.

Rezerve urana u Srbiji još uvijek nisu dobro poznate. Treba intenzivirati istraživanja rudnih nalazišta, kao i mogućnosti dobivanja urana iz fosfata.

Konstatirano je, nadalje, da su ulaganja u energetiku do sada bila premala. Da bi se uhvatio ponovno korak, tj. da bi se uskladio razvoj energetike s razvojem privrede, potrebno je u sljedećem razdoblju da ulaganja budu osjetno veća, što će sa svoje strane imati reprekusije na rast privrede. Prema procjeni ova bi ulaganja morala iznositi oko 20% od ukupnih investicija u privredi republike. Posebno se značenje mora posvetiti većem udjelu domaće industrije u opremanju energetskih objekata i oslanjanja na vlastitu tehniku i tehnologiju. Za potrebe razvoja energetike poseban interes predstavljaju proizvodnja rudarske opreme i sredstva za mehanizaciju transporta.

Nijedna energetska grana u Jugoslaviji nije mogla, zbog niskih cijena energije, pratiti razvoj zahtjeva za energijom. Da se to prevlada, moraju u području energetike djelovati zakoni ekonomije: svaki oblik energije mora se u osnovi tretirati kao roba. Prema tome, cijena energije mora biti ekonomski realna veličina.

Na kraju studije obrađen je problem razvoja naučnoistraživačkog rada i kadrova. Plan potreba kadrova, kao i metoda i sadržaj procesa obrazovanja za potrebe energetike treba zasnivati na programskoj orijentaciji strojogradnje i elektrostrojogradnje, elektroprivrede, rudarsko-energetskih kombinata i projektnih organizacija.

(ZEP, 6. 4. 1984, br. 116)

B. M.

GRADI SE RUDNIK I ELEKTRANA KOLUBARA B

Na sjednici Skupštine Samoupravne interesne zajednice elektroprivrede SR Srbije, koja je održana sredinom ožujka, usvojen je program daljnje investicione izgradnje u kombinatu »Kolubara«.

Usvojen je program investicione izgradnje površinskog kopa »Zapadno polje«, početnog kapaciteta 6, a krajnjeg 12 milijuna tona ugljena godišnje. Za ovo će se prema sadašnjim cijenama uložiti 114,9 milijardi dinara. Pripremni radovi počinju u kolovozu ove godine.

Delegati su usvojili i investicioni program izgradnje TE »Kolubara B«, prva dva bloka po 300 MW za kombiniranu proizvodnju električne i toplinske energije. Za izgradnju elektrane uložit će se 152,7 milijardi dinara udruženih sredstava elektroprivrede te inozemnih i domaćih kredita. Pripremni će radovi prema predviđanju početi u rujnu ove godine.

(ZEP, 6. 4. 1984. br. 116)

B. M.

IZVRŠENJE ELEKTROENERGETSKE BILANCE JUGOSLAVENSKE ELEKTROPRIVREDE U PERIODU SIJEČANJ – OŽUJAK 1984. GODINE.

Proizvodnja električne energije

Ukupna proizvodnja električne energije u periodu siječanj – ožujak, ostvarena je sa 17.400 GWh, što je 95,2% od plana, a 101% u odnosu na isti period prošle godine, od čega hidroelektrane 6.200 GWh, što je 92,7% od plana, termoelektrane na ugalj 9.000 GWh ili 98,3% od plana, odnosno 113,8% u odnosu na isti period prethodne godine. Nuklearna elektrana je ostvarila izuzetno visoku proizvodnjud od 1.300 GWh ili 8,5% iznad plana, termoelektrane na tekuće i plinsko gorivo 900 GWh ili 74,4% od plana.

Podbačaj u proizvodnji termoelektrana na tekuće i plinovito gorivo rezultat je permanentnog nedostatka mazuta i plina.

Potrošnja električne energije

Ukupna potrošnja električne energije na pragu prijenosa u periodu siječanj – ožujak 1984. godine iznosi 17.600 GWh, što je za 4,4% iznad ostvarene potrošnje u istom periodu prethodne godine, a sprovedena su ukupna ograničenja potrošnje od oko 1.000 GWh, što je oko 5% od potreba.

INFORMACIJA SA SASTANKA KOMITETA ZA KOORDINACIJU IZGRADNJE 380 kV MREŽE

U Sarajevu je u ožujku održana 79. sjednica Komiteta za koordinaciju izgradnje i pripremu za funkcioniranje 380 kV mreže Jugoslavije na kojoj je razmatran Prijedlog Samoupravnog sporazuma o formiranju Komiteta za koordinaciju razvoja, izgradnje i unapređenja sistema za prijenos električne energije Jugoslavije.

Značajni uspjesi u zajedničkoj izgradnji i veoma pozitivni efekti iz zajedničkog rješavanja pitanja izgradnje u posljednjih 12 godina koji su ostvareni u izgradnji prve i druge faze 380 kV prijenosne mreže Jugoslavije nametnuli su potrebu da se takvim radom nastavi pa je kao logičan nastavak i razvoj saradnje elektroprijenosnih organizacija SFRJ. Predloženo je da se postojeći Komitet za koordinaciju izgradnje i pripreme za funkcioniranje 380 kV sistema Jugoslavije transformira u Komitet za koordinaciju razvoja izgradnje i unapređenja sistema za prijenos električne energije Jugoslavije.

Na sjednici su za novog predsjednika i zamjenika izabrani Branko Štrbac, dipl. inž. direktor »Elektroprenosa« Sarajevo i Milisav Šaranović, dipl. inž. iz »Elektroprenosa« Titograd.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

GASOVOD SIBIR – ZAPADNA EVROPA

Osnovna projektna rešenja magistralnog gasovoda Sibir — — Zapadna Evropa

Eksportni gasovod Sibir – Zapadna Evropa (Urengoj – Pomary – Užgorod) gradi se istovremeno sa gasnim magistralama, koje treba da obezbede energetske i tehnološke potrebe Sovjetskog Saveza u jedanaestoj i dvanaestoj petoletki. Ovo je u znatnoj meri odredilo tehnička rešenja eksportnog gasovoda, kao jednog od objekata jedinstvenog sistema snabdevanja gasom. Sirovinsku bazu gasovoda čine centralni deo i severno krilo Urengojskog gasokondenzatnog nalazišta. Početna tačka magistrale usvojena je u srednjoj zoni dobijanja gasa radi skraćivanja dužine nalazišnih kolektora i dekoncentrisanja potoka gasa.

Krajnja tačka gasovoda na teritoriji Sovjetskog Saveza leži u okolini grada Užgorod, gde državnu granicu SSSR preseca gasovod »Sojuz«, koji transportuje gas u niz socijalističkih zemalja – članica SEV i od 1976. godine u SFR Jugoslaviju.

Na celoj dužini trase (4451 km) postoje komplikovane deonice znatne dužine: večito smrznute zemlje — preko 118, močvare — 200,8 km, irigacirana područja — 758,4 km, stenovito tlo — 795 km.

Trasa preseca više od dvadeset velikih reka, preko 840 srednjih i manjih reka i potoka.

Određivanju generalnog pravca gasovoda Urengoj – Pomary – Užgorod prethodio je kompleks radova na proučavanju topogeodetskih, inženjersko-geoloških i geokrioloških uslova trase, kao i istraživanja tehničko-ekonomskih pokazatelja razmatranih varijanata.

Kao rezultat proračuna bio je usvojen korak kompresorskih stanica, koji se duž trase povećava od 100 do 125-130 km, što je povezano sa potrošnjom znatnog dela transportovanog gasa za sopstvene potrebe, naime za postrojenja sa gasnim turbinama, čija ukupna snaga iznosi (samo radnih agregata) 2.000 MW.

(ZEP, 1984)

B. M.

U POGONU VISOKONAPONSKI ISTOSMJERNI PRIJENOS INA – SHABA

Dužina ovog istosmjernog prijenosa iznosi 1 700 km, a sadrži 8 500 stupova za dalekovod napona ±500 kV. Električna se energija proizvodi u hidroelektrani Inga, na rijeci Kongo blizu ušća (mogućnost izgradnje do 40 000 MW, jedna od najvećih na svijetu) i prenosi u pokrajinu Shaba (Katanga) u blizini grada Kolwezija. To je područje poznato po golemom rudnom bogatstvu, naročito bakrene rude.

Prijenosna snaga uređaja iznosi 560 MW. Financirala ga je američka tvrtka Morison – Kundsen Company koja je s tvrtkom ASEA sastavila ugovor za izgradnju terminalnih stanica još 1974, ali je montaža zbog nemira u zemlji započela tek 1981.

(Elektrizitätswirtschaft, 1984. br. 4)

B. M.

POJAČANJE ISTOSMJERNE VISOKONAPONSKE VEZE ŠVEDSKO KOPNO — OTOK GOTLAND

Kao što je poznato, prva na svijetu komercijalna istosmjerna visokonaponska veza stavljena je u pogon 1954. između švedskog kopna i otoka Gotlanda, snage 20 MW. Početkom sedamdesetih godina veza je pojačana tiristorskim blokom 10 MW na ukupno 30 MW. U međuvremenu je mogućnost prijenosa postala premalena pa su na otoku instalirani dizelski agregati i plinske turbine. Takav način opskrbe otoka električnom energijom pokazao se preskupim, pa je izgrađena nova istosmjerna veza nazivne snage 130 MW, maksimalno 160 MW, uz istosmjerni napon 150 kV (postojeći ima 100 kV). Stari, postojeći uređaj stavljen je u rezervu. Terminalna stanica novog uređaja u Västerviku, na kopnu, vezana je na 130 kV trofazne mreže. Ona na otoku kraj mjesta Ygne ima za dobavu jalove snage instalirani sinhroni kompenzator od 70 MWA. Uređaj je financiralo švedsko elektroprivredno poduzeće Vattenfall, a izgradila ga je tvrtka

ASEA na temelju ugovora iz 1981. godine. S ovim će se uređajem sniziti godišnji troškovi dobave električne energije za oko 50 milijuna švedskih kruna jer će ušteda naftnih derivata iznositi 111 000 tona.

Elektrizitätswirtschaft, 1984, br. 4 B. M.

MOSKOVSKO GRIJANJE IZ TOPLANA DOSTIŽE TOPLINSKU SNAGU OD 30.000 MW

U širem području Moskve danas (1982.) se u 16 postrojenja proizvodi toplinska snaga od oko 30.000 MW. Električna snaga ovih toplana iznosi oko 10.000 MW. Glavna toplinska mreža ima dužinu 2600 km. U toku tekuće petoljetke planira se daljnja izgradnja toplana na plin i ugljen. U slijedećoj pak petoljetki u planu su samo nuklearne toplane.

(ÖZE 1982, br. 1/2)

B. M.

100 GODINA JAVNE ELEKTRIFIKACIJE U NJEMAČKOJ

Njemački časopis Elektrizitätswirtschaft izašao je kao poseban dvobroj (9/10, 1984.) posvećen stogodišnjici njemačke elektroprivrede, posebno berlinskog elektroprivrednog poduzeća BEWAG. Među ostalim napisan je članak »Vremenska tablica uz povijest opskrbe električnom energijom u Njemačkoj«. U tablici su nanizani mnogi važni datumi razvoja elektrifikacije, a ovdje ćemo iznijeti nekoliko koji su možda od šireg interesa.

1866. Siemens pronašao dinamoelektrični princip.

1879. Centralni kolodvor u Münchenu dobio prvu električnu rasvjetu diferencijalnim lučnicama.

1882. Prvi prijenos prema zamisli Francuza Depreza od Miesbacha do Münchena sa 2000 V istosmjerne struje, na daljinu od 57 km.

1884. Osnovana prva javna njemačka elektrana u Berlinu.

1886. Prva elektrana osnovana od gradske općine (Lübeck).

1891. Prvi u svijetu trofazni prijenos od hidroelektrane u Laufenu do izložbenog prostora u Frankfurtu, na daljinu od 170 km, snage 100 kW.

1893. Osnivanje Saveza njemačkih elektrotehničara VDE.

1900. U elektrani Elberfeld stavljene u pogon kao prvom elektroprivrednom postrojenju u svijetu, parne turbine.
To su bile turbine tipa Parsons 2 × 1000 kW.

1905. U pogonu prvi vod napona 50 kV.

1910. U pogonu prvi vod napona 100 kv.

1913. U pogonu prvi vod napona 110 kV.

1920. U pogonu prva parna turbina 50 MW.

1923. U pogonu prvi vod 220 kV (šuplji bakreni vodiči).

1926/29. Građen prvi dalekovod (Vorarlbert — Köln) dužina 600 km, sa 380 kV, stavljen u pogon pod 220 kV (šuplji bakreni vodiči).

1928. Prvi uljni kabel 110 kV u Njemačkoj.

1952. Prva turbogrupa 100 MW u Njemačkoj.

1955. Prva turbogrupa 155 MW u Njemačkoj.

1957. Stavljen u pogon prvi njemački vod 380 kV, dužine 341 km sa 4 vodiča u snopu.

1961. U pogonu prva njemačka pokusna nuklearna elektrana od 15 MW.

1965. Prva turbogrupa 300 MW u Njemačkoj.

1966. U pogonu prva nuklearna elektrana u Njemačkoj (Gundremmingen), 237 MW.

1968. Prva oklopljena transformatorska stanica sa SF_6 u Berlinu.

1972. Ulazak u pogon nuklearnih elektrana Würgassen 670 MW i Stade 662 MW.

1973. Ulazak u pogon bloka 600 MW na mrki ugljen u TE Niederaussen.

1974. Ulazak u pogon nuklearne elektrane Biblis A snage 1200 MW.

1976. Ulazi u pogon nuklearne elektrane Biblis B snage 1300 MW.

1977. Prva kabelska mreža 380 kV, prijenosne snage 1120 MVA u Berlinu.

1981. Izgrađen najveći uređaj s plinskom turbinom na svijetu neto snage 127 MW.

(Elektrizitätswirtschaft 1984. br. 9/10.)

B. M.

POTROŠNJA I PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŠVEDSKOJ 1983.

Potrošnja električne energije u Švedskoj u 1983. godini iznosila je 110.848 GWh, što predstavlja povećanje od 11% u usporedbi sa 1982. Industrija je od toga potrošila 42.269 GWh, povećanje 8%. Osjetljivo povećanje bilo je prvenstveno u papirnoj i kemijskoj industriji. Domaćinstva i trgovina potrošili su 51.343 GWh. Potrošnja električne energije za grijanje u gradovima se podvostručila. Izvoz u susjedne nordijske zemlje bio je 5398 GWh. Ukupna proizvodnja porasla je za 10%, a bila je sljedeće strukture:

hidroelektrane	62.771 GWh	(+ 16%)
nuklearne elektrane	39.007 GWh	(+ 5%)
klasične termoelektrane	4.030 GWh	(− 21%)
ukupno:	105.818 GWh	

Iz susjednih zemalja uvezeno je 10.398 GWh, a to je 75% više nego 1982. godine.

(R. G. E. 1984. br. 4)

B. M.

NOVE KNJIGE

T. M. Shih: Numerical Heat Transfer

Springer Verlag, Berlin — Heidelberg — New York — Tokyo, 1984, 563 stranice, 98 slika, tvrdi uvez, format 17 × 23 cm, cijena 114 DM ili 44,70 USA $

U knjizi se opisuju različite numeričke metode iz oblasti prijenosa topline. Ona služi kao veza koja će pojačati suradnju između istraživača problema prijenosa topline i onih koji se bave primijenjenom matematikom. Prema tome knjiga je namijenjena inženjerima koji se bave numeričkim analizama prijenosa topline, matematičarima koji rade na toplinskim problemima te nastavnicima i studentima.

Knjiga ima 4 dijela. U prvom su dijelu dani prethodni podaci o upotrebi različitih numeričkih metoda i njihovih osobina. Čitatelj se upućuje u njihovu primjenu. U drugom dijelu, koji je u stvari jezgra knjige, su problemi vođenja, konvekcije i radijacije rješavani tehnikom koja je opisana u prvom dijelu. Fizikalni problemi matematski su modelirani, a matematski izrazi razvijeni u matrične oblike pogodne za kompjutorska računanja. Materijal ovog dijela može služiti kao most između inženjerstva i matematike. Treći dio je produžetak drugoga i obrađuje važne pojave u prijenosu topline kao lamilarnu i miješanu konvekciju, turbulentne tokove, i pojave pri gorenju. Četvrti dio knjige posvećen je numeričkim analizama i graničnim greškama. Svaki dio završava s opširnim popisom literature. Na kraju knjige prikazani su kompjutorski programi u fortranu.

Treba primijetiti da definicija fizikalnih problema i fizikalno tumačenje jednadžbi nije knjigom obuhvaćeno, jer se može naći u mnogim knjigama o prijenosu topline. Ukratko rečeno, osnovni je zadatak knjige da ukaže i razjasni put i način korištenja elektroničkog računala u rješavanju problema prijelaza topline.

B. M.

UDK 621.31

ENJAAC 33 (5)-(1984) 361-452

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Izdavači:

»Elektroprivreda«, Rijeka
»Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Ošijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1984 — 08 — 24

Godište 33 (1984) Zagreb 1984 Br. 5

SADRŽAJ

Lovašić Z. — Jurčević M. — Petković B.: Proračun ravnotežnih i prijelaznih gorivih ciklusa kod lakovodno-tlačnih reaktora (Originalni znanstveni rad) 363

Kalan B.: Metoda za proračun pouzdanosti i raspoloživosti prijenosne mreže-program NEVA (Originalni znanstveni rad) 373

Fuštar S.: Optimalni raspored remonta termoagregata u godišnjoj bilanci (Originalni znanstveni rad) 377

Mužek Z.: Pregled opskrbe toplinom iz nuklearnih elektrana u svijetu (Pregledni rad) 397

Staniša B.: Sto godina proizvodnje i razvoja parnih turbina (Pregledni rad) 407

Naumovski I.: Prilike pri uklapanju kondenzatorskih baterija i izbor prikladnih sklopnih aparata (Pregledni rad) 429

Iz strane stručne literature 434

Oglasi 435

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 500 dinara, a za poduzeća i ustanove 2000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji: RO »Zrinski« TIZ Čakovec

UDK 621.31

ENJAAC 33 (5)-(1984) 361-452

YU ISSN 0013-7448

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

energija

Godište 33 (1984) Zagreb 1984 Br. 5

Izdavači:

»Elektroprivreda«, Rijeka
»Elektroprivreda Dalmacije«, Split
SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske
Elektra, Karlovac
Elektroslavonija, Ošijek
Elektroistra, Pula
Elektroprimorje, Rijeka
Elektrodalmacija, Split
Elektra, Zagreb
Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos
Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1984 — 08 — 24

SADRŽAJ

Lovašić Z. — Jurčević M. — Petković B.: Proračun ravnotežnih i prijelaznih gorivih ciklusa kod lakovodno-tlačnih reaktora (Originalni znanstveni rad) 363

Kalan B.: Metoda za proračun pouzdanosti i raspoloživosti prijenosne mreže-program NEVA (Originalni znanstveni rad) 373

Fuštar S.: Optimalni raspored remonta termoagregata u godišnjoj bilanci (Originalni znanstveni rad) 377

Mužek Z.: Pregled opskrbe toplinom iz nuklearnih elektrana u svijetu (Pregledni rad) 397

Staniša B.: Sto godina proizvodnje i razvoja parnih turbina (Pregledni rad) 407

Naumovski I.: Prilike pri uklapanju kondenzatorskih baterija i izbor prikladnih sklopnih aparata (Pregledni rad) 429

Iz strane stručne literature 434

Oglasi 435

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 500 dinara, a za poduzeća i ustanove 2000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

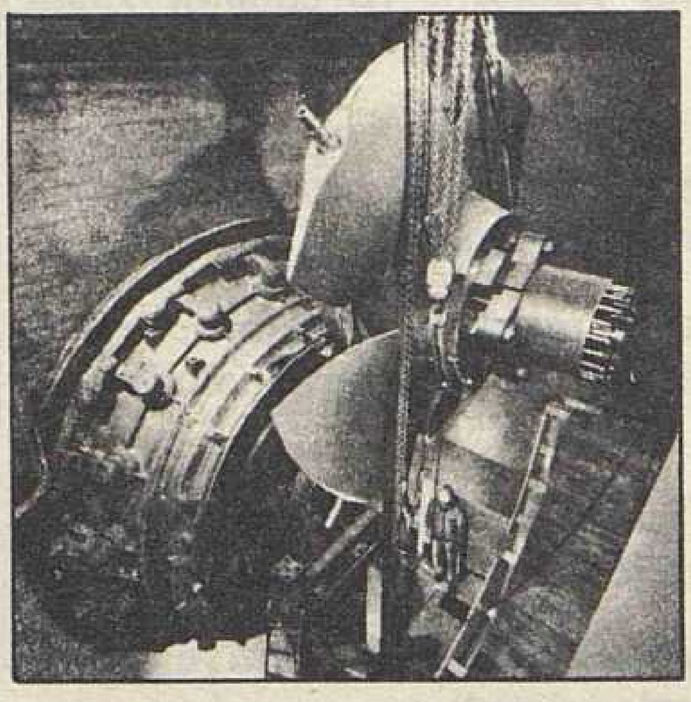
Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

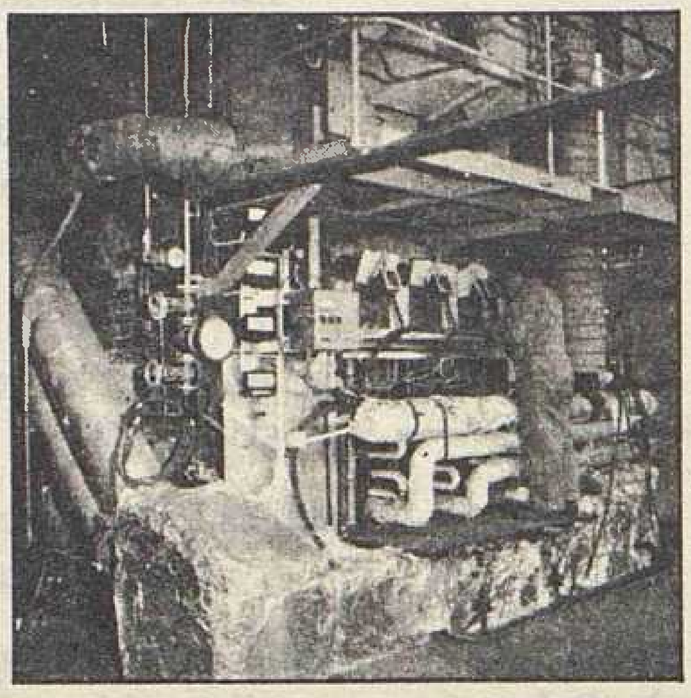
Bez obzira da li se govori o postrojenjima za proizvodnju pare, komponentama nuklearnih centrala, pumpama, cijevnim armaturama i regulacijakim sistemima, kombiniranim postrojenjima s plinskim turbinama i parnim postrojenjem, plinskim turbinama, vodenim turbinama, postrojenjima za rekuperaciju topline itd.

Sulzer je mjerodavan za energetsku tehniku

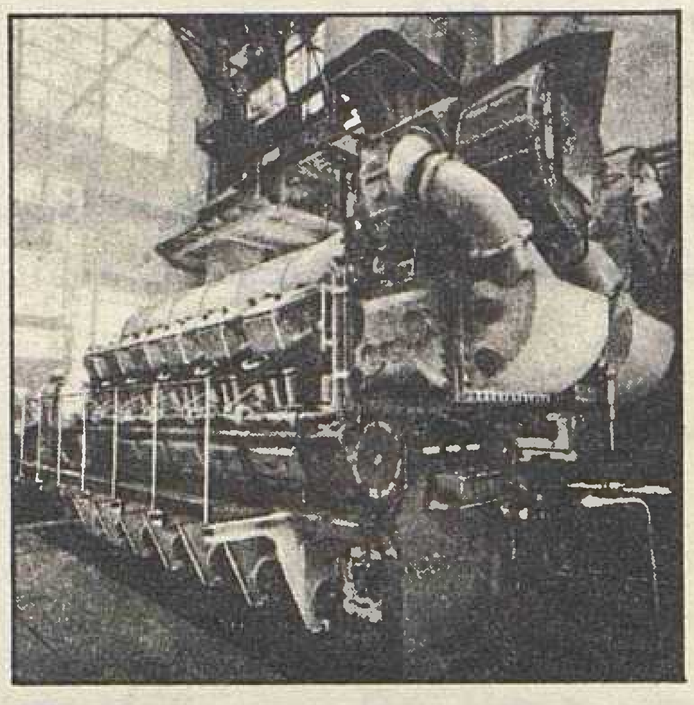
Evo tri primjera koji to i potvrdjuju:



Straflo®-turbine za »Annapolis Royal« prvu elektranu na plimu i oseku u Sjevernoj Americi.
U već postojećoj pregradnji jednog zaljeva u Kanadi izgrađena je elektrana 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 kotlovsko 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 896 06 011

SULZER®

1834-1984 SULZER

WtP.34 sk-1

PRORAČUN RAVNOTEŽNIH I PRIJELAZNIH GORIVIH CIKLUSA KOD LAKOVODNO-TLAČNIH REAKTORA

Zvonko Lovašić — Marijan Jurčević — Bojan Petković, Zagreb

UDK 621.039.5

ORGINALNI ZNANSTVENI RAD

Ispitivani su ravnotežni i prijelazni gorivi ciklusi za lakovodno-tlačne reaktore. Korišteni su programi SOTHIS i CICLON, a kao referentni reaktor za proračun poslužio je nuklearni reaktor Nuklearne elektrane Krško. Pronađeno je optimalno obogaćenje i shema izmjene goriva za ravnotežni ciklus. Ispitane su i dvije vrste prijelaznih ciklusa i posebna shema izmjene za prijelazne cikluse.

Ključne riječi: nuklearni reaktor, obogaćenje, izgaranje, izmjena goriva.

1. UVOD

Kod nuklearnog gorivog ciklusa i gospodarenja gorivom jedan su od bitnih parametara troškovi nuklearnog goriva. Cilj dobrog gospodarenja gorivom je očit: uz što manje troškova želi se dobiti što više energije, uzimajući pri tome u obzir limitirajuće faktore koji garantiraju siguran rad nuklearnih elektrana.

Procesi koje prolazi nuklearno gorivo u svom ciklusu sastoje se općenito od: ekstrakcije rude, obogaćenja, izrade gorivih elemenata, ozračivanja odnosno izgaranja i ponovne prerade istrošenog goriva. Gospodarenje (engleski »management«) gorivom može se podijeliti u tri faze:

— pripremna faza goriva koja sadrži dobivanje rude, pretvaranje žutog kolača U_3O_8, u VF_6 dobivanje obogaćenog urana, pretvaranje u keramički prah UO_2 i proizvodnju gorivih štapova i elemenata
— faza fospodarenja gorivom u jezgri reaktora
— faza gospodarenja gorivom nakon izgaranja u jezgri reaktora.

Kod proračuna troškova goriva, odnosno troškova dobivene energije moraju se uzeti u obzir troškovi svih triju faza gorivog ciklusa, jer sve faze bitno utječu na njih.

Posljednjih nekoliko desetljeća uloženo je mnogo sredstava, napora i radnog vremena da bi se stvorili algoritmi i programi za izvođenje analiza rada nuklearnih reaktora. Razvijani su točkasti modeli (nulte dimenzije) i trodimenzionalni modeli reaktora da bi se mogli proračunati parametri rada nuklearne elektrane uz sigurnost i ekonomičnost rada. Povezanost parametara rada reaktora, sigurnosti i ekonomičnosti vrlo je kompleksna.

Do sada su se za dobivanje minimalnih jediničnih troškova energije koristile klasične metode optimizacije, linearno i dinamičko programiranje, a u novije vrijeme sve se više teži jednostavnijim metodama stvorenim na osnovi iskustva na području nuklearne tehnologije koja omogućuje određene jeftinije aproksimacije.

Svrha ovog rada bila je da se pomoću odgovarajućih programa načine proračuni ravnotežnih i prijelaznih gorivih ciklusa i da se pronađu optimalni ravnotežni i prijelazni gorivi ciklusi. Razmotren je utjecaj promjena pojedinih varijabli na troškove gorivog ciklusa i troškove proizvodnje energije. Na osnovi toga razmotrene su i metode određivanja optimalnog gorivog ciklusa za lakovodno-tlačne reaktore.

Mnogo je varijabli za proračun optimizacije izgaranja nuklearnog goriva, a neke od njih jesu: ulazno obogaćenje goriva (tež. % U-235), broj gorivih elemenata koji se izmjenjuju na kraju svakog gorivog ciklusa i duljina ciklusa koja je usko povezana s odgovorom*ciklusa (engleski »burnup«).

Za ulazne podatke za kompjutorske programe SOTHIS i CICLON**(1), koji su korišteni u ovom radu, trebalo je dobiti tabele za $K\infty$ (multiplikacijski faktor neutrona za beskonačni reaktor) i izotopski sastav goriva u ovisnosti o odgovoru. Optimizacija je rađena za lakovodno-tlačni reaktor (PWR) Westinghouseove proizvodnje, za koji se podaci mogu naći u literaturi (3). Podaci za $K\infty$ dobiveni su pomoću programa RIBOT-5 (2) koji računa kritičnost i izotopski sastav u funkciji odgora za lakovodno-tlačne reaktore na osnovi detaljnih tehničkih podataka o određenom reaktoru. Program se osniva na modelu nulte dimenzije, a nuklearne konstante se računaju preko peterogrupnog modela.

---

* U ovom se radu koristi izraz odgor koji je po mišljenju autora najbolje odgovarajući, ali se u literaturi na našem jeziku susreću i izrazi izgor ili izgaranje.

** Programi SOTHIS i CICLON dobiveni su od NEA DATA BANK, Saclay, Francuska.

Tablica 1.

Osnovni podaci o Nuklearnoj elektrani Krško

Elektrana	
Toplinska snaga reaktora [MW]	1876
Električna snaga [MW]	664
Neto električna snaga [MW]	632
Toplinsko iskorištenje [%]	33
Hladilo reaktora	
Materijal	H_2O
Dodatak za kntrolu reaktivnosti	H_3BO_3
Broj krugova hlađenja	2
Ukupni maseni protok [kg/s]	8967
Pritisak [MPa(ata)]	15,41 (157)
Ukupni volumen [m³]	182
Temperatura na ulasku u reaktor [C °]	287,5
Temperatura na izlasku iz reaktora [C °]	324,4
Jezgra reaktora	
Broj gorivih elemenata	121
Broj gorivih štapova u gorivom elementu	235
Raspored gorivih štapova	16 × 16
Dužina gorivih štapova [m]	3,658
Debljina košuljice [mm]	0,572
Materijal košuljice	Zircaloy 4
Kemijski sastav goriva	UO_2 Sintrirani
Ukupna količina urana [t]	49,7
Obogaćenje goriva za prvo punjenje:	
područje 1 [%]	2,1
područje 2 [%]	2,6
područje 3 [%]	3,1

2. OSNOVNI PRINCIPI UPRAVLJANJA GORIVOM U LAKOVODNO-TLAČNOM REAKTORU

2.1. Ravnotežni i prijelazni ciklusi

U dosadašnjem je tekstu prešutno smatrano da su uvjeti zamjene goriva i otpusni odgor stalni za sve cikluse. Smatrano je da je broj gorivih elemenata, koji se zamjenjuju, isti, a isto tako i obogaćenja svježeg goriva. Takvi ciklusi, koji se nastavljaju jedan za drugim, zovu se **ravnotežni ciklusi.** Početni se ciklus sastoji samo od svježeg goriva različitog obogaćenja. Nakon prvog ciklusa imamo nekoliko **prijelaznih ciklusa** u kojima se trebaju eliminirati perturbacije zbog duljeg prvog ciklusa i razlika u reaktivnostima djelomično istrošenog i svježeg goriva. Pravi ravnotežni ciklusi se u stvarnosti teško postižu iz dva osnovna razloga: jedan je da svi zahtjevi i ograničenja, ekonomska i tehnička, nisu konstantni, tj. mijenjaju se s vremenom, a drugi je razlog što uvijek ima nepredviđenih smetnji u radu reaktora, što rezultira promjenom plana proizvodnje energije. U principu se želi preko što manje prijelaznih ciklusa doći do približno ravnotežnih ciklusa.

Djelomična izmjena goriva povlači sa sobom problem slaganja šarži gorivih elemenata s različitim povijestima odgora u jednom ciklusu. U jednom ciklusu obično se nalazi svježe gorivo i dvije do tri šarže gorivih elemenata koje su već bile u prethodnim ciklusima. Prema izrazu (2.1) multiplikacijski faktor na početku ciklusa sastoji se približno od sume multiplikacijskih faktora pojedinih šarži gorivih elemenata podijeljene s brojem šarži gorivih elemenata. Ako se zamijeni drugi broj gorivih elemenata ili se proizvede druga energija od planirane, normalno da dolazi do promjena u rasporedu multiplikacijskih faktora.

Na slici 1. prikazan je grafički raspored multiplikacijskih faktora po šaržama gorivih elemenata za reaktor s tri šarže gorivih elemenata. Pravokutni krajnje desno predstavlja svježe gorivo, skupina pravokutnika lijevo je istrošeno gorivo, a između su djelomice istrošene šarže gorivih elemenata. Ako smo neko gorivo izgorjeli manje negoli je bilo predviđeno, možemo to popraviti smanjenjem obogaćenja nove šarže svježeg goriva ili smanjenjem broja gorivih elemenata sa svježim gorivom. Za veći odgor mogu se poduzeti suprotne akcije.

2.2. Izbor broja i rasporeda svježih gorivih elemenata

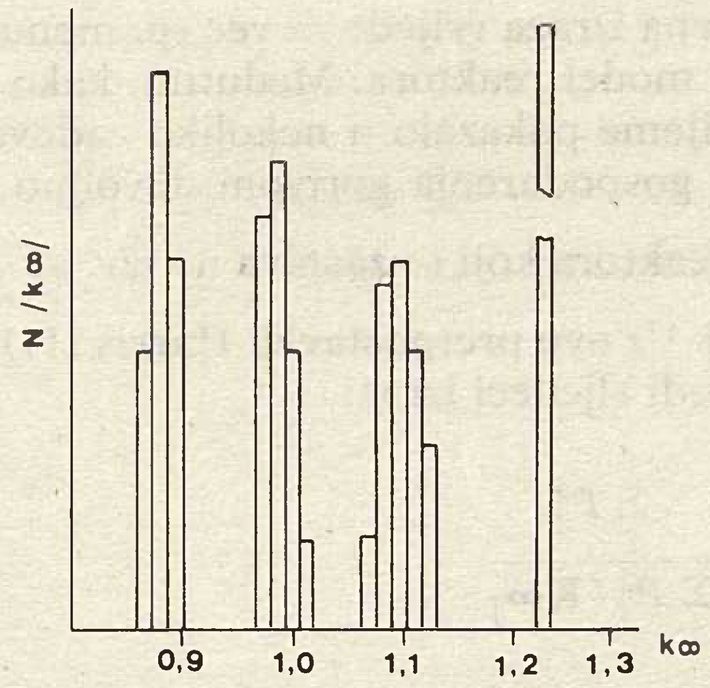
Kod lakovodno-tlačnih reaktora uvijek se samo dio gorivih elemenata u reaktoru zamjenjuje svježim gorivim elementima jednog ili više obogaćenja. I kod eksperimentalnih reaktora vrlo se rijetko zamjenjuje cijela jezgra svježim gorivom. Ako svaka šarža gorivih elemenata ostaje u reaktoru »n« ciklusa, tada se nakon svakog ciklusa zamjenjuje »1/n« od ukupnog broja gorivih elemenata. Srednji odgor dobiven od neke šarže gorivih elemenata za dani ciklus jednak je otpusnom (»discharge«) odgoru podijeljenim brojem ciklusa koje je ta šarža provela u reaktoru. Multiplikacijski faktor neutrona u reaktoru može se uz aproksimacije homogenog reaktora prikazati sljedećim izrazom:

$$K_{reaktor} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} K_i \qquad (2.1)$$

gdje je »n« broj šarži gorivih elemenata s istom povijesti odgora, a K_i je beskonačni multiplikacijski faktor šarže »i« gorivih elemenata.

U literaturi (4) ima dosta dokaza da je mnogo povoljnije na kraju ciklusa zamijeniti samo jedan dio gorivih elemenata a ne sve. Tako se, na primjer, može postići za 1/3 veći otpusni odgor kod jezgre kod koje se pola goriva zamjenjuje svježim nakon svakog ciklusa, nego kad se svo gorivo zamjenjuje svježim nakon svakog ciklusa. Za komercijalne nuklearne elektrane mora se vrijeme stajanja nuklearne elektrane unijeti u faktor raspoloživosti elektrane. Kraći radni ciklus smanjuje raspoloživost elektrane, a s tim i količinu proizvedene energije. Treba naći kompromis između duljeg ciklusa koji zahtijeva veće obogaćenje i time i veći višak reaktivnosti na početku i smanjenog faktora raspoloživosti zbog kraćeg ciklusa.

Pri određivanju rasporeda gorivih elemenata i odabiranju načina kontrole reaktivnosti treba voditi brigu o zadovoljavanju optimalne raspodjele snage u reak-



Slika 1. Histogram multiplikacijskih faktora

toru. Najčešći je pristup određivanju raspodjele snage da se reaktor podijeli na kvadrante odnosno oktante i da se obavi proračun za jedan kvadrant odnosno oktant uvažavajući simetriju. Najprije se svi gorivi elementi podijele u šarže, kao na slici 1, a zatim se te grupe elemenata smjeste u područja u reaktoru prema određenom pravilu. Ta pravila su najčešće temeljena na empiriji. Najčešće do sada korišteno empirijsko pravilo jest »iz perioferije prema sredini« (»out-in scatter loading«), prema kojem se gorivi elementi s najvišim multiplikacijskim faktorom stavljaju na periferiju jezgre, a ostali djelomično istrošeni rasporede se u središnjoj zoni tako da se svedu na minimum lokalne vršne gustoće snage.

Kod lakovodno-tlačnog reaktora, koji se obrađuje u ovom radu, jedna je od mogućnosti izmjene goriva da imamo tri regije i da svaka regija ostaje u reaktoru tri ciklusa. Svježe gorivo ide na periferiju, a ostatak u središnjoj zoni se rasporedi u obliku šahovske ploče. U novije se vrijeme provode ispitivanja s duljim ciklusima (18 mjeseci) i pri tome se primjenjuje shema »niskog pobjega« (engleski: »low leakage loading sheme«) neutrona kod kojeg je na periferiji gorivo s najnižim obogaćenjem, da bi se maksimalno iskoristio neutronski tok. Drugi pristup koji se vrlo često primjenjuje jest Halingov princip (5), prema kojemu se najmanji vršni faktor snage za neki prostorni raspored gorivih elemenata dobije ako reaktor radi tako da je oblik raspodjele snage takav da se znatno ne mijenja za vrijeme ciklusa. Prema tom principu pretpostavlja se da multiplikacijski faktor goriva opada s odgorom i da su promjene u odnosu neutronskog toka prema snazi u ovisnosti o odogoru male ili također opadaju s odgorom. Te pretpostavke su uglavnom točne, osim na početku ciklusa zbog jakog izgaranja gorivih neutronskih otrova i zbog veće konverzije U-238 u Pu-239.

3. PRORAČUN I ANALIZA RAVNOTEŽNOG GORIVOG CIKLUSA

Za proračun odgora i obogaćenja ravnotežnih ciklusa te troškova gorivog ciklusa korišten je kompjutorski program SOTHIS (1).

Prije je u tekstu dana definicija ravnotežnog ciklusa. Ravnotežni ciklus razmatramo kao neki asimptotski ciklus koji se nikada stvarno ne postiže. Razlog da se ravnotežni ciklus nikada ne postiže proizlazi iz prijašnjih razmatranja, a to su: praktički se nikada ne mogu postići isti uvjeti ciklus za ciklusom. Dovoljno je da se poslije prijelaznih ciklusa uvjeti održavaju što bliže željenim specifikacijama ravnotežnog ciklusa. U radu je na odgovarajući način ispitivano nekoliko vrsta ciklusa da bi se dobile vrijednosti željenih varijabli za što točnije parametre ravnotežnih ciklusa. Glavne varijable koje definiraju ravnotežni ciklus jesu: ulazno obogaćenje goriva, odgor ciklusa i broj gorivih elemenata koji se zamjenjuju nakon svakog ciklusa. Rađeni su proračuni varijabli na dva načina koja su omogućavale opcije programa. Kao ograničenje uzet je projektni limit za otpusni odgor reaktora koji iznosi 33 000 MWD/MTU (±500 MWD/MTU) i iz toga su pomoću izraza $B_C = B_d \frac{N_o}{N}$ (N = ukupni broj gorivih elemenata u jezgri, N_o = broj elemenata koji se zamjenjuju u ravnotežnom ciklusu, B_c = odgor ciklusa, B_d = otpusni odogor) izračunati odgovarajući odgori ciklusa za pojedine načine izmjene goriva. Uz taj odgor ciklusa pomoću programa izračunato je najpovoljnije obogaćenje. Druga korištena mogućnost jest da se za pojedina obogaćenja izračunaju odgori ciklusa. Za sve vrste ravnotežnih ciklusa pomoću programa računate su i komponente troškova gorivog ciklusa u proizvodnji električne energije. U oba je slučaja broj gorivih elemenata koji se zamjenjuju bio stalan i trebalo ga je ponajprije odrediti. Uvjet izmjene istog broja gorivih elemenata ne znači u isto vrijeme da i svi gorivi elementi moraju biti u reaktoru isti broj ciklusa.

Uzmimo da je N ukupan broj gorivih elemenata u jezgri reaktora, a N_o broj gorivih elemenata koji se zamjenjuju nakon svakog ciklusa, N_1 je broj gorivih elemenat koji su u reaktoru n_1 ciklusa, a N_2 je broj gorivih elemenata koji su u reaktoru n_2 ciklusa. Pretpostavimo još da vrijedi izraz:

$$n_2 = n_1 + 1 \tag{3.1}$$

Isto tako vrijede i izrazi:

$$N_o = N_1 + N_2 \tag{3.2}$$

$$N = n_1N_1 + n_2N_2 \tag{3.3}$$

Za otpusni odgor goriva vrijedi već spomenuti izraz:

$$B_d = B_c \frac{N}{N_o} \tag{3.4}$$

U ovom slučaju ravnotežni ciklus je definiran sa: n_1, N_1, N_2 i B_C.

U radu su ispitane dvije sheme izmjene goriva koje su se koristile u lakovodno-tlačnim reaktorima, a označene su sa A1 i A2. Prema shemi A1 zamjenjuju se nakon svakog ciklusa 40 gorivih elemenata od ukupno 121 (N_o=40; N=121). Od toga 39 gorivih elemenata (N_1) ostaje u reaktoru 3 ciklusa (n_1), a 1 gorivi element (N_2) ostaje u reaktoru 4 ciklusa (n_2=3+1).

Prema shemi A2 zamjenjuje se nakon svakog ciklusa 42 goriva elementa. Od toga 5 elemenata (N_1) ostaje u reaktoru 2 ciklusa (n_1), a 37 elemenata (N_2) 3 ciklusa.

Bilo da tražimo najpovoljnije obogaćenje ili odgor ciklusa, nameće se problem određivanja kraja ciklusa. Uglavnom se problem kraja ciklusa svodi na određivanje reaktivnosti iz neutronskih parametara Keff i/ili K∞. Usprkos radu reaktora na različitim snagama, temperaturama, različitim koncentracijama borne kiseline, kraj ciklusa se može izraziti sasvim određeni uvjetima ako je poznata povijest odgora goriva i koeficijenti reaktivnosti. Na taj se način mogu razmatrati i produženja ciklusa i dulji ciklus s manjim faktorom iskorištenja. Ako su poznati koeficijenti snage, stvaran kraj ciklusa može se odrediti preko reaktivnosti. Varijacije u ravnotežnom ciklusu mogu se uvijek očekivati, jer produljenje ciklusa je nekad nužno zbog zahtjeva elektroenergetskog sistema.

Da se izračuna obogaćenje potrebno za neki odgor ili odgor koji se može postići nekim obogaćenjem, mora se pokazati da na kraju ciklusa Keff odgovara specificiranom (najčešće 1,0). Nakon riješenog neutronskog problema rješavaju se varijable izotopskog sastava koje se odnose na otpusni odgor, a koje se mogu izračunati iz ulaznih izotopskih podataka. Te izotopske varijable koriste se uz općenite parametre elektrane za ekonomske proračune. Na kraju se različiti ravnotežni ciklusi uspoređuju i uspoređivanjem se mogu izabrati povoljniji parametri ravnotežnog ciklusa, a može se vidjeti i utjecaj pojedinih neutronskih i izotopskih parametara na ekonomske veličine.

Neutronski model korišten u programú SOTHIS osniva se na čvornoj (nodalnoj) metodi uz određene modifikacije. Metoda čvorova ili nodalna metoda jedan je od prvih pristupa problemu proračuna nuklearnog reaktora. Korištena je u poznatom programu FLARE (6). Kod ove metode ne rješavaju se diferencijalne jednadžbe, nego se jednadžbe konstruiraju iz odnosa prelaza neutrona iz čvora u čvor.

Osnovni problem koji je trebalo riješiti kod pripreme ulaznih podataka za SOTHIS program jest vrijednost K∞ na kraju ciklusa. Za proračun multiplikacijskog faktora neutrona, K∞, za cjelokupni reaktor na kraju ciklusa do sada je primijenjeno više metoda. Tako u radu navedenom u literaturi (1) koristi se izraz:

$$K\infty = \frac{\sum_j B_j}{\sum_j \frac{B_j}{K\infty_j}} \qquad (3.5)$$

gdje su B_j, $K\infty_j$ P_j odgor, multiplikacijski faktor i gustoća snage za šaržu »j«.

Također je korišten i izraz:

$$K\infty = \frac{\sum_j P_j K\infty_j}{P_j} \qquad (3.6)$$

Oba navedena izraza vrijede za već spomenuti nodalni (čvorni) model reaktora. Međutim, kako se u posljednje vrijeme pokazalo u nekoliko radova (4, 10), za potrebe gospodarenja gorivom dovoljno točan je proračun reaktora koji se zasniva na tzv. »$1\frac{1}{2}$« grupnoj metodi. Uz ovu pretpostavku Harris (11) je pokazao da vrijedi sljedeći izraz:

$$K\infty = \frac{\sum_j P_j^2}{\sum_j P_j^2 / K\infty_j} \qquad (3.7)$$

Pomoću izraza (3.7) izračunati su podaci K∞ jezgre za broj ciklusa na osnovi podataka za ravnotežne cikluse (K∞, odgori i gustoće snage za pojedine šarže goriva) koji slijede normalni prvi ciklus i prvi ciklus s produženjem. Na taj su način dobiveni podaci za K∞ jezgre za kraj ciklusa: 1,045 62 i 1,045 55 koji pokazuju dobro međusobno slaganje. Srednja vrijednost 1,045 59 je uzeta kao ulazni podatak za program.

U programu SOTHIS primjenjuje se pojednostavljena metoda za proračun troškova nuklearnog goriva, za pojedinu šaržu gorivih elemenata. Troškovi električne energije podijeljeni su na direktne troškove (troškovi materijala i procesa u ciklusu nuklearnog goriva) i indirektne troškove (kamate na troškove obrtnog kapitala). U metodi se primjenjuje jednostavno obračunavanje kamata za indirektne troškove. Detalje proračuna nećemo ovdje navoditi jer su podrobnije opisai u literaturi (13). Kao rezultat proračuna dobiju se troškovi gorivog ciklusa izraženi u tisućinkama dolara po kWh (mills/kWh).

3.1. Ulazni podaci za program SOTHIS

Osim općenitih podataka o reaktoru, koji su uzeti iz literature (3) (broj gorivih elemenata, termalna snaga reaktora, težina urana u gorivim elementima) trebalo je dati podatke o K∞ na kraju ciklusa i o načinu izmjene goriva, te na kraju i ekonomske parametre. Sljedeći podaci uneseni su u program:

- Razmatrana su četiri različita ravnotežna ciklusa.
- Broj gorivih elemenata koji se zamjenjuju u ravnotežnom ciklusu ovisan je o shemi izmjene. Ispitane su dvije sheme izmjene goriva. Po shemi A1 na kraju ciklusa zamjenjuje se 40 gorivih elemenata: 39 elemenata ostaje u reaktoru 2 ciklusa, a 1 element 4 ciklusa. Po shemi A2 izmjenjuju se 42 goriva elementa: 5 elemenata ostaje u reaktoru 2 ciklusa, a 37 elemenata 3 ciklusa. Obje sheme prikazane su u tablici 2.
- Podaci za srednju gustoću snage za šaržu gorivih elemenata u pojedinim ciklusima uzeti su iz literature (7, 8).
- Troškovi U_3O_8 ($/lb): 30
- Troškovi konverzije U_3O_8 u UF_6 ($/kg U): 3
- Troškovi proizvodnje goriva ($/kg U): 170
- Troškovi prerade istrošenog goriva ($/kg U): 420,0

— Troškovi transporta istrošenog goriva ($/kg U): 24,0
— Cijena plutonija ($/gr): 20,0
— Kamate na kupljeni uran: 7 %
— Kamate na obrtna sredstva: 6,5 %
— Procesni gubici za konverziju U_3O_8 u UF_6: 0,5 %
— Procesni gubici prerade istrošenog goriva: 2 %
— Procesni gubici konverzije nitrata u UF_6 (nakon prerade istrošenog goriva): 1 %
— Vrijeme da se kupi uran prije unošenja u reaktor (godina): 1,5
— Vrijeme prije unošenja goriva u reaktor kada je potrebno da se osiguraju obrtna sredstva (godina): 2
— Vrijeme prije prerade istrošenog goriva (godina): 2
— Cijena jediničnog separacijskog rada ($/SWU): 110,0

Rezultati dobiveni ispitivanjem prikazani su sumarno u tablici 3. Može se zaključiti da ravnotežni ciklus po shemi A1 i s obogaćenjem 3,44 % U-235 ima najmanje troškova po kWh proizvedene energije. Otpusni odgor je također najveći kod te kombinacije (33185 MWD/MTU).

Tablica 3. Podaci o ravnotežnim ciklusima

Obogaćenje (%) U — 235	Način izmjene	Dužina ciklusa (god.)	Ravnotežni odgor ciklusa (MWD/TU)	Otpusni odgor (MWD/TU)	Troškovi proizvodnje energije s obzirom na gor. (mills/kWh)
3,30	A 1	0,950	10 372	31 376	6,2575
3,35	A 1	0,970	10 588	32 029	6,2816
3,40	A 1	0,990	10 801	32 674	6,2633
3,44	A 1	1,005	10 970	33 185	6,1665
3,426	A 1	1,000	10 909	33 000	6,2027
3,30	A 2	0,976	10 653	30 690	6,3848
3,35	A 2	0,996	10 873	31 325	6,3835
3,40	A 2	1,016	11 092	31 956	6,3635
3,44	A 2	1,032	11 266	32 456	6,2704

4. PRORAČUN I ANALIZA PRIJELAZNIH GORIVIH CIKLUSA

Nakon ravnotežnih istraženi su prijelazni ciklusi. Već je prije spomenuto da su prijelazni ciklusi nekoliko ciklusa nakon prvog i da bi se u tim ciklusima trebalo eliminirati perturbacije nastale duljim prvim ciklusom i razlikama u reaktivnosti goriva prvog punjenja i svježeg goriva. Istražen je samo neutronski dio prijelaznih ciklusa, i to duljine i odgori pojedinih ciklusa za pojedine načine izmjene i za različita obogaćenja. Uspoređivani su također i otpusni odgori goriva. Za ispitivanje prijelaznih ciklusa korišten je program CICLON (1). CICLON ima mogućnost računanja duljine ciklusa, ili obogaćenja svježeg goriva za određeni faktor iskorištenja i uvjete kraja ciklusa K∞ EOL = K∞ »end of life«). U programu je također primijenjena metoda aproksimativnog uravnoteženja reaktivnosti pojedinih zona (šarži) da se izračuna reaktivnost jezgre u nekom trenutku. Odgor po zonama se računa po pojednostavnjenom neutronskom modelu uz aproksimativno povezivanje zona. Dobiveni su podaci i o izotopskom sastavu goriva na kraju ciklusa na osnovi ulaznih tablica izotopskih podataka u funkciji odgora. Osnovna namjera proračuna prijelaznih ciklusa jest njihova optimizacija da bi se dobili što niži troškovi proizvodnje energije uz poštivanje ograničenja danih projektnim granicama, tehničkim specifikacijama i zahtjevima sistema za proizvodnju električne energije. Varijable odluka vezane za općenit problem optimizacije ciklusa nuklearnog goriva prekrivaju široko područje uz kompleksne međuodnose. Zbog te kompleksnosti i zbog toga što je potrebno pojedine odluke donijeti u različitim vremenima, općeniti proces odluke može se podijeliti u nekoliko međusobno neovisnih područja. Ta područja jesu: plan proizvodnje energije, projekt goriva i gorivih elemenata, strategija recikliranja goriva (ovamo spada i iskorištenje plutonija) i definicija ravnotežnog ciklusa. Pošto su u fazi projektiranja određene prve tri varijable odluke, preostaju još varijable za definiciju gorivog ciklusa, a to su količina

Tablica 2. Sheme izmjene A1 i A2

Shema A1

Broj ciklusa

Obogaćenje	1	2	3	4	5	6	7
2,1 %	41	1					
2,6 %	40	40	1				
3,1 %	40	40	40	1			
od 3,30 %		40	40	40	1		
do 3,44 %			40	40	40	1	
↓				40	40	40	1
					40	40	40
						40	40
							40

Shema A2

Obogaćenje	1	2	3	4	5	6	7
2,1 %	42						
2,6 %	42	42					
3,1 %	37	37	37				
od 3,30 %		42	42	37			
do 3,44 %			42	42	37		
↓				42	42	37	
					42	42	37
						42	42
							42

goriva koja se zamjenjuje u svakom ciklusu, broj ciklusa u jezgri za svaku grupu gorivih elemenata i eventualno zadržavanje neke šarže gorivih elemenata izvan jezgre u nekom ciklusu, ulazno obogaćenje svježeg goriva, udio proizvodnje energije za pojedinu šaržu gorivih elemenata te otpusni odgor za šaržu gorivih elemenata. Neke od tih varijabli određene su u prethodnom poglavlju, a pristup je takav da se najprije odredi najpovoljniji ravnotežni ciklus, a zatim što povoljniji prijelazni ciklusi do ravnotežnog. Kako su za ravnotežni ciklus ispitane dvije sheme izmjene, te iste su ispitane i za prijelazne cikluse za obogaćenja 3,44 %, 3,40 % i 3,35 % U-235. U tim prijelaznim ciklusima moguće je varirati broj gorivih elemenata koji se izmjenjuju, pri čemu se nastoje elementi iz prvog ciklusa što bolje iskoristiti u narednim ciklusima. Varijable gorivog ciklusa moraju zadovoljavati bilancu mase, energije i reaktivnosti za sve cikluse. Broj gorivih elemenata u svakoj šarži, kao i broj elemenata iz šarže koji se zadržavaju izvan reaktora za neki ciklus dobiveni su putem bilance mase goriva za svaki ciklus. Na taj je način moguće odrediti najpovoljniju strategiju izmjene za prijelazne cikluse. Osnovni je koncept ravnoteže reaktivnosti da odgor bilo kojeg ciklusa može biti toliki da se na kraju ciklusa može, uzevši u obzir različitu povijest odgora pojedinih šarži, još uvijek postići kritičnost jezgre. Drugim riječima, prati se odgor pojedinih šarži goriva, njihov K∞(ili Keff), a odgor može ići dok cjelokupni K∞ (ili Keff), dobiven interakcijom K∞ svih šarži, bude tolik da se može postići kritičnost. Višak reaktivnosti potreban za ostatnu koncentraciju bora i za fisione otrove nastale odgorom može se odrediti iz projektnih podataka, tj. preko referentnog K∞ za kraj života (EOC) za određeni reaktor. U lakovodno-tlačnim reaktorima lokalna promjena reaktivnosti za pojedine šarže gorivih elemenata može se smatrati neovisnom o promjeni izotopskog sastava jer se lokalni uvjeti za vrijeme ciklusa nalaze u uskom spektru promjene odgora prosječne ćelije, a time i u ukom spektru izotopskog sastava. Lokalne reaktivnosti za određeni projekt goriva i početno obogaćenje mogu se smatrati ovisnim samo o lokalnom odgoru i mogu se dobiti iz proračuna odgora osnovne ćelije (pomoću RIBOT-5 ili njemu ekvivalentnog programa), kod prosječnih radnih uvjeta (gustoća snage, temperatura hladioca, standardnog programa promjene bora u hladiocu, regulacije snage kontrolnim šipkama). CICLON računa lokalnu reaktivnost preko K∞ u funkciji lokalnog odgora i početnog obogaćenja uz pretpostavku da su svi gorivi elementi projektirani na isti način. Računanje se vrši preko interpolacije iz vrijedosti koje su dobivene programom RIBOT-5.

$$K\infty^{EOC} = f_{tablica}(B^{EOC}) \qquad (4.1)$$

Prosječni odgor regije na kraju ciklusa računa se jednostavnim algoritmom bilance energije:

$$B^{EOC} = B^{BOC} + S^{CIKLUSA} \frac{M_{JEZGRE}}{M_1} \Delta B \qquad (4.2)$$

gdje su:

B^{EOC} = prosječni odgor šarže na kraju ciklusa

B^{BOC} = prosječni odgor šarže na početku ciklusa

$S^{CIKLUSA}$ = prosječna relativna gustoća snage za šaržu (ili relativna proizvodnja energije za vrijeme ciklusa)

M_{JEZGRE} i M_1 = srednje mase u jezgri i šarži početnog urana po gorivom elementu

ΔB = odgor ciklusa (prosječno povećanje odgora jezgre).

Metoda bi bila egzaktna kada bi se K∞ po zonama (šaržama) računao kao odnos nastajanja neutrona i apsorpcije neutrona. U programu CICLON napravljena je aproksimacija da se upotrijebe srednje gustoće snage pojedinih zona umjesto podataka o nastajanju neutrona na kraju ciklusa. Aproksimacija je dobra u većini slučajeva kada je promjena rasporeda snage u toku ciklusa mala, a potpuno je dobra ako se može primijeniti Halingov princip (5). Od nekoliko opcija programa korišten je empirijski model jezgre koji je nastao nakon ispitivanja više reaktorskih modela i u koji su unesena i iskustva nekih eksperimentalnih reaktora. Nije bilo potrebno detaljno opisati raspored gorivih elemenata, nego model pretpostavlja uobičajenu shemu da se svježe gorivo stavlja na periferiju jezgre, a djelomično istrošeno gorivo u unutrašnjost jezgre. Osim već spomenute dvije sheme izmjene, A1 i A2, ispitana je i posebna mogućnost izmjene samo za prijelazne cikluse, A3, prikazana u tablici 4. Za sve tri strategije izmjene ispitane su najpovoljnije dužine ciklusa za određena obogaćenja.

Tablica 4. Shema izmjene A3

Obogaćenje	1	2	3	4	5	6	7	8
2,1 %	41	21	20					
2,6 %	40	40	1	21				
3,1 %	40	40	40					
od 3,30		20	20	20	1			
do 3,44			40	40	40	1		
↓				40	40	40	1	
					40	40	40	1
						40	40	40
							40	40
								40

Za spomenutu treću strategiju izmjene, koja je kombinirana s kasnijim ravnotežnim ciklusima prema shemi A1 (ta se pokazala povoljnijom za ravnotežni ciklus), trebalo je uzeti u obzir neka ograničenja. Potpuno prijelaznima možemo smatrati samo cikluse 2 i 3, te je zadržavanje šarže ili dijela šarže dozvoljeno samo u tim ciklusima. U prvoj jezgri (prvi ciklus) imamo 41 element obogaćenja 2,1 % U-235, 40 elemenata obogaćenja 2,6 % i 40 elemenata obogaćenje 3,1 %. Od šarže elemenata najnižeg obogaćenja može se P_2 elemenata zadržati (izvan reaktora) u ciklusu 2 i ponovno staviti u reaktor u ciklusu 3. Od šarže obogaćenja 2,6 % 40-N$_2'$ bit će izvađeno nakon drugog ci-

klusa, a P_3 elemenata bit će zadržano u toku trećeg ciklusa i ponovno vraćeno u četvrom ciklusu. $N'_2 - P_3$ gorivih elemenata ove šarže bit će u jezgri za vrijeme ciklusa 3. N'_2 elemenata tog obogaćenja bit će u jezgri 3 ciklusa, a $40 - N'_2$ bit će u jezgri 2 ciklusa. Svi gorivi elementi obogaćenja 3,1 % ostat će unutar jezgre za vrijeme ciklusa 1, 2 i 3. F_2 elemenata obogaćenja 3,44 % bit će stavljeni u reaktor na početku ciklusa 2 i ostat će u reaktoru tokom ciklusa 2, 3 i 4, a F'_2 će ih ostati u jezgri u toku ciklusa 5. F_3 su gorivi elementi obogaćenja 3,44 % stavljeni u reaktor u trećem ciklusu i bit će u reaktoru za vrijeme ciklusa 3, 4 i 5, a jedan će element ostati i u ciklusu 6. $F_2 - F'$ elemenata će se sasvim izvoditi iz reaktora nakon ciklusa 4. Bilanca gorivih elemenata po ciklusima jest sljedeća:

Ciklus 1: $41 + 40 + 40 = 121$ (4.3)
Početno obogaćenje: (2,1) (2,6) (3,1)

Ciklus 2: $41 - P_2 + 40 + 40 + F_2 = 121$ (4.4)
Početno obogaćenje: (2,1) (2,6) (3,1) (3,44)

Ciklus 3: $N'_2 - P_3 + 40 + P_2 + F_2 + F_3 = 121$ (4.5)
Početno obogaćenje: (2,6) (3,1) (2,1) (3,44) (3,44)

Ciklus 4: $P_3 + F_2 + F_3 + 40 = 121$ (4.6)
Početno obogaćenje: (2,6) (3,44) (3,44) (3,44)

Ciklus 5: $F'_2 + F_3 + 40 + 40 = 121$ (4.7)
Početno obogaćenje: (3,44) (3,44) (3,44) (3,44)

Iz bilance broja gorivih elemenata proizlaze neki granični uvjeti. Iz bilance ciklusa 2 (4.4) proizlazi:

$$P_2 = F_2 \tag{4.8}$$

Iz bilance ciklusa 4 (4.6) dobivamo:

$$P_3 = 81 - F_2 - F_3 \tag{4.9}$$

Uvrštavanjem u bilansu ciklusa 3 (4.5) dobivamo:

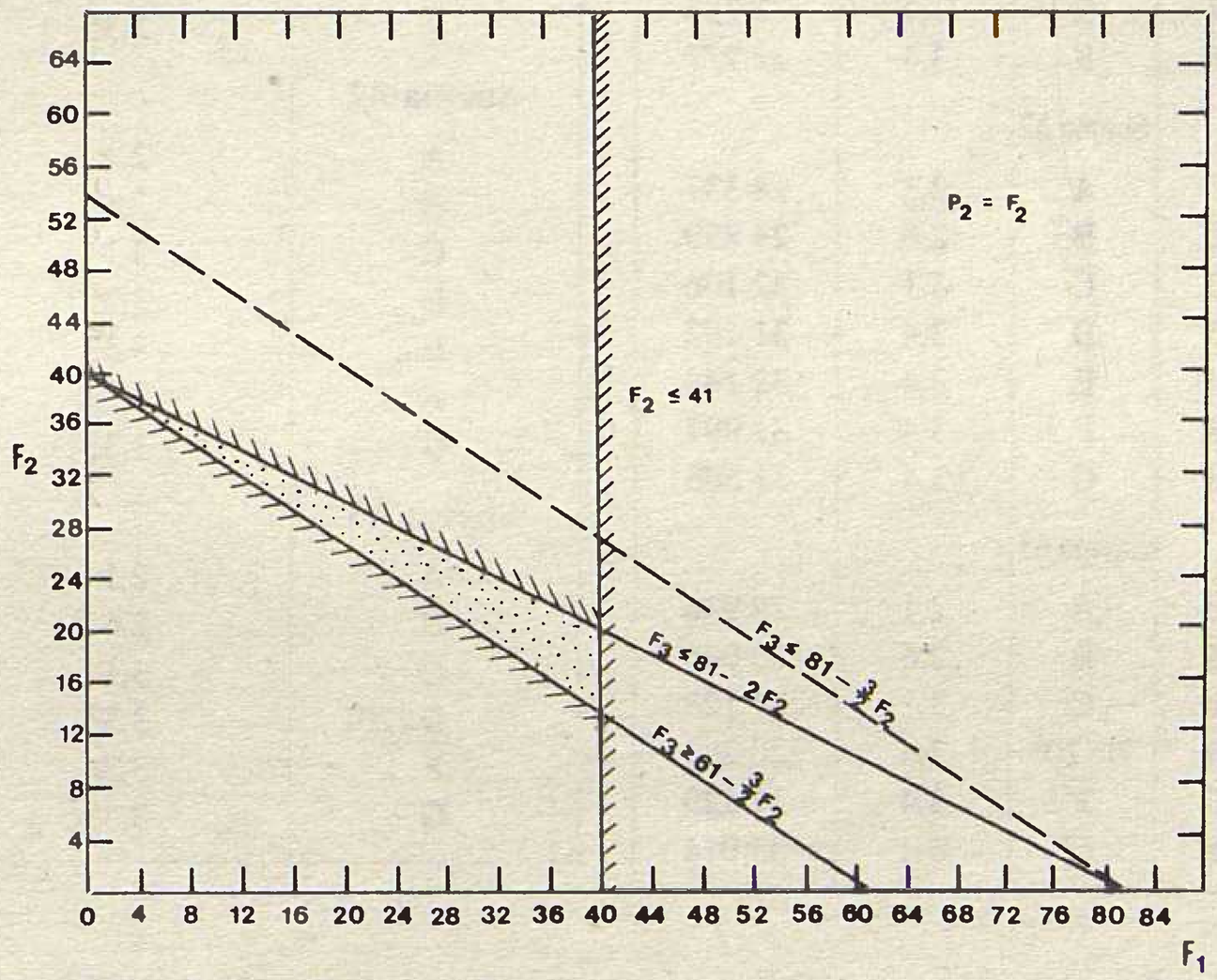
$$N'_2 = 162 - 3F_2 - 2F_3 \tag{4.10}$$

Iz bilanse ciklusa 5 (4.7) proizlazi:

$$F'_2 = 41 - F_3 \tag{4.11}$$

Rubni uvjeti jesu:

$$F_2 \leqslant 41$$
$$F_3 \leqslant 81 - F_2$$
$$F_3 \leqslant 61 - 3/2F_2.$$



Slika 2. Grafički prikaz određivanja strategije izmjene za prijelazni ciklus

Ako se to prikaže grafički, kao na slici 2, vidimo da rubni uvjeti omeđuju trokut unutar kojeg možemo izabrati F_2 i F_3 i pomoću gornjih izraza izračunati parametre.

Rezultati jedne serije mogućnosti prikazani su u tablici 5. (na dnu tablice je ravnotežni ciklus). Programom CICLON ispitana je mogućnost pod brojem 5 (označena zvjezdicom).

Ulazni podaci za CICLON vrlo su slični onima za program SOTHIS. Jedini podatak koji nije bio tražen u SOTHIS-u jest relativni odnos apsorpcije za pojedinu grupu gorivih elemenata. Taj se podatak dobiva dijeljenjem udjela odgora sa K∞ na kraju ciklusa. Udio odgora je dobiven iz dokumenta o proračunu reaktora NE Krško (7, 8).

K∞ za kraj ciklusa izračunat je iz linearne interpolacije K∞ u funkciji odgora.

Rezultati dobiveni programom prikazani su u tablicama 6a i b, gdje su navedeni otpusni odgori pojedinih šarži gorivih elemenata.

Tablica 5. Neke od mogućnosti izmjene za prijelazne cikluse

Alternativa	Svježe gorivo		Gorivo izvađeno pa ponovo uneseno u reaktor		Gorivo koje je dulje bilo u reaktoru					Ukupan broj svježih gorivih elemenata dodanih u prijelaznim ciklusima: $F_2 + F_3$
					Tri ciklusa			Četiri ciklusa		
	Ciklus 2 (F_2)	Ciklus 3 (F_3)	Ciklus 1 (P_2)	Ciklus 2 (P_3)	(N_1)	(N_2)	(N_3)	(F_2)	(F_3)	
1	36	8	36	37	0	38	40	33	1	44
2	32	16	32	33	0	44	40	35	1	48
3	28	24	28	29	0	30	40	17	1	52
4	28	20	28	33	0	38	40	21	1	48
5*	20	40	20	21	0	22	40	1	1	60
6	16	40	16	25	0	34	40	1	1	56
Ravnotežni ciklus	40	40	0	0	0	40	40	1	1	

Tablica 6a

Šarža	Obogaćenje %	Otpusni izgor (MWD/MTU)	Šarža	Obogaćenje %	Otpusni izgor (MWD/MTU)
Shema A1			Shema A1		
A	2,1	14 588	A	2,1	14 588
B	2,6	25 041	B	2,6	25 036
C	3,1	31 804	C	3,1	31 592
D	3,44	32 433	D	3,4	31 964
E	3,44	33 314	E	3,4	32 754
F	3,44	33 306	F	3,4	32 777
Shema A2			Shema A2		
A	2,1	14 337	A	2,1	14 337
B	2,6	24 852	B	2,6	24 859
C	3,1	32 323	C	3,1	32 106
D	3,44	31 643	D	3,4	31 192
E	3,44	32 684	E	3,4	32 144
F	3,44	32 513	F	3,4	31 997
G	3,44	32 399	G	3,4	31 885
Shema A3			Shema A3		
A	2,1	22 996	A	2,1	22 936
B	2,6	30 155	B	2,6	30 046
C	3,1	27 258	C	3,1	27 128
D (20)	3,44	28 659	D (20)	3,4	28 253
F	3,44	31 653	F	3,4	31 129
G	3,44	33 555	G	3,4	33 014

Tablica 6b

Šarža	Obogaćenje %	Otpusni odgor (MWD/MTU)
Shema A1		
A	2,1	14 588
B	2,6	25 029
C	3,1	31 323
D	3,35	31 374
E	3,35	32 060
F	3,35	32 107
Shema A2		
A	2,1	14 337
B	2,6	24 852
C	3,1	31 830
D	3,35	30 621
E	3,35	31 460
F	3,35	31 345
G	3,35	31 248
Shema A3		
A	2,1	22 842
B	2,6	29 907
C	3,1	26 964
D (20)	3,35	27 743
F	3,35	30 468
G	3,35	32 332

5. DISKUSIJA

Za određivanje kraja ciklusa trebalo je odrediti $K\infty$ na kraju ciklusa za cjelokupnu jezgru reaktora. To je bio ključni ulazni parametar potreban za kompjutorske programe SOTHIS i CICLON korištene u ovom radu. U tu svrhu istražene su dvije metode.

Prva metoda koristi jednadžbu (3.6) dobivenu preko dvogrupne neutronske difuzine jednadžbe (za kritičan reaktor; stacionarno stanje). U drugoj metodi koristi se jednadžba (3.7) koja je dobivena preko $1\frac{1}{2}$ grupne aproksimacije difuzione jednadžbe. Ta aproksimacija se osniva na činjenici da je difuziona dužina termalnih neutrona mala u usporedbi s difuzionom dužinom brzih neutrona te da se može zanemariti. Prvom metodom dobivena je vrijednost $K_c\infty = 1{,}0515$, a drugom $K_c\infty = 1{,}0456$ (obje metode su detaljnije opisane u poglavlju 3).

Ostali potrebni ulazni parametri dobiveni su iz proračuna RIBOT-5 kompjutorskim programom. Dobro

slaganje rezultata proračuna za ravnotežne i prijelazne cikluse s Westinghouseovim proračunima (7,8) pokazuje da se ovdje opisana metodologija proračuna i navedeni kompjutorski programi mogu pouzdano koristiti za proračun gorivih ciklusa lakovodnotlačnih reaktora.

Na osnovi podataka dobivenih proračunom ravnotežnih ciklusa proizlazi sljedeće:

1. Troškovi proizvodnje energije vezani za gorivo opadaju s većim obogaćenjem (tablica 3). To vrijedi za obje opisane sheme izmjene A1 i A2. Ograničavajući faktor je projektni otpusni odgor goriva koji je za odabranu referentu elektranu (podaci u talbici 1) iznosio oko 33 000 [MWD/MTU].
2. Uspoređivanjem troškova proizvodnje energije za različite sheme izmjene za pojedina obogaćenja vidi se da je povoljnija shema izmjene A1. Troškovi po kWh su niži za oko 2%u usporedbi sa shemom A2.
3. Ako se nastoji što više približiti projektnom otpusnom odgoru od 33 000 [MWD/MTU], onda je najpovoljnije obogaćenje svježeg goriva 3,43% U-235 prema shemi izmjene A1.
4. Da se postigne odgor od 33 000 [MWD/MTU] po shemi A2, trebalo bi obogaćenje svježeg goriva biti veće od 3,44% U-235. Jasno je da bi u tom slučaju i troškovi proizvodnje električne energije bili veći.
5. Troškovi goriva (u$/kg početnog urana) za ista obogaćenja i različite sheme izmjene manji su za shemu A2. Otpusni odgori za shemu A2 također su manji. To pokazuje da je dobit višeg obogaćenja istrošenog goriva (preostali uran-235 nakon prerade istrošenog goriva) značajnija od dobiti od nastalog plutonija za isti otpusni odgor, za sadašnje cijene na tržištu nuklearnog goriva.

Kako je proračun ravnotežnih ciklusa pokazao da troškovi proizvodnje električne energije padaju s većim obogaćenjem, za prijelazne cikluse uzeta su u razmatranje obogaćenja 3,35%, 3,40% i 3,44%.

Iz rezultata proračuna prijelaznih ciklusa proizlazi sljedeće:

1. Za sva tri obogaćenja svježeg goriva (3,35, 3,4o i 3,44) odnosi odgora po ciklusima između pojedinih shema izmjene A1, A2 i A3 su gotovo konstantni. Prema tome, kada se diskutiraju oscilacije odgora u pojedinim shemama izmjene, to vrijedi za sva obogaćenja.
2. Proces uravnoteženja odgora nakon većeg odgora u prvom ciklusu za shemu A1 odvija se u ciklusima 2 do 5, tako da ciklusi 6, 7 i 8 odgovaraju ravnotežnim, tj. približno su konstantni odgori. Prema tome, peti i naredni ciklusi mogu se smatrati ravnotežnim, a drugi, treći i četvrti ciklus prijelaznim ciklusima.
3. Za shemu A2 vrijedi isto samo su oscilacije odgora po ciklusima nešto manje nego po shemi A1, a odgori po ciklusima nešto veći. To je zbog toga što se na početku svakog ciklusa stavljaju 42 goriva elementa sa svježim gorivom od kojih 37 boravi u reaktoru tri ciklusa, a 5 samo dva ciklusa.
4. Za shemu izmjene A3 oscilacije su nešto veće u ciklusima 2 do 5. To se posebno odnosi na ciklus 3, čiji je odgor znatno niži. To je razumljivo jer se na početku drugog ciklusa stavlja u reaktor samo 20 gorivih elemenata sa svježim gorivom. Odgor u ciklusu 5 nešto je viši nego po shemi A1 i A2, a u ciklusu 4 nešto niži, tako da se to gotovo izravnava. Vidljive su i nešto veće oscilacije u odgorima ravnotežnih ciklusa 7 i 8. To pokazuje da treba nešto veći broj ciklusa da se ciklusi ustabile i postigne ravnotežni ciklus. U prosjeku za sva tri obogaćenja u trećem ciklusu odgor je manji za 3 500 [MWD/MTU] u usporedbi sa shemama A1 i A2.
5. Ako se promatra otpusni odgor pojedinih šarži gorivih elemenata (tablica 6.a i b), vidi se da su otpusni odgori po shemi izmjene A1 većinom viši nego prema shemi A2.
6. Kod sheme izmjene A3, koja vrijedi samo za prijelazne cikluse i koja završava s ravnotežnim ciklusom po shemi A1, znatno su veći otpusni odgori prve i druge šarže gorivih elemenata obogaćenja 2,1% i 2,6% (oko 7 000 [MWD/MTU], odnosno 5 000 [MWD/MTU]). Za obogaćenje 3,1% otpusni odgor je nešto niži (oko 3 500 [MWD/MTU]). Kod šarže svježeg goriva u drugom ciklusu odgor je niži za oko 3 700 [MWD/MTU], ali to se odnosi samo na 20 gorivih elemenata, koliko se stavlja na početku drugog ciklusa, za razliku od 40 i 42, koliko ih se stavlja po shemi A1 i A2. Iz tog bitno manjeg broja svježih gorivih elemenata koji se stavljaju u drugom ciklusu trebala bi proizaći glavna ušteda u prijelaznim ciklusima. Prema tome, shema A3 može se u praksi primijeniti, ako se želi, zbog zahtjeva cjelokupnog energetskog sistema, u danom ciklusu postići manja proizvodnja energije (zbog, recimo, usklađivanja remonta s drugim elektranama).

6. ZAKLJUČCI

Na osnovi proračuna ravnotežnih i prijelaznih ciklusa mogu se donijeti ovi zaključci:

1. Za ravnotežne cikluse najpovoljnije je, što se tiče troškova proizvodnje električne energije, primijeniti shemu izmjena A1 s obogaćenjem svježeg goriva 3,44% uz uvjet da se postižu proračunati otpusni odgori od 33 000 [MWD/MTU]. Međutim, prije nego se prihvati ova shema izmjene, potrebno je načiniti proračun faktora vršne snage (nuklearni faktor vrućeg kanala F_Q^N i vršni faktor porasta entalpije $F_{\Delta H}^N$) i omjer krize vrenja (»DNB ratio«) za dani ciklus i usporediti ih s vrijednostima koje su navedene u tehničkim specifikacijama (pogonskim uputstvima) za razmatrani reaktor. Ako bi ovaj proračun pokazao da navedeni faktori vršne snage nisu prihvatljivi, tada bi, prema rezultatima ovog rada, najpovoljnija kombinacija bila shema izmjene A1 s obogaćenjem od 3,40% U-235.

Kao što se vidi iz tablice 6.a i b otpusni odgor bio bi 32 600 [MWD/MTU].

2. Za bilo koje obogaćenje povoljnija je shema izmjene A1 od sheme A2 u pogledu troškova proizvodnje električne energije. Očito je da se obogaćeni uran u shemi izmjene A1 iskorištava na efikasniji način.
3. Za prijelazne cikluse, osim razmatranih shema izmjene A1 i A2, pokazala se prihvatljiva i shema izmjene A3. Tom se shemom znatno povećava iskorištenje goriva prve jezgre (veći otpusni odgor), a smanjuju se troškovi goriva za drugi ciklus jer se stavlja 50% manje svježeg goriva. Ako se jednostavnim proračunom usporede gubitak od manjeg odgora (3 618 [MWD/MTU] za obogaćenje 3,44%) i smanjenje troškova za kupnju svježeg goriva, ostvaruje se znatna ušteda. Problem je u tome da li je šira društvena zajednica toliko deficitarna energijom da mora manjak proizvedene energije nadoknaditi iz drugih izvora koji mogu biti mnogo skuplji. U tom slučaju bi posebno trebalo provjeriti bilancu troškova u elektroprivrednom sistemu.
4. Shema izmjene A3 pokazala je također da bi vrijedilo ispitati i druge moguće sheme na tom principu (ponovo unošenje dijela prve (2,1%) i druge (2,6%) šarže goriva u ciklusima 3 i 4), uz već spomenut uvjet da se manjak proizvedene električne energije može nadoknaditi iz drugih izvora približno iste cijene kao što je cijena proizvedene energije iz nuklearne elektrane.

LITERATURA

[1] J. M. ARAGONES, J. MARTINEZ, M. r. CORRELA, »Nuclear Technology **34**«, August 1977.

[2] P. LOIZZO, »RIBOT-5, BNWL-735 UC-80 Reactor Technology«, February 1968.

[3] NE Krško Final Safety Analysis Report, Chapter 4.

[4] H. W. GRAVES, Jr., »Nuclear Fuel Management«, John Wiley and Sons, New York 1979.

[5] R. K. HALING, »Nuclear Performance of Power-Reactor Cores«, TID-7672, USAEC, 1963.

[6] D. L. DELP, D. L. FISHER, J. M. HARRIMAN, M. J. STADWELL, »FLARE-A Three Dimensional Boiling Water Reactor Simulator«, GEAP-4598, General Electric Company (1964).

[7] Reference Krsko Fuel Cycle: »Cycling Scheme and Burnup«, Westinghouse Electric Corp., Nuclear Fuel Division, July 1976.

[8] Krško Nuclear Power Plant »Nuclear Fuel Cycle Plan and Isotopic Tables«, Westinghouse Electric Corporation, Nuclear Fuel Division, February 1978.

[9] K. CHITAKARA, J. WEISMAN, »Nuclear Technology **24**«, October 1974.

[10] BO-IU LIN, B. ZOLOTAR, J. WEISMAN, »Nuclear Technology **44**« (1979).

[11] J. HARRIS, »Nuclear Technology **46**« (1979).

[12] P. SILVENNOINEN, »Reactor Core Fuel Mamagement«, Pergamon Press 1976.

[13] Z. LOVAŠIĆ, »Proračun ravnotežnih i prijelaznih gorivih ciklusa kod lakovodnih reaktora«, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 1981.

CALCULATION OF EQUILIBRIUM AND TRANSIENT FUEL CYCLES FOR PWR's

In the article is presented calculation for equilibrium and transient fuel cycles for PWR's. Calculation is performed by computer programs SOTHIS, CICLON and NPP Krško, reactor is taken as a reference. Calculated is optimal fuel enrichment and scheme for refueling for equilibrium cycle. Examined are two transient cycles and special scheme for refueling for this conditions.

BERECHNUNG DER GLEICHGEWICHTS UND ÜBERGANGSBRENZYKLEN BEI LEICHTWASSERDRUCKREAKTOREN

Überprüft wurden Gleichgewichts und Übergangsbrennzyklen für Leichtwasserdruckreaktoren. Verwendet wurden die Progamme SOTHIS und CICLON, und als Berechnungsreaktor diente der Kernreaktor des Kernkraftwerkes Krsko.
Man fand die optimale Bereicherung und das Shema des Brennstoffaustausches für den Gleichgewichtszyklus. Untersucht wurden auch zwei Arten von Übergangszyklen und ein besonderes Änderungsshema für Übergangszyklen.

РАСЧЕТ УСТАНОВИВШИХСЯ И ПЕРЕХОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ ЛЕГКОВОДНЫХ РЕАКТОРОВ

Исследовалис| установившиеся и переходные топливные циклы легководных реакторов. Испол|зовалис| программы Зотис и Циклон, а в качестве реперного реактора послужил ядерный реактор АЭС »Кршко«. Найдено оптимал|ное обогащение и схема замены топлива для установившегося цикла. Исследованы также два вида переходных циклов и особая схема замены для переходных циклов.

Naslov pisaca:

Zvonko Lovašić, dipl. ing.
»Elektroprojekt« 41000 Zagreb,
Proleterskih brigada 37
Marijan Jurčević, dipl. ing.
Nuklearna elektrana, 68270
Krško
Bojan Petković, dipl. ing.
Institut »Ruđer Bošković« 41000
Zagreb

Uredništvo primilo rukopis 1983. 11 01.

METODA ZA PRORAČUN POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI PRIJENOSNE MREŽE — PROGRAM NEVA

Boris Kalan, Zagreb

UDK 621.316.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazana je metoda za proračun pouzdanosti i raspoloživosti prijenosne elektroenergetske mreže. Metoda se temelji na principu minimalnog reza, a koristi se algoritam dekompozicije kojim se stanja mreže rastavljaju na uspješna i neuspješna. Prikazane su i mogućnosti kompjutorskog programa NEVA prilagođenog za rad na elektroničkom računalu Instituta.

Ključne riječi: pouzdanost, prijenosna mreža, metoda proračuna.

1. UVOD

Za proračun pouzdanosti i raspoloživosti prijenosne mreže postoji više metoda, npr. metoda stabla događaja, metoda Markova, metoda minimalnog reza itd. U ovom članku prikazana je metoda koja se osniva na minimalnom rezu, kao i mogućnosti kompjutorskog programa NEVA (Network Evaluation) koji je prilagođen za rad na računskom stroju Instituta za elektroprivredu.

Pomoću kvantitativne analize za koju se koriste pogonski podaci o kvarovima pojedinih komponenata sistema (vod, transformator i generator) mogu se dobiti vjerojatnosti da će sistem biti u uspješnom stanju, tj. da će biti u stanju snabdjeti svako pojedino opterećenje. Također je moguće odrediti kritične komponente koje uzrokuju neuspješno stanje sistema, te relativnu važnost kvara svake pojedine komponente pri procjeni pouzdanosti i raspoloživosti cijeloga elektroenergetskog sistema.

2. POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST

Pouzdanost je vjerojatnost da će komponenta ili sistem obavljati određenu funkciju kroz određeno razdoblje. U najjednostavnijem slučaju nije dozvoljen popravak unutar promatranog perioda.

U većini slučajeva za proračun pouzdanosti koristi se izraz

$$R(t) = \mathrm{EXP}\,|-\lambda t|,$$

gdje je

$R(t)$ — pouzdanost
λ — konstanta vjerojatnost kvara komponente
t — promatrano razdoblje.

Za male vrijednosti produkta λt, a one se najčešće susreću, izraz za pouzdanost je

$$R(t) = 1 - \lambda t.$$

Kao primjer pouzdane funkcije može se navesti visokonaponski vod koji spaja dva područja elektroenergetskog sistema, čiji bi kvar u toku velike potrošnje uzrokovao redukcije ili druge pogonske poteškoće.

Raspoloživost se može smatrati kao dio vremena u kome je sistem pogonski spreman. Postoje li pogonski podaci o sistemu, raspoloživost se može izračunati iz izraza

$$A = \frac{\text{vrijeme ispravnosti}}{\text{vrijeme ispravnosti} + \text{vrijeme kvara}}.$$

U raspoloživosti je uključen kvar, tj. kompletan gubitak funkcionalnosti kao i odgovarajuće vrijeme popravka. Budući da se neki kvarovi u sistemu mogu odmah detektirati i neposredno popraviti, a neki kvarovi se uoče tek u toku periodičnih pregleda, proizlazi da je vrijeme kvara u funkciji intervala pregleda i stvarnog trajanja popravaka.

Raspoloživost se ne računa u funkciji vremena, kao pouzdanost, te je stoga vremenski invarijantna.

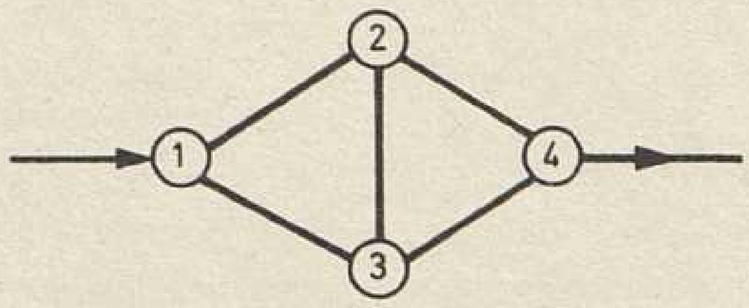
Raspoloživost se može odrediti kao vjerojatnost da će sistem biti funkcionalan u bilo kojem trenutku u budućnosti.

3. MINIMALNI REZ

Jedan je od osnovnih zahtjeva kod analiza pouzdanosti složenih sistema da se odrede kritična stanja pojedinih komponenata ili cijeloga sistema. Ta kritična stanja predstavljaju rez sistema. Rez je skup komponenata koje pripadaju sistemu, tako da u slučaju ispada svih komponenata dolazi do neuspješnog sta-

nja cijeloga sistema. Minimalni rez je jedinstveni skup neuspješnih komponenata kod kojeg u slučaju povrata bilo koje komponente u uspješno stanje dolazi do povrata sistema u uspješno stanje.

Metoda minimalnog reza, koja je zapravo približna metoda za proračun pouzdanosti, prikazana je pomoću primjera na sl. 1.



Slika 1.

U slučaju ispada voda $\overline{12}$ i voda $\overline{13}$ dolazi do prekida napajanja u čvoru 4, te takva kombinacija čini minimalni rez. Također, ispad voda $\overline{24}$ $\overline{34}$ je minimalni rez. Sljedeći korak je da se vod $\overline{12}$ drži u neuspješnom stanju i promatraju se sljedeće kombinacije ispada koje dovode do neuspješnog stanja sistema. Kombinacija $\overline{12}$ i $\overline{24}$ i $\overline{34}$ nije minimalni rez jer povrat voda $\overline{12}$ ne dovodi sistem u uspješno stanje. Sljedeći minimalni rez je kombinacija $\overline{12}$, $\overline{23}$ i $\overline{34}$. Tada se vod $\overline{12}$ povrati u uspješno stanje, a vod $\overline{13}$ postaje neuspješan. Sljedeći minimalni rez je kombinacija $\overline{13}$, $\overline{23}$ i $\overline{24}$. Vod $\overline{13}$ se povrati u uspješno stanje. Cijeli postupak je gotov kada je u uspješnom stanju tolik broj komponenata da ne može doći do neuspješnog stanja cijeloga sistema. Nepouzdanost cijelog sistema dobije se iz izraza

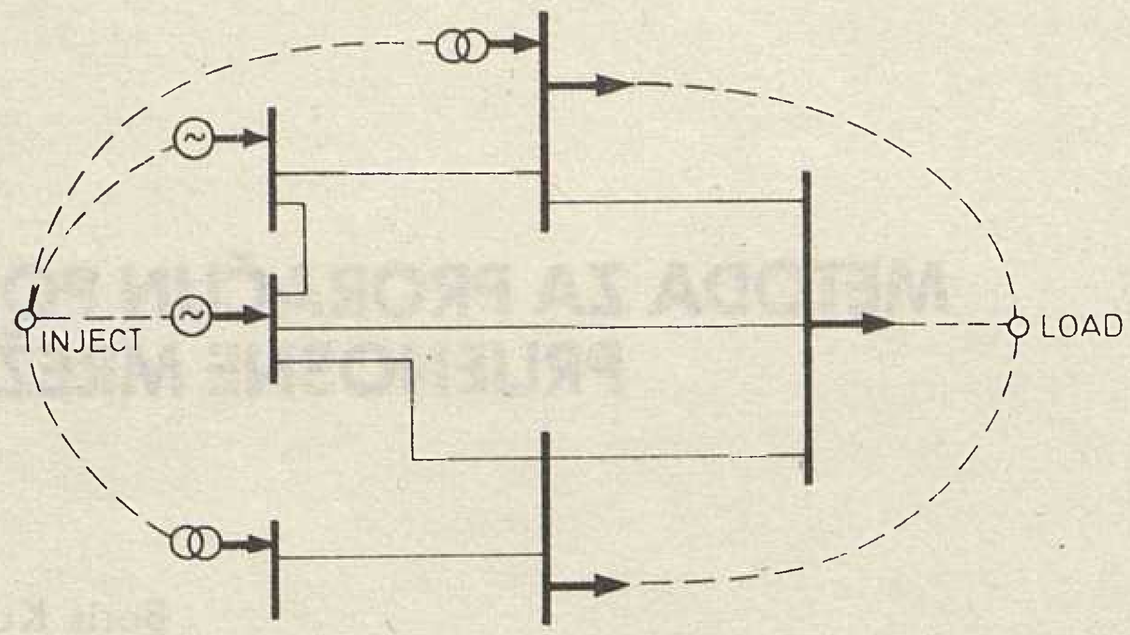
$$\overline{R} = \overline{P}_{12} \cdot \overline{P}_{13} + \overline{P}_{24} \cdot \overline{P}_{34} + \overline{P}_{12} \cdot \overline{P}_{23} \cdot \overline{P}_{34} + \overline{P}_{13} \cdot \overline{P}_{23} \cdot \overline{P}_{24},$$

gdje je $\overline{P}_{ij}$ vjerojatnost ispada voda. U slučaju malih vjerojatnosti mogu se zanemariti članovi sa 4 i više faktora.

4. METODOLOGIJA PROGRAMA NEVA

Prema toj metodi mreža je prikazana u obliku klasične transportne mreže, tj. suma ulaznih tokova u svako čvorište jednaka je sumi izlaznih tokova. Vodovi i transformatori prikazani su kao stohastičke komponente, tj. pomoću različitih kapaciteta prijenosa (C) i odgovarajućih vjerojatnosti (P). Svi izvori su prikazani pomoću stohastičkog voda koji povezuje određeni čvor i fiktivni čvor neizmjernog kapaciteta. Sva opterećenja su prikazana pomoću determinističkih vodova od određenog čvora do fiktivnog čvora, kao što je prikazano na slici 2.

Cijela mreža se promatra za sva stanja. Pojedino stanje definirano je određenim vrijednostima kapaciteta prijenosa C_i^j za svaki transportni vod j. Budući da svaki vod j može imati više kapaciteta s odgovarajućim vjerojatnostima p_i^j, uvijek treba biti zadovoljen uvjet $\Sigma\ p_i^j = 1$. Vjerojatnost za stanje k mreže, kada svaki vod ima kapacitet C_k^j, jest



Slika 2.

$$P_k = \prod_j P_k^j.$$

Broj mogućih stanja mreže je dan izrazom

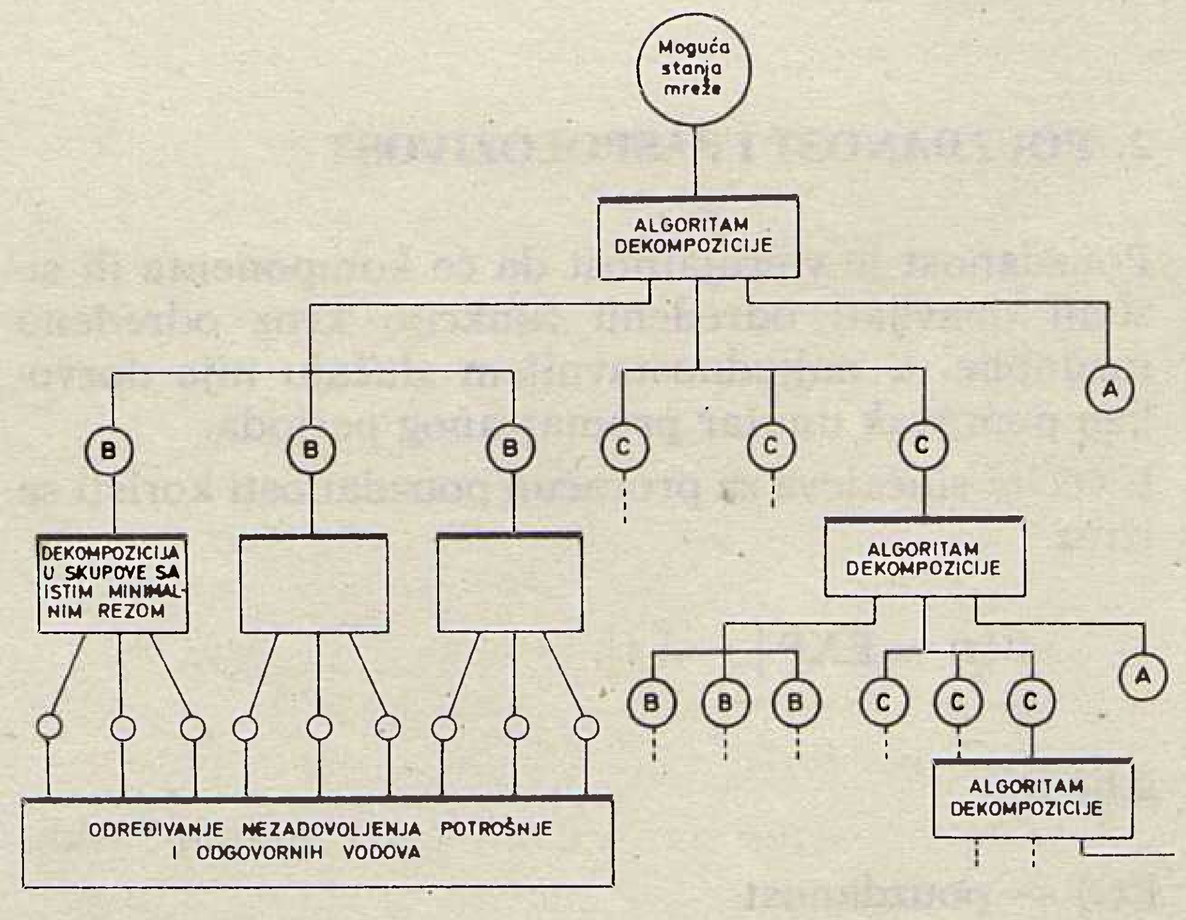
$$N = \prod_j I_j,$$

gdje je I_j broj nivoa kapaciteta grane j. Tako je, na primjer, za mrežu od 30 stohastičkih vodova sa 3 moguća nivoa kapaciteta, broj stanja mreže

$$N = \prod_{j=1}^{30} = 3^{30} \doteq 2.10^{14}.$$

Proračun svih stanja mreže iziskivao bi neprihvatljivo mnogo vremena. Stoga je u toj metodi primijenjen tzv. algoritam dekompozicije pomoću kojega se određuju neuspješna stanja sistema. Za svako stanje mreže vrši se proračun tokova snaga (jednostavni transportni model) te se određuje da li je moguće u potpunosti zadovoljiti potrošače ili nije. Algoritam dekompozicije sastoji se u tome da se skup stanja mreže razbije u tri podskupa (sl. 3):

- skup stanja mreže u kojem su zadovoljena sva opterećenja (A)
- skup stanja mreže u kome bar jedno ili više opterećenja nije potpuno zadovoljeno (B)
- skup stanja mreže za koji još nije određeno da li spada u kategoriju A ili B (C).



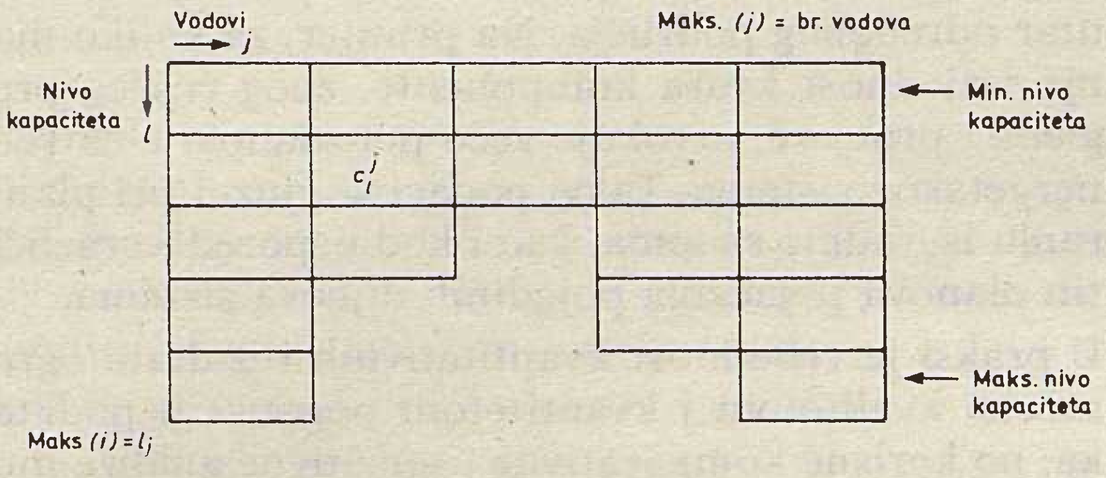
Slika 3.

Skup stanja mreže u kategoriji A je zadovoljavajući i za njega nije potrebno provoditi daljnja ispitivanja. Skup stanja u kategoriji B je nezadovoljavajući, i on se razbija u isključive podskupove koji su karakterizirani istim minimalnim rezom. Kada su takvi podskupovi određeni, računa se kombinatornom tehnikom odgovarajuća vjerojatnost gubitaka napajanja kao i kritični vodovi koji uzrokuju gubitak napajanja.

Skup stanja kategorije C ponovno se ispituje i razbija u tri kategorije, na isti način kao i početni skup.

Postupak proračuna je gotov kad je suma vjerojatnosti svih skupova u kategoriji A i B veća od zadane vrijednosti (npr. 0,99). To znači da nisu ispitana sva stanja mreže i da je ukupna vjerojatnost za stanja koja nisu ispitana manja od 0,01.

Razbijanje stanja mreže u podskupove A, B i C radi se na sljedeći način: za svaki vod je skup kapaciteta prikazan u tablici na sl. 4.



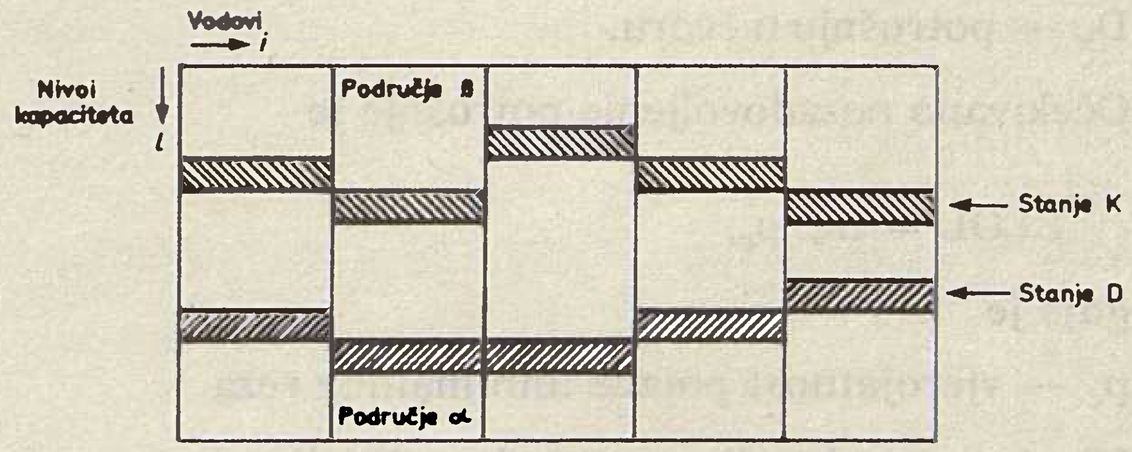
Slika 4.

Svaki vod j ima više nivoa kapaciteta C_i^j, pa je ukupan broj nivoa za vod j jednak I_j. Pojedino stanje mreže određuje se tako da je pojedini vod na nivou $L_j = I_j$, te se takvo stanje mreže označuje sa $L = \{L_j\}$. Odgovarajući kapaciteti C_{LJ} nalaze se u tablici na sl. 4, dok su odgovarajuće vjerojatnosti prikazane u jednako organiziranoj tablici vjerojatnosti. Kao što je vidljivo, tablica je određena s dva granična stanja: minimalni i maksimalni niovi kapaciteta. Radi razbijanja skupa stanja mreže u podskupove A, B i C potrebno je odrediti dva specijalna stanja mreže, i to:

— dominantno stanje $D = \{D_j\}$. To je uspješno stanje, tj. konzum je potpuno zadovoljen, a određeno je tako da za svako stanje mreže L treba biti $Lj \geq D_j$.

— kritično stanje $K = \{K_j\}$. To je neuspješno stanje, tj. konzum se ne može u potpunosti zadovoljiti kada su uzeti u obzir kapaciteti vodova. To stanje L je određeno $Lj < K_j$ barem za jedan vod j. Na slici 5. prikazana su stanja D i K kao granice dva područja, i to područja α i β, tako da su:
  — sva stanja sadržana u području α uspješna (podskup A)
  — sva stanja, od kojih je barem jedan nivo kapaciteta u području β, su neuspješna (podskup B)
  — skup C je skup stanja koja ne pripadaju podskupu A ili B.

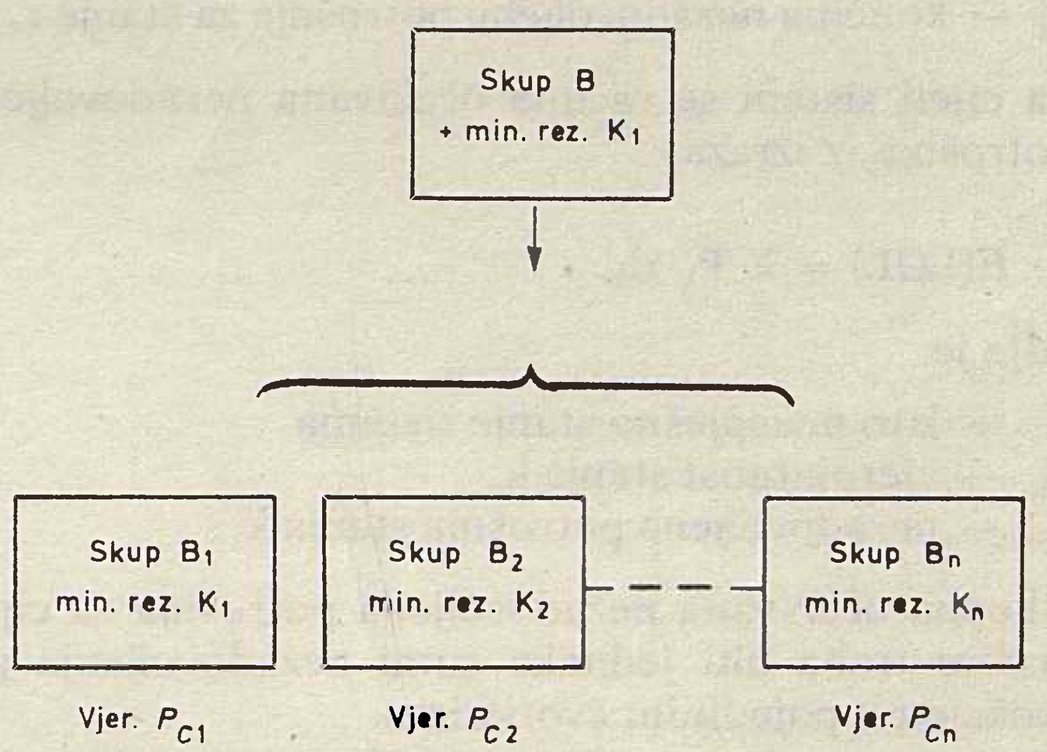
Skupovi kategorije B i C prikazani su u tablicama koje su određene donjim i gornjim graničnim stanjem.



Slika 5.

Tablice C spremaju se na disk radi kasnije analize, tj. sličnog razbijanja u podskupove u kasnijoj iteraciji.

Tablice B predstavljaju neuspješna stanja mreže i minimalni rez, tj. kritični vodovi koji odgovaraju gornjem nivou mreže su određeni. Budući da tablice B mogu sadržavati i druge minimalne rezove, provodi se smanjivanje nivoa kapaciteta pojedinih vodova i po potrebi proračun novih tokova snage u mreži radi pronalaženja stanja mreže sa drugim kritičnim vodovima. Kao rezultat, tablica neuspješnih stanja razbija se u niz tablica, od kojih svaka ima određene kritične vodove, kao što je to prikazano na sl. 6.



Slika 6.

Za svaki podskup neuspješnih stanja mreže računa se očekivano nezadovoljenje potrošnje, a vodovima koji su određeni minimalnim rezom pripisuu se vjerojatnosti pojave toga stanja. Očekivano nezadovoljenje potrošnje računa se na sljedeći način. Za svaki vod j iz minimalno reza, računa se srednji kapacitet prijenosa iz izraza

$$\bar{C}_j = \frac{\sum_i C_i^j \, p_i}{\sum_i I_i \, p_i},$$

gdje je C_i^j kapacitet voda za stanje i, a p_i odgovarajuća vjerojatnost za nivo kapaciteta voda.

Nezadovoljenje potrošnje za područje određeno minimalnim rezom određuje se iz izraza

$$LL = \sum_k D_k - \sum_j \bar{C}_j,$$

gdje je

k — čvor izoliran sa minimalnim rezom

D_k — potrošnju u čvoru.

Očekivano nezadovoljenje potrošnje je

$$ELOL = LL.\ p_c,$$

gdje je

p_c — vjerojatnost pojave minimalnog reza.

Ukupna nezadovoljena potrošnja dijeli se na čvorove izolirane minimalnim rezom, proprocionalno potrošnji u pojedinom čvoru.

Vjerojatnost nezadovoljenja potrošnje za pojedini vod određuje se iz p_c vjerojatnosti pojave onog minimalnog reza u kojemu se taj vod pojavljuje. Očekivano nezadovoljenje potrošnje uzrokovano pojedinim vodom računa se iz izraza

$$E(LOL) = \sum_r p_r.d_r,$$

gdje je

r — neuspješno stanje mreže u kojem je vod u kritičnom području
p_r — vjerojatnost stanja r
d_r — količina nezadovoljene potrošnje za stanje r.

Za cijeli sistem se računa očekivana nezadovoljena potrošnja iz izraza

$$E(LOL) = \sum_k P_k\ d_k,$$

gdje je

k — k-to neuspješno stanje sistema
p_k — vjerojatnost stanja k
d_k — nezadovoljena potrošnja stanja k.

Ukupna očekivana nezadovoljena potrošnja za cijeli sistem treba biti jednaka sumi nezadovoljenja potrošnje po pojedinim čvorištima.

Ako se programom NEVA ispituju veliki sistemi, može se postići značajna ušteda u vremenu podijeli li se mreža u nezavisna područja. Algoritam dekompozicije tada se primjenjuje postepeno na svako područje. U toku proračuna pojedinog područja, izvori i opterećenja od ostalih područja se sažimaju u fiktivni čvor. Pošto se ispituju sva područja, rezultati dobiveni za pojedina područja kombiniraju se radi proračuna očekivanog nezadovoljenja potražnje u svakom čvoru i određivanja kritičnih vodova.

5. MOGUĆNOSTI PROGRAMA NEVA

Program NEVA, koji je prilagođen za rad na računskom stroju Instituta za elektroprivredu (PDP 11/70), može služiti za analizu mreže slijedeće veličine:

a) za cijelu mrežu
   — maksimalno 90 čvorova
   — maksimalno 160 linija (vodovi, transformatori i generatori)
   — 1 nivo potrošnje
   — maksimalno 3 područja,
b) za pojedino područje uključivo s mrežom interkonekcije
   — maksimalno 40 čvorova
   — maksimalno 120 linija
   (od čega 100 stohastičkih linija).

Program zauzima oko 32 k riječi memorije (1 riječ je 2 byte) u tehnici preklapanja (overlay). Vrijeme proračuna za model od 24 čvora i 45 vodova iznosi oko 2 sata.

6. ZAKLJUČAK

Pomoću opisane metode moguće je izračunati vjerojatnost opskrbe i očekivanu neisporučenu energiju za svaki čvor prijenosne mreže, kao i za cijeli sistem. Također, moguće je odrediti i kritične elemente mreže (vod, transformator i generator) koji uzrokuju neuspješna stanja cijeloga sistema.

Matematički se model može koristiti i za senzitivne analize, tj. analize koje određuju promjene stanja sistema ako se mijenja jedan ili više parametara unutar određenog područja. Na primjer, za koliko manja vrijednost kvara komponente, zbog češćeg pregleda i provjere, uzrokuje veću pouzdanost elektroenergetskog sistema. Takvi podaci su nužni pri planiranju izgradnje sistema, kao i kod usporedbe različitih planova pojačanja pojedinih dijeova sistema.

U praksi je vrijednost kvantitativnih rezultata ograničena kvalitetom i kvantitetom pogonskih podataka, no korisne komparativne i senzitivne analize mogu se provoditi bez velikih količina ulaznih podataka.

LITERATURA

[1] NEVA-III User' s Manual System Europe, Bruxelles
[2] NEVA-II Program Description, System Europe, Bruxelles
[3] A Simple Technique for Computing Network Reliability, IEEE Transactions on reliability, Vol. R-31

METHOD FOR CALCULATION OF RELIABILITY AND AVAILABILITY FOR TRANSMISSION NETS — PROGRAM NEVA

In the article is presented a method for calculation of reliability and availability for transmission nets. Method is based on theory of minimal cut and decomposition algorithm is used for breaking network states in satisfactory and unsatisfactory sets. Presented are characteristics of computer program NEVA that is implemented on PDP 11/70.

METHODE FÜR DIE BERECHNUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT UND MÖGLICHKEIT DES ÜBERTRAGUNGSNETZES — PROGRAMM NEVA

Geschildert wurde die Methode für die Berechnung der Zuverlässigkeit und Möglichkeit des Übertragungsnetzes. Die Methode basiert am Prinzip des Minimalschnittes und man gebraucht den Algorithmus der Dekomposition mit der die Netzlagen in erfolgreiche und nicht erfolgreiche gegliedert werden. Erörtert wurden auch die Möglichkeiten des Computerprogramms NEVA das auf die Elektrorechner des Instituts abgestimmt wurde.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ И РАСПОЛАГАЕМОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ — ПРОГРАММА »НЕВА«

Изложен метод расчета надежности и располагаемости магистральной электросети. Метод основан на принципе минимального сечения, а используется алгоритм декомпенсации, при помощи которого расчленяется на успешное и неуспешное. Также показаны возможности программы ЭВМ »Нева«, приспособленного для ЭВМ Института.

Naslov pisca

Mr Boris Kalan, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, 41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis
1984 - 03 - 20.

OPIMALNI RASPORED REMONTA TERMOAGREGATA U GODIŠNJOJ BILANCI

mr Stipe Fuštar, Split

UDK 621.311.2.005

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Razmatra se rješavanje problema optimalnog plana remonta termoagregata hidro-termosustava u godišnjim planovima rada elektroenergetskog sustava uz uvažavanje hidrološke neizvjesnosti.

Ključne riječi: termoagregati, remont, godišnja bilanca.

1. UVOD

Veoma važno mjesto u godišnjim planovima rada elektroenergetskog sustava pripada postupku određivanja rasporeda remonta termoagregata, koji u elektroenergetskoj bilanci znatno utječe na ukupne energetsko-ekonomske odnose u sustavu.

Tako se za određeni konzum rasporedom remonta može utjecati na nivo rezervne snage u nizu razdoblja koji se promatraju, čime se znatno pridonosi sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom. Tako osigurana dodatna rezervna snaga za određenu sigurnost rada elektroenergetskog sustava omogućava prolongiranje početka izgradnje novih elektrana uz odgovarajuće uštede u investicijama i troškovima eksploatacije.

Planiranjem remonta agregata u periodima kada najmanje doprinose elektroenergetskom sustavu postiže se dulje korištenje ekonomičnijih agregata, čime se ostvaruju i uštede u troškovima za gorivo.

S obzirom na navedene i druge manifestacije rasporeda remonta termoagregata u elektroenergetskoj bilanci razvijen je niz kriterija za pronalaženje optimalnog plana remonta.

Zbog vrlo velikog udjela hidroelektrana u ukupnoj proizvodnji električne energije u elektroenergetskom sustavu Jugoslavije i Hrvatske razvijen je postupak kojim se uvažava hidrološka neizvjesnost pri određivanju plana remonta.

Remont agregata u hidroelektranama ne uzima se u obzir jer njihov remont normalno kratko traje, pa se može izvesti u doba malih voda.

2. FORMULACIJA PROBLEMA OPTIMALNOG RASPOREDA REMONTA TERMOAGREGATA U LINEARNOM 0-1 PROGRAMIRANJU

Prvi korak u rješavanju svakog optimizacionog zadatka jest izbor optimizacione metode, koji općenito ovisi o mogućnostima same metode i fizikalnom smislu problema. Za problem određivanja optimalnog rasporeda remonta termoagregata potrebno je voditi brigu da izabrana metoda u prvom redu maksimalno uvažava stvarne energetsko-ekonomske odnose u elektroenergetskom sustavu, a zatim i da zadovoljava kriterije u pogledu brzine pronalaženja optimalnog rješenja i zauzeća memorije elektroničkog računala. Kod numeričkih postupaka u operacionim istraživanjima bitno je pojednostavnjenje ako su dane relacije linearne. S obzirom i na diskretnu prirodu problema »vršiti ili ne vršiti remont nekog agregata unutar nekog perioda« najprihvatljivije je problem optimalnog rasporeda remonta termoagregata formulirati kao problem linearnog 0-1 programiranja.

Svaki zadatak linearnog 0-1 programiranja općenito se formulira na sljedeći način:

Potrebno je naći M-vektor $\underline{x}$ koji minimizira skalarnu funkciju cilja,

$$z = \underline{c}^t \underline{x} \tag{1}$$

uz ograničenja

$$\underline{A}\,\underline{x} \leqslant \underline{b} \tag{2}$$

ili

$$\underline{y} = \underline{A}\,\underline{x} - \underline{b} \leqslant 0, \tag{3}$$

gdje su

$$x_k = 0 \text{ ili } 1,\ k = 1, \ldots M \tag{4}$$

Svaki M-vektor $\underline{x}$ koji zadovoljava (4) jest rješenje problema. Dozvoljeno rješenje $\underline{x}$ jest ono koje zadovoljava ograničenja (2), tj. (3). Dozvoljeno je rješenje optimalno ako za takav M-vektor $\underline{x}$ funkcija cilja (1) ima minimalnu vrijednost.

Za ilustraciju optimizacionog modela poslužit će jednostavni primjer pomoću kojeg će se pratiti definiranje nepoznanica, formiranje funkcije cilja za različite kriterije, formiranje ograničenja, a i sam postupak optimiranja.

Primjer 1.

U razdoblju od 4 vremenske jedinice potrebno je staviti u remont 3 agregata. Podaci agregata dani su u tablici 1, a podaci perioda u tablici 2.

Tablica 1. Podaci agregata

j	Naziv	Snaga | MW P_j	Raspoloživost r_j	Cij. goriva din/kWh d_j	Početak remonta		Trajanje remonta t_j
					Od t_{pj}	Do t_{kj}	
1	Agregat I	90	0,90	1,0	1	3	2
2	Agregat II	120	0,85	2,0	1	3	1
3	Agregat III	50	0,80	10,0	2	3	2

Tablica 2. Podaci perioda

i	Naziv	Potrošnja P_{MAX} |MW| W|GWh|		Dozvoljena snaga za remont |MW|
1	Period 1	100	50	160
2	Period 2	80	40	180
3	Period 3	60	30	200
4	Period 4	130	62,4	130

Dodatni uvjeti:

a) Agregat I i agregat II ne smiju biti istovremeno u remontu,
b) Remont agregata III mora početi jednu vremensku jedinicu nakon početka remonta agregata II.

2.1. Nepoznanice

Problem optimalnog rasporeda remonta termoagregata potpuno je riješen kada su poznati počeci remonta svih agregata predviđenih za remont. Naime, podatak o potrebnom trajanju remonta svakog agregata je poznat, pa su, prema tome, s poznavanjem perioda u kojem remont nekog agregata počinje poznati i ostali periodi (ako ih ima) u kojima je promatrani agregat u remontu.

Zbog toga se nepoznanice x definiraju kao periodi u kojima može početi remont svakoga pojedinog agregata. Svaki x_k ($k = 1, \ldots M$) se pridružuje početku remonta agregata j u periodu i. Ako je $x_k = 1$, znači da remont agregata j počinje u periodu i; u protivnom je $x_k = 0$. Broj varijabli pridružen svakom agregatu može biti različit, ovisno o tome u kojem je vremenskom intervalu dozvoljen početak remonta određenog agregata. Ukupni broj nepoznanica jednak je sumi nepoznanica pridruženih svakom agregatu, tj.

$$M = \sum_{j=1}^{N} (t_{kj} - t_{pj} + 1), \qquad (5)$$

gdje su

j — indeks (redni broj) agregata
N — ukupni broj agregata
t_{pj} — najraniji dozvoljeni početak remonta agregata j
t_{kj} — najkasniji dozvoljeni početak remonta agregata j.

Pridruživanje nepoznanica obavlja se po listi agregata (tablici 1.), na čiji redoslijed se za sada ne postavljaju nikakvi zahtjevi. Sam postupak pridruživanja nepoznanica agregatima za primjer 1. prikazan je u tablici 3. U tablici 3. lako se uočava kojem je agregatu pridružena svaka nepoznanica i na koji se period odnosi. Tako je npr. nepoznanica x_6 pridružena agregatu II i odnosi se na početak remonta u periodu 3.

Tablica 3. Nepoznanice za primjer 1.

Agregat j	Remont počima u periodu	Pridružene nepoznanice
I	1	x_1
I	2	x_2
I	3	x_3
II	1	x_4
II	2	x_5
II	3	x_6
III	2	x_7
III	3	x_8

Nepoznanice x se mogu definirati i kao periodi u kojima je agregat u remontu. Međutim, takav pristup zahtijeva više nepoznanica i dodatna ograničenja, što povećava vrijeme računanja i zauzeće memorije elektroničkog računala, te smanjuje efikasnost optimizacionog postupka.

2.2. Funkcija cilja

Metoda linearnog 0-1 programiranja može se primijeniti za različite kriterije koji slijede iz specifičnih zahtjeva u elektroenergetskom sustavu. Kriteriji pronalaženja optimalnog rješenja izražavaju se linearnom funkcijom cilja.

Funkcija cilja ili objektivna funkcija (1) može se pisati u obliku

$$z = \sum_{k=1}^{M} c_k \; x_k, \qquad (6)$$

gdje su

k — indeks (redni broj) nepoznanice
M — ukupni broj nepoznanica.

Koeficijenti c_k (k = 1, . . . M) funkcije cilja ovise o odabranom kriteriju optimalnosti, a određuju se posebno za svaki kriterij.

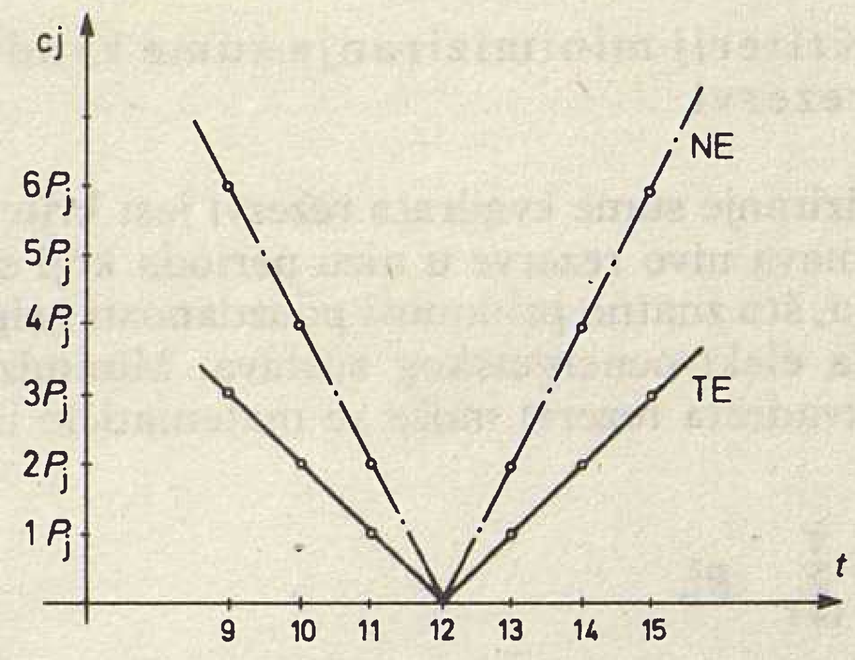
Pri tome je potrebno voditi brigu o tome da funkcija cilja treba da bude linearna, te je svaku nelinearnu objektivnu funkciju nužno linearizirati. U ovom radu razmatraju se sljedeći kriteriji optimalnog rasporeda remonta termoagregata:

- kriteriji kojim se usmjerava najpovoljniji razmak između dvaju uzastopnih remonata
- kriterij rezerve
- kriterij troškova goriva u termoelektranama
- kriterij koji uvažava sve gornje kriterije ili neke od njih, tzv. višekriterijalna funkcija cilja.

2.2.1. Kriterij maksimalnog uvažavanja razmaka između dva uzastopna remonta

Upotreba ovog kriterija zasniva se na minimiziranju troškova remonta i zahtijeva poznavanje troškova za održavanje i zavisnosti od vremenskog razmaka između dva remonta. Ovakvi podaci u praksi ne postoje, pa se procjenjuju tzv. težinski faktori kao koeficijenti funkcije cilja. Težinski faktori uzimaju u obzir činjenicu da svaki agregat treba da ide u remont jednom godišnje, odnosno da je za vremenski interval između dva remonta poželjno da bude 12 mjeseci. Ako se remont obavi prije tog roka, povećava se cijena koštanja remonta. Ako se remont odlaže, cijena održavanja se osjetno povećava zbog povećane opasnosti od neočekivanih ispada i kvarova agregata. Troškovi remonta i održavanja općenito ovise o veličini agregata i tipu termoelektrane pa je tu činjenicu potrebno uvažiti pri formiranju koeficijenata funkcije cilja. Težinski se faktori procjenjuju na način da za prijevremeni ili zakašnjeli početak remonta u odnosu na poželjni početak remonta (razmak 12 mjeseci) koeficijenti funkcije cilja dobivaju sve veće vrijednosti kako slijedi: 0, P_j, $2P_j$, $3P_j$. . gdje P_j predstavlja snagu j-tog agregata. Koeficijenti funkcije cilja koji pripadaju agregatu j su dani izrazom (7), a njihov smisao se može vidjeti u grafičkom prikazu na sl. 1.

$$\underline{c} = (. . . . . 3P_j\, 2P_j\, 1P_j\, 0\, 1P_j\, 2P_j\, 3P_j . . . . .)^t \qquad (7)$$



Slika 1. Grafički prikaz koeficijenata funkcije cilja

Ovakva funkcija cilja usmjerava početak remonta agregata 12 mjeseci nakon prethodnog remonta i daje prednost većim agregatima u traženju optimalnog rješenja, jer je pretpostavljeno da je cijena održavanja i remonta razmjerna snazi agregata.

Za nuklearne elektrane remont je povezan s godišnjim ciklusom izmjene goriva, pa je pri određivanju rasporeda remonta nuklearnim elektranama potrebno dati prednost. To se u funkciji cilja izražava bržim rastom pripadnih koeficijenata za prijevremeni ili zakašnjeli početak remonta, tj. 0, $2P_j$, $4P_j$, $6P_j$. . . (sl. 1).

Koeficijenti funkcije cilja koji pripadaju agregatu nuklearne elektrane snage P_j jesu:

$$\underline{c} = (. . . 6P_j\, 4P_j\, 2P_j\, 0\, 2P_j\, 4P_j\, 6P_j . . .)^t \qquad (8)$$

Ovako definirani koeficijenti funkcije cilja (7) i (8), iako grubo procijenjeni, potpuno zadovoljavaju kriterij maksimalnog uvažavanja vremenskog razmaka između dva uzastopna remonta. Ako remont svakog agregata počne 12 mjeseci nakon prethodnog remonta, funkcija cilja imat će vrijednost 0.

Takvo rješenje, ako je dozvoljeno, ujedno je i optimalno. Ako nije dozvoljeno, pri traženju optimalnog rješenja prioritet se daje većim agregatima i agregatima nuklearnih elektrana. Za primjer 1. koeficijenti funkcije cilja jesu:

$$\begin{aligned} c &= (0\; 1 \cdot 90\;\; 2 \cdot 90\;\; 0\;\; 1 \cdot 120\;\; 2 \cdot 120\;\; 0\;\; 1 \cdot 50)^t = \\ &= (0\;\; 90\;\; 180\;\; 0\;\; 120\;\; 240\;\; 0\;\; 50)^t. \end{aligned} \qquad (9)$$

Težinski faktori dobivaju sve veće vrijednosti ako se remont odlaže (prijevremeni remont se ne razmatra). Minimizacija ovakve objektivne funkcije dovodi do vremenski najranije moguće realizacije plana remonta. Potrebno je napomenuti da poželjni razmak između dva uzastopna remonta istog agregata ne mora biti upravo 12 mjeseci. Taj razmak je najčešće 12 mjeseci, ali može biti različit za različite agregate. To ovisi o starosti dijelova, kvaliteti održavanja, učestalosti ispada u proteklom razdoblju, o rezultatima povremenih tehničkih kontrola itd.

2.2.2. Kriterij minimiziranja sume kvadrata rezervi

Minimiziranje sume kvadrata rezervi jest kriterij koji izravnava nivo rezerve u nizu perioda koji se promatraju, što znatno pridonosi pouzdanosti i sigurnosti rada elektroenergetskog sustava. Minimiziranje sume kvadrata rezervi može se matematički izraziti kao

$$\underline{\text{Min}} \sum_{i=1}^{T} R_i^2, \tag{10}$$

gdje su

$$R_i = P_{TE} - P_{ti} - \sum_{j=1}^{N} P_j \; Y_{ij}, \; i = 1, \ldots T \tag{11}$$

R_i — rezerva u periodu i
P_{TE} — ukupna snaga svih termoagregata sustava
P_j — gubitak rezerve kao posljedica remonta agregata j; snaga j-tog agregata
N — broj agregata planiranih za remont
P_{ti} — potrebna snaga iz termoagregata sustava u periodu i
T — ukupni broj vremenskih intervala
$Y_{ij} = 0$ — agregat j nije u remontu u periodu i
$Y_{ij} = 1$ — agregat j je u remontu u periodu i.

Funkcija cilja (10) je nelinearna i potrebno ju je linearizirati, jer odabrana metoda linearnog 0-1 programiranja funkcionira samo uz linearnu funkciju cilja. Uvrštenjem (11) u (10) slijedi:

$$z = \sum_{i=1}^{T} R_i^2 = \sum_{i=1}^{T} (P_{TE} - P_{ti} - \sum_{j=1}^{N} P_j \; Y_{ij})^2. \tag{12}$$

Razvojem u red se dobije:

$$z = z(0) + \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} z'_{ij}(0) \; \Delta Y_{ij} + \text{ostatak}, \tag{13}$$

gdje su

$$z(0) = \sum_{i=1}^{T} (P_{TE} - P_{ti})^2 \tag{14}$$

$$z'_{ij}(0) = \left(\frac{\partial z}{\partial Y_{t\xi}}\right)_{Y_{ij}=0} =$$

$$= -2 (P_{TE} - P_{ti}) P_j, \; j = 1, \ldots N; \; i = 1, \ldots T. \tag{15}$$

»Ostatak« u (13) sastoji se od viših parcijalnih derivacija koje se množe s pripadnom potencijom promjene i čine nelinearni dio koji se zanemari. Budući da Y_{ij} poprima isključivo vrijednosti 0 ili 1, to proizlazi da i ΔY_{ij} također može imati vrijednosti 0 ili 1. Uvrštenjem (14) i (15) u (13) linearizirana funkcija cilja postaje:

$$z = z(0) - 2 \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} (P_{TE} - P_{ti}) \; P_j \; Y_{ij}. \tag{16}$$

Ovako formirana funkcija cilja bit će minimalna ako je njezin drugi član, označimo ga sa z_1, maksimalan.

$$z_1 = \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} (P_{TE} - P_{ti}) \; P_j \; Y_{ij} \tag{17}$$

Uvedimo supstituciju

$$R_{oi} = P_{TE} - P_{ti}, \; i = 1, \ldots T. \tag{18}$$

Izraz (18) predstavlja početni nivo rezerve u elektroenergetskom sustavu.

Za funkciju cilja (17) potrebno je odrediti koeficijente objektivne funkcije iz (6). Pri tome treba uzeti u obzir činjenicu da je problem optimalnog rasporeda remonta termoagregata definiran tako da nepoznanice x predstavljaju periode u kojima remont agregata može početi, a u jednadžbi funkcije cilja (17) figuriraju nepoznanice Y odvijanja remonta.

Koeficijenti c_k ($k = 1, \ldots M$) funkcije cilja uz nepoznanice x odredit će se uz uvjet da funkcije cilja (17) i (6) poprime istu vrijednost za svako jednako moguće rješenje (jednaki počeci remonta svih agregata). Slijedi

$$c_k = \sum_{i}^{i + t_j - 1} R_{oi} \; P_j, \; j = 1, \ldots N; \; i = t_{pj}, \ldots, t_{kj}$$
$$k = 1, \ldots M \tag{19}$$

gdje je

t_j — trajanje remonta agregata j u cjelobrojnim vrijednostima odabranog osnovnog vremenskog perioda.

Zadatak je optimizacijskog postupka da maksimizira funkciju cilja (17). Budući da odabrani model linearnog 0-1 programiranja funkcionira samo za traženje minimuma, potrebno je koeficijente funkcije cilja (19) pomnožiti s (-1) pa se dobije:

$$c_k = -\sum_{i}^{i + t_j - 1} R_{oi} \; P_j, \; j = 1, \ldots N; \; i = t_{pj}, \ldots, t_{kj}$$
$$k = 1, \ldots M \tag{20}$$

Optimizacioni postupak provodi se na način da se pretražuju isključivo moguća rješenja, tj. rješenja koja za svaki agregat imaju specificiran (preko pripadne nepoznanice) uvijek samo jedan period za početak remonta. Očito je da remont bilo kojeg agregata izravno utječe na nivo rezerve u sustavu po relaciji (11), pa je potrebno nivo rezerve korigirati od agregata do agregata po listi agregata, što ima za posljedicu korekciju koeficijenata funkcije cilja (20).

Rezerva na raspolaganju j-tom agregatu je za periode u kojima je (j-1) agregata u remontu:

$$R_{ji} = R_{j-1,i} - P_{j-1}, \; j = 2, \ldots N;$$
$$i = l_{j-1}, \ldots l_{j-1} + t_{j-1} - 1 \tag{21}$$

a za ostale periode i za j = 1 vrijedi:

$$R_{ji} = R_{j-1,i}, \tag{22}$$

gdje je

l_{j-1} — period u kojem počinje remont agregata $(j-1)$,

pri čemu je početni nivo rezerve R_{oi} definiran jednad-

žbom (18). Koeficijent funkcije cilja koja minimizira sumu kvadrata rezervi sada postaju:

$$c_k = -P_j \cdot \sum_{i}^{i + t_j - 1} R_{ji},\ j = 1, \ldots N;\ i = t_{pj} \ldots, t_{kj} \quad (23)$$
$$k = 1, \ldots M$$

P_j u izrazu (23) može se staviti ispred sume jer se sumiranje obavlja po periodima za isti agregat j.

Pri pretraživanju mogućih rješenja ovako određena funkcija cilja se korigira za svako novo moguće rješenje.

Za primjer 1, primjenom jednadžbi (23), (21) i (22), za početno tzv. nominalno rješenje, za koje remont svih agregata počinje u prvom dozvoljenom periodu, tj. $l_1 = 1$; $l_2 = 1$; $l_3 = 2$, dobiju se sljedeći koeficijenti funkcije cilja:

$$\underline{c} = (-30\,600 - 34\,200 - 29\,700 - 8\,400 - 10\,800 - 24\,000 - 145\,000 - 16\,500)^t \quad (24)$$

2.2.3. Kriterij minimiziranja troškova goriva

Općenito, doprinos svakog agregata u elektroenergetskom sustavu u smislu smanjenja troškova proizvodnje električne energije jest funkcija cijene goriva, njegove raspoložive snage i potrošnje u promatranom periodu. Kao mjera doprinosa j-tog agregata u i-tom periodu u smislu troškova goriva može se postaviti izraz:

$$\frac{P_j r_j R_j}{d_j} \quad (25)$$

gdje su

P_j — snaga j-tog agregata
R_i — rezerva u i-tom periodu
d_j — cijena goriva j-tog agregata
r_j — individualni faktor raspoloživosti j-tog agregata.

Doprinos j-tog agregata u smislu smanjenja troškova goriva je veći što je veća potrošnja (manja rezerva R_i) u promatranom periodu, što je veća raspoloživa snaga $r_j \cdot P_j$ agregata i što je manja cijena goriva, odnosno što je izraz (25) manji.

Primijenimo izraz (25) na sve agregate (j = 1, ... N) u i-tom periodu. Slijedi:

$$D_i = \sum_{j=1}^{N} \frac{P_j r_j R_i}{d_j} (1 - Y_{ij}),\ i = 1, \ldots T, \quad (26)$$

gdje je

$Y_{ij} = 0$ — agregat j nije u remontu u periodu i,
$Y_{ij} = 1$ — agregat j je u remontu u periodu i.

Ako u izraz (26) uvrstimo umjesto R_1 izraz (11), slijedi:

$$D_i = \sum_{j=1}^{N} \frac{P_j r_j}{d_j} (P_{TE} - P_{t,i} - \sum_{j=1}^{N} P_j Y_{ij} (1 - Y_{ij}). \quad (27)$$

Da bi se postigao optimum u smislu definiranog kriterija troškova goriva (25), (26) i (27), potrebno je sumu doprinosa svih agregata u sustavu minimizirati u promatranom razdoblju (i = 1, ... T) jer se time postižu najniži troškovi goriva. Tj.:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{T} D_i \quad (28)$$

Funkcija cilja (28) je nelinearna i potrebno ju je linearizirati postupkom sličnim kao i kod kriterija minimiziranja sume kvadrata rezervi, jer odabrana metoda 0-1 programiranja funkcionira samo uz linearnu funkciju cilja. Uvrštenjem (27) u (28) slijedi:

$$z = \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} \frac{P_j r_j}{d_j} (P_{TE} - P_{t,i} - \sum_{j=1}^{N} P_j Y_{ij}) (1 - Y_{ij}). \quad (29)$$

Razvojem u red i odbacivanjem viših članova reda slijedi:

$$z = z(0) + \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} z'_{ij} \Delta Y_{ij}, \quad (30)$$

gdje su

$$z(0) = \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} \frac{P_j r_j}{d_j} (P_{TE} - P_{ti}) \quad (31)$$

$$z'_{ij}(0) = \left(\frac{\partial z}{\partial Y_{ij}}\right)_{Y_{ij}=0} = \frac{P_j^2 r_j}{d_j} - \frac{P_j t_j}{d_j} (P_{TE} - P_{ti}) \quad (32)$$
$$j = 1, \ldots N;\ i = 1, \ldots T.$$

Budući da Y_{ij} poprima isključivo vrijednosti 0 ili 1, to proistječe da ΔY_{ij} također može imati samo vrijednosti 0 ili 1.

Uvrštenjem (31) i (32) u (30) uz supstituciju (18) slijedi:

$$z = z(0) - \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} \left(\frac{P^2 r_j}{d_j} + \frac{P_j r_j}{d_j} R_{oi}\right) Y_{ij}. \quad (33)$$

Tako formirana funkcija cilja bit će minimalna ako je njezin drugi član z_1 maksimalan.

$$z_1 = \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} \left(\frac{P_j^2 r_j}{d_j} + \frac{P_j r_j}{d_j} R_{oi}\right) Y_{ij} \quad (34)$$

Budući da se remont agregata može odvijati samo jednom u promatranom razdoblju, prvi član u izrazu (34) je konstantan, pa funkcija cilja koju je potrebno minimizirati poprima oblik:

$$z'_1 = \sum_{i=1}^{T} \sum_{j=1}^{N} \frac{P_j r_j}{d_j} R_{oi} Y_{ij}. \quad (35)$$

Za funkciju cilja (35) potrebno je odrediti koeficijente c_k objektivne funkcije iz (6). Pri tome treba uzeti u obzir činjenicu da je problem optimalnog rasporeda

remonta termoagregata definiran tako da nepoznanice x predstavljaju periode u kojima remont agregata može početi, a u jednadžbi funkcije cilja (35) figuriraju nepoznaniče *Y* odvijanja remonta.

Koeficijenti c_k funkcije cilja uz nepoznanice x odredit će se uz uvjet da funkcije cilja (35) i (6) poprime istu vrijednost za svako jednako moguće rješenje (jednaki počeci remonta svih agregata). Dobije se:

$$c_k = - \sum_{i}^{i + t_j - 1} R_{oi} \frac{P_j r_j}{d_j}, \quad j = 1, \ldots N;$$
$$i = t_{pj}, \ldots t_{kj}$$
$$k = 1, \ldots M. \qquad (36)$$

Minus u izrazu (36) je zbog toga što odabrani mode linearnog 0-1 programiranja funkcionira samo za traženje minimuma.

Remont bilo kojeg agregata izravno utječe na iznos rezerve R_{oi} pa su od agregata do agregata nužne korekcije. Iznosi rezervi za periode u kojima je za (j-1) agregat specificiran početak remonta dobije se primjenom izraza (21) i (22), a koriste se za računanje koeficijenata c_k funkcije cilja uz nepoznanice pridružene j-tom agregatu. Izraz (36) postaje:

$$c_k = - \sum_{i}^{i + t_j - 1} R_{j,i} \frac{P_j r_j}{d_j},$$
$$j = 1, \ldots N; \; 1 = t_{pj}, \ldots t_{kj}$$
$$k = 1, \ldots M \qquad (37)$$

Kod pretraživanja mogućih rješenja ovako određeni koeficijenti funkcije cilja korigiraju se za svako novo moguće rješenje.

Za primjer 1. primjenom jednadžbi (37), te (21) i (22), za nominalno rješenje se odrede svi koeficijenti c_k (k = 1, . . . 8) funkcije cilja za kriterij minimiziranja troškova goriva:

$$\underline{c} = (-27\,540 \; -30\,780 \; -26\,730 \; -3\,570$$
$$-4\,590 \; -10\,200 \; -1\,160 \; -1\,230)^t \qquad (38)$$

2.2.4. Višekriterijalna funkcija cilja

Pri određivanju rasporeda remonta termoagregata očito je prisutno nekoliko kriterija odnosno ciljeva. Svaki od kriterija predloženih u odjelcima 2.2.1, 2.2.2. i 2.2.3. ima svoj smisao i težinu te ih je pri rješavanju problema potrebno uzeti u obzir. Jedan od pristupa pri rješavanju istodobne minimizacije više funkcija cilja jest njihovo agregiranje u jedinstvenu funkciju cilja. Jedna takva funkcija je ponderirana suma od z_p (x), pri čemu ponderi izražavaju relativnu važnost koja se pridaje pojedinim kriterijima. Na taj način dolazi se do problema:

$$\text{Min} \sum_{p=1}^{K} \lambda_p \, z_p(x), \; (\lambda_p > 0), \qquad (39)$$

gdje su

- λ_p — parametri (ponderi)
- K — ukupni broj kriterija odnosno funkcija cilja (k = 3)
- p — indeks (redni broj) kriterija
- p=1 — kriterij usmjeravanja optimalnog razmaka između dva uzastopna remonta
- p=2 — kriterij minimiziranja sume kvadrata rezervi
- p=3 — kriterij minimiziranja troškova goriva.

Takav pristup nije najprihvatljiviji jer se funkcije cilja minimiziranja sume kvadrata rezervi (odjeljak 2.2.2) i troškova goriva (odjeljak 2.2.3) korigiraju za svako novo rješenje te bi i funkciju cilja (39) također trebalo korigirati u svakom koraku, što osjetno povećava vrijeme računanja elektroničkog računala. Osim toga, zbog mogućnosti analize i usporedbe optimalnih rješenja dobivenih po predloženim kriterijima korisno je problem optimalnog rasporeda remonta riješiti za svaki kriterij posebno.

Zbog toga je za ovaj slučaj rješavanja problema s više funkcija cilja prihvatljiviji pristup koji se upravo bazira na odvojenom rješavanju problema po svakom kriteriju, pri čemu se nalaze optimalne vrijednosti funkcija cilja z_p^* (p = 1, 2, 3). Problem se transformira, tj. traži se:

$$\text{Min} \sum_{p=1}^{3} | z_p - z_p^* |. \qquad (40)$$

Tom transformacijom problema višekriterijalnih programiranja svodi se na problem tzv. ciljnog programiranja. Funkcija cilja (40) koja se minimizira predstavlja sumu odstupanja od optimalnih rješenja dobivenih minimiziranjem funkcija cilja z_p (p = 1, 2, 3). Rješenje koje se dobije naziva se najefikasnijim rješenjem jer ne postoji neko drugo rješenje koje bi bilo bolje od njega po sva tri kriterija.

Sljedeći korak je određivanje koeficijenata funkcije cilja (40). Budući da su koeficijenti funkcija cilja z_p (p = 1, 2, 3) fizikalno različite veličine, čak i različitog reda veličine od agregata do agregata (kriteriji p = 2, 3), potrebno ih je promatrati u relativnim iznosima. S obzirom na srednje odstupanje koeficijenata funkcije cilja koji se odnose na moguće početke remonta svakog agregata od pripadnog koeficijenta optimalnog početka, posebno za svaki kriterij. Slijedi:

$$c_k = \sum_{p=1}^{3} \lambda_p \left| \frac{c_{pk} - c^*_{pj}}{\Delta \bar{c}_{pj}} \right|, \; j = 1, \ldots N;$$
$$k = 1_j \ldots, i_{j+1} - 1 \qquad (41)$$

$\Delta \bar{c}_{pj}$ — srednje odstupanje koeficijenata uz nepoznanice pridružene agregatu j, funkcije cilja p, od koeficijenata za koji u optimalnom rješenju po kriteriju p za agregat j vrijedi x = 1

c^*_{pj} — koeficijent funkcije cilja p uz nepoznanicu pridruženu agregatu j za koju vrijedi x = 1

i_j — redni broj nepoznanice koja odgovara početku remonta agregata j u prvom dozvoljenom periodu; prva nepoznanica pridružena agregatu j. Vrijedi $i_{N+1} = M + 1$.

Srednja odstupanja $\Delta\bar{c}_{pj}$ iz izraza (41) dobije se iz:

$$\Delta\bar{c}_{pj} = \sum_{k=i_j}^{i_{j+1}-1} \frac{c_{pk} - c^*_{pj}}{m_j - 1}; \quad p = 1,2,3; \; j = 1, \ldots N, \tag{42}$$

gdje je

m_j — ukupni broj nepoznanica pridruženih agregatu j.

Svi koeficijenti c_k (k = 1, . . . 8) funkcije cilja ciljnog programiranja, za primjer 1, dobije se primjenom jednadžbi (41) i (43). Mogu se pisati u obliku:

$$\underline{c} = (2{,}6 \;\; 0 \;\; 3 \;\; 0 \;\; 2{,}1 \;\; 3{,}9 \;\; 0 \;\; 3)^t, \tag{43}$$

uz napomenu da su svi kriteriji jednako vrednovani, tj. $\lambda_p = 1$ (p = 1, 2, 3).

2.3. Ograničenja

Jedna od prednosti metode linearnog 0-1 programiranja za određivanja optimalnog rasporeda remonta termoagregata jest u tome što se zahtjevi eksploatacije i prilike u elektroenergetskom sustavu mogu uvažiti putem ograničenja.

U ovom radu uzimaju se u obzir sljedeća ograničenja:

- ograničenja snage dozvoljene za remont
- ograničenja koja onemogućuju istovremeni remont dvaju ili više agregata
- ograničenja koja uspostavljaju određeni raspored remonta dvaju agregata.

Funkcija cilja također se transformira u jedno čvrsto ograničenje, koje za razliku od ostalih ograničenja ne podliježe eventualnom poništavanju u toku postupka optimiranja. Gornja granica funkcije cilja b_o se zadaje. Svako novo dopustivo rješenje s »troškovima« nižim od prethodnog rješenja automatski reducira b_o.

2.3.1. Ograničenja snage dozvoljene za remont

Ova ograničenja predstavljaju dozvoljenu snagu za remont u pojedinim periodima i onemogućuju stavljanje u remont agregata ukupne snage veće od dozvoljene. Za svaki period formira se po jedno ograničenje, te ih ukupno ima koliko i promatranih perioda. Za primjer 1. snage dozvoljene za remont u periodima 1, 2, 3 i 4 su (tabelica 2.) 160, 180, 200 i 130 MW. Ograničenje koje se odnosi na period 1 je:

$$90\,x_1 + 120\,x_4 \leq 160 \quad \text{(period 1)}.$$

Ovo ograničenje sadrži nepoznanice pridružene agregatu I i II i njihove snage, a odnosi se na početak remonta u prvom periodu. Agregat III nije obuhvaćen ovim ograničenjem jer njegov remont ne može početi prije drugog perioda (tablica 1).

Sljedeće ograničenje odnosi se na period 2 i nešto je drugačije. Naime, sva tri agregata mogu započeti remont u drugom periodu. Osim toga, ako remont agregata I počne u periodu 1, on se odvija i u drugom periodu (trajanje remonta agregata I je 2 perioda), te zauzima određeni dio snage za remont u promatranom periodu. Prema tome, ograničenje 2 je:

$$90\,x_1 + 90\,x_2 + 120\,x_5 + 50\,x_7 \leq 180 \quad \text{(period 2)}$$

Na isti način se formiraju ograničenja 3 i 4 za pripadne periode pa slijedi:

$$90\,x_2 + 90\,x_3 + 120\,x_6 + 50\,x_7 + 50\,x_8 \leq 200 \quad \text{(period 3)}$$

$$90\,x_3 + 50\,x_8 \leq 130 \quad \text{(period 4)}$$

Ograničenje koje se odnosi na period 4 sadrži nepoznanice pridružene agregatima I i III, kao i njihove snage, a odnosi se na početak remonta u periodu 3, jer se u tom slučaju njihov remont odvija i u periodu 4.

2.3.2. Ograničenja koja onemogućuju istovremeni remont dvaju agregata

Kod planiranja rasporeda i remonta termoagregata moguće su situacije u kojima je potrebno onemogućiti istovremeni remont dvaju agregata. Tako se npr. radi sigurnosti opskrbe električnom energijom može pokazati da nije opravdano planirati istovremeni remont velikih agregata. Zatim, u slučaju nedovoljnog broja i opremljenosti ekipa za izvođenje remonta ne može se izvesti istovremeni remont dvaju agregata, itd.

Ograničenja ovog tipa ima koliko i perioda u kojima je moguće istovremeno odvijanje remonta dvaju promatranih agregata.

Za primjer 1 potrebno je formirati ograničenja koja onemogućuju istovremeni remont agregata I II (dodatni uvjet a). Periodi u kojima je moguć istovremeni remont jesu periodi 1, 2 i 3. Za period 1 pripadno ograničenje je:

$$x_1 + x_4 \leq 1 \quad \text{(period 1)}$$

Ograničenje koje se odnosi na drugi period je slično, ali je potrebno uzeti u obzir i mogućnost početka remonta agregata I u prvom periodu, jer se u tom slučaju njegov remont odvija i u drugom periodu. Slično je i za period 3, pa slijedi:

$$x_1 + x_2 + x_5 - 1 \quad \text{(period 2)}$$

$$x_2 + x_3 + x_6 - 1 \quad \text{(period 3)}$$

2.3.3. Ograničenja koja uspostavljaju određeni raspored remonta dvaju agregata

Ova ograničenja omogućuju uspostavljanje određenog rasporeda remonta dvaju agregata i glase: »Remont agregata M mora početi t vremenskih jedinica nakon početka remonta agregata j.« Ta ograničenja koriste se u slučaju potrebe za sukscesivnim remontom, npr. agregata u istoj termoelektrani ili termoagregata na istom području.

Ograničenja ovog tipa ima koliko i perioda u kojima je moguć početak remonta ili jednog ili drugog agregata.

U primjeru 1. postavlja se zahtjev da remont agregata III mora početi jednu vremensku jedinicu nakon početka remonta agregata II (dodatni uvjet b). Budući da remont agregata II i III može početi u periodima 1, 2 i 3, pripadnih ograničenja ima ukupno 3. Ograničenja, uz odgovarajući komentar, jesu:

$$x_4 - x_7 \leq 0$$

Ako remont agregata II počne u periodu 1 ($x_4 = 1$), remont agregata III mora početi u periodu 2 ($x_7 = 1$).

$$x_5 - x_8 \leq 0$$

Ako remont agregata II počne u periodu 2 ($x_5 = 1$), remont agregata III mora početi u periodu 3 ($x_8 = 1$).

$$x_6 \leq 0$$

Ovo ograhičenje onemogućuje početak remonta agregata II u periodu 3 jer bi u tom slučaju remont agregata III trebao početi u periodu 4, što nije moguće budući da njegov remont može početi samo u periodima 2 i 3 (tablica 1).

3. POSTUPAK OPTIMIRANJA

Postupak optimiranja koji se u ovom radu koristi za rješavanje zadatka optimalnog rasporeda remonta termoagregata jest jedan modificirani algoritam implicitnog prebrojavanja. Bit je tog postupka da se pretražuju samo moguća rješenja, što znatno smanjuje vrijeme računanja elektroničkog računala jer je broj rješenja koja se pretražuju i implicitno i eksplicitno znatno manji zahvaljujući činjenici što su mnoga nemoguća rješenja a priori isključena iz razmatranja. Jednostavno rečeno, pretražuju se samo rješenja koja za svaki agregat imaju uvijek specificiran samo jedan period za početak remonta. Moguća i tzv. djelomična rješenja, kao i način pretraživanja rješenja mogu se zorno prikazati pomoću tzv. stabla rješenja (slika 2) koje sadrži sva moguća rješenja.

Pretraživanje skupa mogućih rješenja počinje s početnim ili nominalnim rješenjem (može biti nedopustivo), za koje je početak remonta svih agregata predviđen u prvom dozvoljenom periodu (prva lijeva grana stabla rješenja). Pretraživanja se provode po nivoima na način da se npr. na nivou n specificiraju vrijednosti nepoznanica pridruženih agregatima 1, . . . n. Ostale varijable su nespecificirane, a uzimaju vrijednosti iz početnog rješenja. Za nominalno rješenje (n = 0) vrijedi:

$$x_{ij}(0) = 1,\ j = 1, \ldots N, \tag{44}$$

gdje je

i_j — indeks (redni broj) nepoznanice koja odgovara početku remonta agregata j u prvom dozvoljenom periodu.

U izrazu (3) utjecaj svakog elementa vektora $\underline{x}$ različitog od nule jest takav da utječe na vrijednost vektora $\underline{Y}$, pa se za početno rješenje $\underline{x}(0)$ definira i $\underline{Y}(0)$ kao:

$$\underline{Y}(0) = \underline{b} - \sum_{j=1}^{N} \underline{a}_{ij}, \tag{45}$$

gdje je

$\underline{a}_{ij}$ — i_j – ti stupac matrice ograničenja $\underline{A}$.

Zbog lakšeg i bržeg pretraživanja skupa mogućih rješenja definira se matrica $\underline{G}$ sa stupcima $\underline{g}_k$ (k = 1, . . . M):

$$g_k = \underline{a}_k - \underline{a}_{ij},\ j = 1, \ldots N;\ k = 1_j, \ldots i_{j+1} - 1, \tag{46}$$

gdje je

$$i_{N+1} = M + 1.$$

Linearna ograničenja (3) se transformiraju:

$$\underline{Y} = \underline{Y}(0) - \underline{G} \cdot \underline{x}. \tag{47}$$

Budući da remont svakog agregata može početi samo jednom u promatranom razdoblju, odnosno samo jedna od niza nepoznanica pridruženih svakom agregatu može imati vrijednost x = 1, vrijedi:

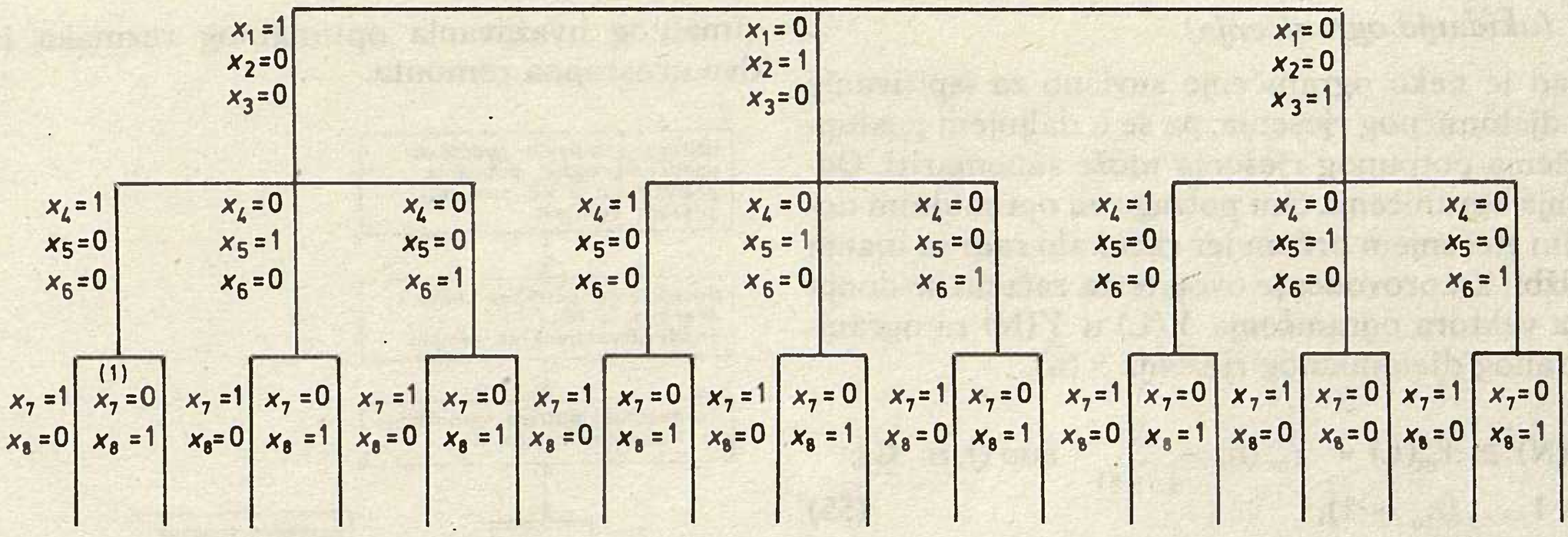
$$\underline{G}\ \underline{x} = \underline{A}\ \underline{x} - \sum_{j=1}^{N} \underline{a}_{ij}. \tag{48}$$

Uvrštenjem izraza (45) i (48) u (47) dokazuje se identitet jednadžbi (3) i (45) pa slijedi:

$$\underline{Y} = (\underline{b} - \sum_{j=1}^{N} a_{ij}) - (\underline{A}\ \underline{x} - \sum_{j=1}^{N} a_{ij}) = \underline{b} - \underline{A}\ \underline{x}. \tag{49}$$

Svaki čvor stabla rješenja predstavlja djelomično ili parcijalno rješenje. Na primjer, točka »1« predstavlja djelomično rješenje na nivou

2, tj. $\underline{x}(2) = (1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ .\ .)^t$. U ovoj točki su specificirane nepoznanice x_k (k = 1, . . . 6), dok su nepoznanice x_7 i x_8 slobodne i nespecificirane a imaju vrijednosti početnog rješenja i mogu se mijenjati. Točka »2« je dopuna djelomičnog rješenja iz točke »1«, a dobije se specificiranjem $x_7 = 0$ i $x_8 = 1$. Svaki »jedinični« element vektora rješenja $\underline{x}$ implicira u izrazu (47) da



Slika 2. Stablo rješenja za primjer 1

se pripadni stupac matrice $\underline{G}$ oduzme od vektora $\underline{Y}$. Na primjer, na nivou 2 djelomičnom rješenju $\underline{x}(2) = (1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ ..)^t$ odgovara:

$$\underline{Y}(2) = Y(0) - g_1 - g_4 \tag{50}$$

Na nivou 3 za rješenje $\underline{x}(3) = (1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1)^t$ dobije se:

$$\underline{Y}(3) = \underline{Y}(2) - g_8. \tag{51}$$

Vektor $\underline{Y}$ na nivou »n« je u skladu sa (47), (50) i (51):

$$\underline{Y}(n) = \underline{Y}(n-1) - g_{k_n},\ n > 0, \tag{52}$$

gdje je

k_n — redni broj nepoznanice pridružene agregatu n za koju vrijedi $x_{k_n} = 1$,

a računa se pri postupku pretraživanja za svako moguće rješenje.

3.1. Pretraživanje skupa mogućih rješenja

Sljedeća ideja ove tehnike optimiranja jest ukidanje suvišnih ograničenja i nepoznanica pomoću jednostavnih testova. Testovi omogućuju da se odrede djelomična rješenja koja ne zadovoljavaju postavljena ograničenja, te prema tome nisu dopustiva. Na taj se način smanjuje broj ograničenja i rješenja koja je potrebno ispitati, što još više smanjuje trajanje proračuna. Najbolje trenutno rješenje određuje se putem završnog testa.

Test 1. (provjera dopustivosti rješenja)

Svrha je ovog testa da se provjeri je li djelomično rješenje koje se ispituje $\underline{x}(n)$ dopustivo ili nije. Najprije se formira gornja granica $\underline{Y}(U)$ u $\underline{Y}(N)$ za sva ograničenja danog djelomičnog rješenja $\underline{x}(n)$ na sljedeći način:

$$Y_m(N) \le Y_m(U) = Y_m(n) - \sum_{j=n+1}^{N} \inf(j, m, \underline{G}),\ m = 1, .. N_o \tag{53}$$

gdje su

m — redni broj (indeks) ograničenja
n — redni broj (indeks) nivoa
$Y_m(n)$ — m-ti član vektora ograničenja $\underline{Y}$ na nivou n, a dobije se prema izrazu (52)
$Y_m(N)$ — m-ti član vektora ograničenja $\underline{Y}$ na nivou N
$\inf(j, m, \underline{G})$ — najmanji član u redu m matrice $\underline{G}$ koji odgovara nepoznanicama pridruženim agregatu j
N_o — ukupni broj ograničenja
U — oznaka za gornju granicu.

Ako je za neko djelomično rješenje $\underline{x}(n)$ (n je broj nivoa) neki element $Y_m(U) < 0$, tada nema dopustivog rješenja za takav $\underline{x}(n)$.

Test 2. (ukidanje nepoznanice)

U postupku pretraživanja mogućih rješenja moguće su situacije kada $x_k = 1$ ne može biti dio dopustivog rješenja $\underline{x}(n)$. Tada se nepoznanica x_k ukida i daljnje razmatranje se provodi s fiksiranjem $x_k = 0$.

Ako za neko djelomično rješenje $\underline{x}(n)$ postoji nepoznanica x_k pridružena agregatu j, takva da za neko ograničenje vrijedi:

$$Y_m(U) + \inf(j, m, \underline{G}) - g_{mk} < 0,$$
$$m = 1, \ldots N_o;\ j = n+1, N, \tag{54}$$

gdje je

g_{mk} — član matrice $\underline{G}$,

onda nepoznanicu x_k možemo ukinuti. Stavlja se $x_k = 0$.

Test 3. (provjera dopustivosti rješenja)

Moguće je da sve nepoznanice pridružene jednom agregatu budu ukinute na određenom nivou; tada za takav $\underline{x}(n)$ nema dopustivog rješenja.

Ako za neko djelomično rješenje $\underline{x}(n)$ postoji agregat j ($j = n + 1, N$) čije su sve nepoznanice ukinute, onda za takav $\underline{x}(n)$ nema dopustivog rješenja.

Test 4. (ukidanje ograničenja)

Ponekad je neko ograničenje suvišno za ispitivanje danog djelomičnog rješenja, pa se u daljnjem postupku traženja potpunog rješenja može zanemariti. Odbacivanja ograničenja čini potragu za optimalnim dopustivim rješenjem bržom jer računalo radi sa manje jednadžbi. Za provođenje ovog testa računa se donja granica vektora ograničenja $\underline{Y}(L)$ u $\underline{Y}(N)$ za ograničenja danog djelomičnog rješenja x (n).

$$Y_m(N) \geq Y_m(L) = Y_m(n) - \sum_{j=n+1}^{N} \sup(j, m, \underline{G}),$$
$$n = 1, \ldots (n_o - 1), \qquad (55)$$

gdje je

sup (j, m, G) — najveći član u redu m matrice G koji odgovara nepoznanicama pridruženim agregatu j.

Ako je za neko djelomično rješenje $\underline{x}(n)$, $Y_m(L) \geq 0$, ograničenja m se može zanemariti.

Test 4. se ne primjenjuje na ograničenje koje sadrži funkciju cilja.

Test 5. (novo najbolje rješenje)

Na nekom nivou postupka optimiranja postoji trenutno najbolje rješenje po promatranom kriteriju. Ako se nađe rješenje sa »troškovima« manjim ili jednakim trenutno najboljem rješenju, onda to rješenje postaje novo najbolje rješenje.

Ako je $Y_m(n) \geq 0$ $(m = 1, \ldots N_o)$ za neko djelomično rješenje $\underline{x}(n)$, tada je $\underline{x}(n)$ novo najbolje rješenje s nizom slobodnih varijabli koje imaju vrijednosti iz početnog rješenja.

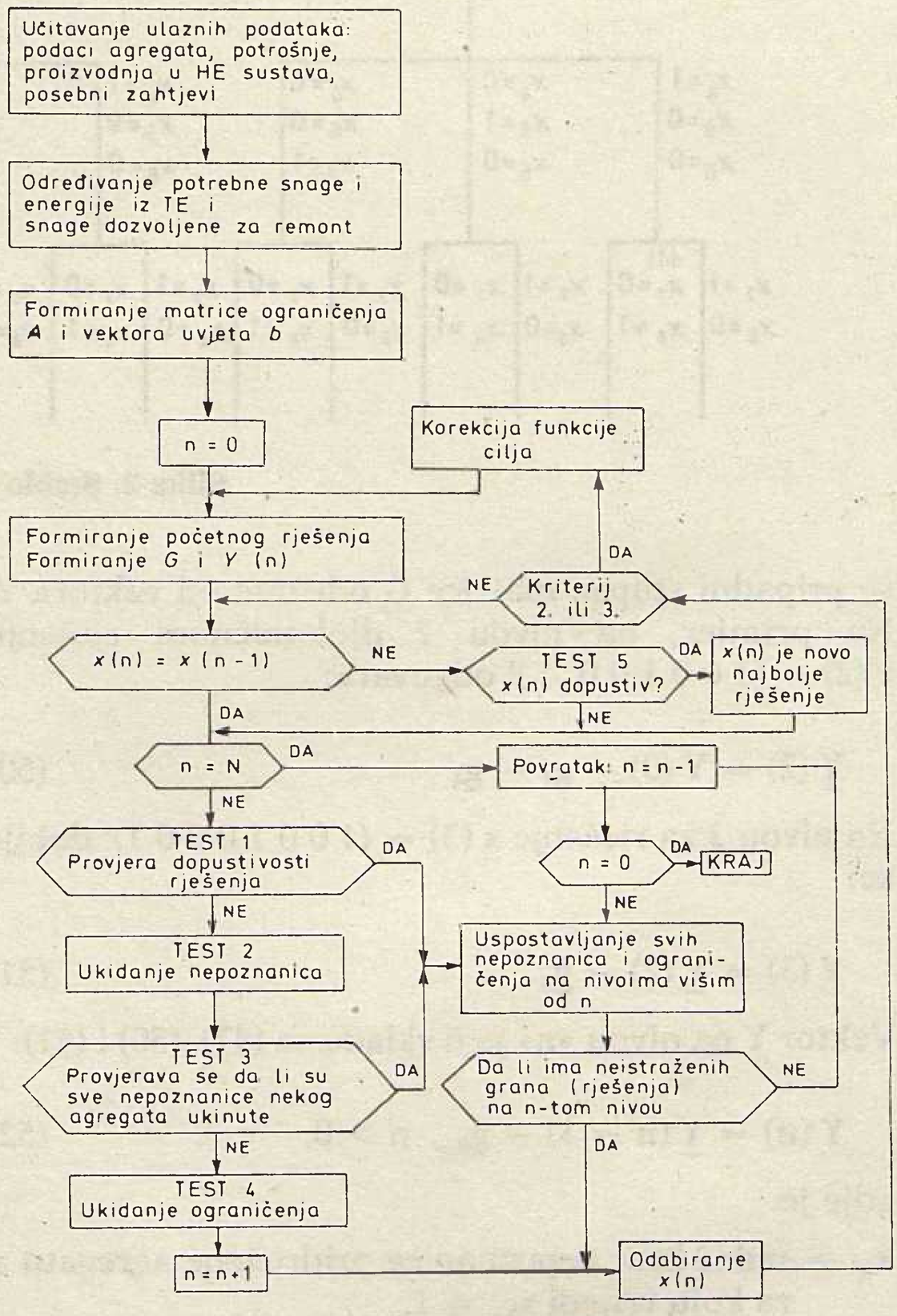
3.2. Algoritam

Blok-dijagram toka modificiranog algoritma implicitnog prebrojavanja, koji se temelji na testovima opisanim u odjeljku 3.1, prikazan je na slici 3.

Postupak pretraživanja skupa mogućih rješenja ilustrirat će se na stablu rješenja za primjer 1. (sl. 2). Postupak optimiranja počinje na vrhu stabla (nivo 0) i ide se prema dolje, tj. prema višim nivoima od nivoa do nivoa, ispitujući pri tome, pomoću testova svaku granu, sve dok se ne utvrdi da ne obuhvaća optimalno dopustivo rješenje. Kada je grana do kraja istražena (do nivoa N), vraćamo se na niže nivoe, tj. gore uz stablo sve dok se ne nađe grana odnosno rješenje koje još nije istraženo.

Zahvaljujući testovima na nižim granama (viši nivoi) stabla rješenja, smanjuje se broj ograničenja koje treba ispitati, a vraćanjem na niže nivoe (gore uz stablo) smanjuje se broj grana odnosno rješenja koje je potrebno ispitati, tako da se većina prebrojavanja obavlja implicitno, a ne eksplicitno, što znatno smanjuje trajanje proračuna.

Postupak optimiranja po dijagramu toka algoritma na sl.3. ilustrirat će se na primjeru 1. za kriterij maksimalnog uvažavanja optimalnog razmaka između dva uzastopna remonta.



Slika 3. Dijagram toka metode određivanja optimalnog rasporeda remonta termoagregata

Matrica ograničenja $\underline{A}$ i vektor $\underline{b}$ definirani su u odjeljku 2.3. odnosno 2.2.1. za ograničenje koje sadrži funkciju cilja, a dani su u tablici 4. Posljednji red matrice $\underline{A}$ i vektora $\underline{b}$ sadrži koeficijente funkcije cilja i njezinu početnu vrijednost $b_o = 1\,000$.

Tablica 4. Matrica koeficijenata ograničenja *A* i *b*

Ograničenje m	Agregat I			Agregat II			Agregat III		b
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	
1	90	0	0	120	0	0	0	0	160
2	90	90	0	0	120	0	50	0	180
3	0	90	90	0	0	120	50	50	200
4	0	0	90	0	0	0	0	50	130
5	1	0	0	1	0	0	0	0	1
6	1	1	0	0	1	0	0	0	1
7	0	1	1	0	0	1	0	0	1
8	0	0	0	1	0	0	−1	0	0
9	0	0	0	0	1	0	0	−1	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	0	90	180	0	120	240	0	50	1000
Početak u periodu	1	2	3	1	2	3	2	3	

Nakon formiranja ograničenja odnosno matrice $\underline{A}$ i vektora $\underline{b}$, definira se početno ili nominalno rješenje kao prvo lijevo rješenje u stablu rješenja na slici 2. koje glasi:

$$\underline{x}(0) = (1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0)^t \tag{56}$$

To rješenje pretpostavlja početak remonta svih agregata u prvom dozvoljenom periodu.

Nalazimo se na nivou 0.

Formira se matrica $\underline{G}$ prema izrazu (46) koji se može pisati u obliku:

$$g_{mk} = a_{mk} - a_{mij},\ m = 1, \ldots N_o;$$
$$j = 1, \ldots N;\ k = i_j, \ldots, i_{j+} - 1, \tag{57}$$

pa slijedi za ograničenje m = 1:

$j = 1;\ i_1 = 1$

$g_{11} = a_{11} - a_{11} = 90 - 90 = 0;$

$g_{12} = a_{12} - a_{11} = 0 - 90 = -90;$

$g_{13} = a_{13} - a_{11} = 0 - 90 = -90$

$j = 2;\ i_2 = 4$

$g_{14} = a_{14} - a_{14} = 120 - 120 = 0;$

$g_{15} = a_{15} - a_{14} = 0 - 120 = -120;$

$g_{16} = a_{16} - a_{14} = 0 - 120 = -120$

$j = 3;\ i_3 = 7$

$g_{17} = a_{17} - a_{17} = 0 - 0 = 0;$

$g_{18} - a_{17} = 0 - 0 = 0$

itd. za sva ostala ograničenja.

Vektor $\underline{Y}(0)$ dobije se primjenom izraza (45) koji se može pisati u obliku:

$$Y_m(0) = b_m - \sum_{j=1}^{N} a_{mij},\ m = 1, \ldots N_o. \tag{58}$$

Slijedi:

$$Y_1(0) = b_1 - a_{11} - a_{14} - a_{17} = 160 - 90 - 120 - 0 = -50$$

$$Y_2(0) = b_2 - a_{21} - a_{24} - a_{27} = 180 - 90 - 0 - 50 = 40$$

$$Y_3(0) = b_3 - a_{31} - a_{34} - a_{37} = 200 - 0 - 0 - 50 = 150$$

$$Y_4(0) = b_4 - a_{41} - a_{44} - a_{47} = 130 - 0 - 0 - 0 = 130$$

itd. za svih N_o ograničenja.

Svi članovi matrice $\underline{G}$ i vektora $\underline{Y}(0)$ dani su u tablici 5.

Sada se prelazi na test 1.

Test 1.

Da bi se izveo test, potrebno je izračunati gornju granicu $\underline{Y}(U)$ prema izrazu (53) koji na nivou 0 glasi:

$$Y_m(U) = Y_m(0) - \sum_{j=1}^{N} \inf(j, m, \underline{G}),\ m = 1, \ldots N_o. \tag{59}$$

Tablica 5. Transformacija problema; matrica *G* i vektor *Y*(0)

Ograničenje m	Agregat I			$\underline{G}$ Agregat II			Agregat III		$\underline{Y}(0)$
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	
1	0	-90	-90	0	-120	-120	0	0	-50
2	0	0	-90	0	120	0	0	-50	40
3	0	90	90	0	0	120	0	0	150
4	0	0	90	0	0	0	0	50	130
5	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	-1
6	0	0	-1	0	1	0	0	0	0
7	0	1	1	0	0	1	0	0	1
8	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0
9	0	0	0	0	1	0	0	-1	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	0	90	180	0	120	240	0	50	1000

Slijedi:

$$Y_1(U) = Y_1(0) - \inf(1, 1, \underline{G}) - \inf(2, 1, \underline{G}) - \inf(3, 1, \underline{G}) = -50 - (-90) - (-120) - 0 = 160$$

$$Y_2(U) = Y_2(0) - \inf(1, 2, \underline{G}) - \inf(2, 2, \underline{G}) - \inf(3, 2, \underline{G}) = 40 - (-90) - (0) - (-50) = 180$$

itd. za sva ostala ograničenja pa se dobije:

$$\underline{Y}(U) = (160\ 180\ 150\ 130\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1000)^t \tag{60}$$

Test 1. ne zadovoljava jer je:

$$Y_m(U) \geq 0, \quad m = 1, \ldots N_o. \tag{61}$$

Test 2.

Ako je $Y_m(U) + \inf(j, m, \underline{G}) - g_{mk} < 0$ ($m = 1, \ldots N_o$; $j = n + 1, N$), nepoznanicu x_k može se fiksirati na nulu.

Lako se može uočiti a je $Y_{10} = 0$, prema izrazu (60), odnosno $\inf(2, 10\ \underline{G}) = 0$ iz tablice 5, pa primjenom izraza (54) slijedi:

$$Y_{10}(U) + \inf(2, 10, \underline{G}) - g_{10,6} = 0 + 0 - 1 = -1 < 0$$

i nepoznanica x_6 se fiksira na nulu, tj. $x_6 = 0$.

Test 3.

Za svaki agregat ima neukinutih nepoznanica pa test 3. nije zadovoljen.

Test 4.

Ako je $Y_m(L) \geq 0$ $(m = 1, \ldots (N_o - 1))$, ograničenje m se može ukinuti. Računa se vektor $\underline{Y}(L)$ koji na nivou 0 glasi:

$$Y_m(L) = Y_m(0) - \sum_{j=1}^{N} \sup(j, m, \underline{G}). \qquad (62)$$

Slijedi:

$$Y_1(L) = Y_1(0) - \sup(1, 1, \underline{G}) - \sup(2, 1, \underline{G}) - \sup(3, 1, \underline{G}) = -50 - 0 - 0 - 0 = -50$$

$$Y_2(L) = Y_2(0) - \sup(1, 2, \underline{G}) - \sup(2, 2, \underline{G}) - \sup(3, 2, \underline{G}) = 40 - 0 - 120 - 0 = -80$$

itd. za sva ostala ograničenja osim posljednjeg koji se odnosi na funkciju cilja, jer to ograničenje ne podliježe poništavanju. Dobije se:

$$\underline{Y}(L) = (-50 \ -80 \ 60 \ -1 \ -1 \ 0 \ -1 \ -1 \ 0)^t. \qquad (63)$$

Očito je:

$Y_3(L) = 60$ i ukida se ograničenje 3

$Y_7(L) = 0$ i ukida se ograničenje 7

$Y_{10}(L) = 0$ i ukida se ograničenje 10.

Prelazimo na nivo 1.

Najprije se ispituje grana u kojoj je $\underline{x}(1) = (1\ 0\ 0\ \ldots\ )^t$. Ostali neispunjeni članovi rješenja uzimaju se kao kod početnog rješenja danog izrazom (56).

Računa se $\underline{Y}(1) = \underline{Y}(0) - g_1$.

Matrica $\underline{G}$ i vektor $\underline{Y}(1)$ su dani u tablici 6.

Tablica 6. Nivo 1, $(1) = (1\ 0\ 0\ \ldots\ )^t$

Ograničenje m	Agregat I			$\underline{G}$ Agregat II			Agregat III		$\underline{Y}(0)$
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	
1				0	-120		0	0	-50
2				0	120		0	-50	40
4				0	0		0	50	130
5				0	-1		0	0	-1
6				0	1		0	0	0
8				0	-1		0	1	0
9				0	1		0	-1	0
11				0	120		0	50	1000

Test 1.

Izračunava se $\underline{Y}(U)$ prema izrazu (53) i dobije se:

$$\underline{Y}(U) = (70\ 90\ 130\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1000)^t. \qquad (64)$$

Test 1 ne zadovoljava jer su svi $Y_m(U) \geq 0$ $(m = 1, \ldots N_o)$.

Test 2.

Primjenom izraza (54) na ograničenja 1 i 2 za agregat II slijedi

$$Y_1(U) + \inf(2, 1, \underline{G}) - g14 = 70 + (-120) - 0 = -50 < 0$$

i ukida se nepoznanica x_4, tj. stavlja se $x_4 = 0$.

$$Y_2(U) + \inf(2, 2, \underline{G}) - g_{25} = 90 + 0 - 120 = -30\ 0$$

i ukida se nepoznanica x_4, tj. fiksira se $x_5 = 0$.

Test 3.

Sve nepoznanice pridružene drugom agregatu su ukinute. Test 3. zadovoljava. Za ovakav $\underline{x}(1) = (1\ 0\ 0\ \ldots)^t$ nema optimalnog dopustivog rješenja.

Ostaje se na nivou 1. Prelazi se na sljedeću granu stabla rješenja. Ispituje se djelomično rješenje:

$$\underline{x}(1) = (0\ 1\ 0\ \ldots\ .)^t. \qquad (65)$$

Po dijagramu toka sa slike 3, pri prijelazu na ispitivanje novog mogućeg rješenja u ovom trenutku bi se za kriterije minimiziranja sume kvadrata rezervi i troškova goriva trebali korigirati koeficijenti funkcije cilja, a time i odgovarajući elementi matrica $\underline{A}$ i $\underline{G}$. Za kriterij maksimalnog uvažavanja optimalnog razmaka između dva uzastopna remonta koji se promatra to nije potrebno jer su koeficijenti funkcije cilja konstantni za vrijeme postupka optimiranja.

Test 5.

Primjenom testa 5. za svaki element $\underline{Y}(1)$, uključujući i poništena ograničenja, $\underline{x} = (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0)^t$ je novo najbolje rješenje. Sada se računaju nove vrijednosti b_{11}, $Y_{11}(0)$ i $Y_{11}(1)$ (ograničenje 11 odnosi se na funkciju cilja jer se početna vrijednost funkcije cilja reducira na vrijednost objektivne funkcije za trenutno najbolje rješenje.

$$Y_{11}(1) = Y_{11}(0) - g_{11,2} = 1000 - 90 = 910$$

Novi b_o = Novi b_{11} = Stari $b_{11} - Y_{11}(1) = 1000 - 910 = 90$.

Novi $Y_{11}(0)$ = Stari $Y_{11}(0) - Y_{11}(1) = 1000 - 910 = 90$.

Nije bilo ukidanja ograničenja pa matrica $\underline{G}$ ostaje ista kao i za rješenje $\underline{x}(1) = (1\ 0\ 0\ \ldots.)^t$.

Primjenom izraza (52), $\underline{Y}(1)$ je:

$$Y_1(1) = Y_1(0) - g_{12} = -50 - (-90) = 40$$

$$Y_2(1) = Y_2(0) - g_{22} = 40 - 0 = 40$$

$$Y_4(1) = Y_4(0) - g_{42} = 130 - 0 = 130$$

$$Y_5(1) = Y_5(0) - g_{52} = -1 - (-1) = 0$$

itd. za preostala neponištena ograničenja osim posljednjeg, jer je vrijednost $Y_{11}(1)$ izračunata u testu 5.

Sve izračunate vrijednosti unesene su u tablici 7.

Tablica 7. Nivo 1, $x(1) = (0\ 1\ 0\ \ldots)^t$

Ograničenje m	Agregat I			G Agregat II			Agregat III		$\underline{Y}(0)$
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	
1				0	-120		0	0	40
2				0	120		0	-50	40
4				0	0		0	50	130
5				0	-1		0	0	0
6				0	1		0	0	0
8				0	-1		0	1	0
9				0	1		0	-1	0
11				0	120		0	50	0

Test 1.

Prema izrazu (53) izračuna se $\underline{Y}(U)$. Proizlazi

$$Y_1(U) = Y_1(1) - \inf(2, 1, \underline{G}) - \inf(3, 1, \underline{G} = \\ = 40 - (-120) - 0 = 160$$

itd. za sva neponištena ograničenja.

Dobije se:

$$\underline{Y}(U) = (160\ 90\ 130\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0)^t \qquad (66)$$

Test 1. ne zadovoljava jer je $Y_m \geq 0$ $(m = 1, \ldots N_o)$ za sva ograničenja.

Test 2.

Primjenom izraza (54) na ograničenje 11 za agregat II slijedi:

$$Y_{11}(U) + \inf(2, 11, \underline{G} - g_{11,5} = \\ = 0 + 0 - 120 < 0$$

pa se nepoznanica x_5 poništava tj. fiksira se $x_5 = 0$. Slično se dobije za nepoznanicu x_8:

$$Y_{11}(U) + \inf(3, 11, \underline{G}) - g_{11,8} = \\ = 0 + 0 - 50 = -50 < 0,$$

pa se nepoznanica x_8 također poništava, tj. $x_8 = 0$.

Test 3.

Test 3. ne zadovoljava.

Test 4.

Ukidaju se sva ograničenja osim ograničenja 11 koje se odnosi na funkciju cilja. To se može lako uočiti jer su poništavanjem nepoznanica x_5 i x_8 svi članovi matrice $\underline{G}$ postali jednaki nuli, tako da za sva ograničenja vrijedi:

$$Y_m(L) = Y_m(n) - \sum_{j=n+1}^{N} \sup(j, m, \underline{G}) = \\ = Y_m(n) \geq 0,\ m = 1, \ldots (N_o - 1) \qquad (67)$$

jer je: za $n = 1$

$$Y(1) = (40\ 40\ 130\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0)^t. \qquad (68)$$

Prelazimo na nivo 2.

Ispituje se rješenje:

$$\underline{x}(2) = (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ \ldots)^t. \qquad (69)$$

Problem je u velikoj mjeri smanjen.

Primjenom izraza (52) dobije se:

$$\underline{Y}(2) = 0. \qquad (70)$$

Matrica $\underline{G}$ i vektor $\underline{Y}(2)$ dani su u tablici 8.

Tablica 8. Nivo 2., $x(2) = (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ \ldots)^t$

Ograničenje m		Agregat III x_7	$\underline{Y}(2)$
11		0	0

Test 1.

Budući je $\underline{Y}(U) = 0$, test 1. ne zadovoljava.

Test 2.

Nema ukidanja varijabili.

Test 3.

Test 3. ne zadovoljava.

Test 4.

Test 4. se ne primjenjuje na funkciju cilja.

Budući da je $\underline{x}(2) = \underline{x}(1)$, preskače se test 5. za novo najbolje rješenje.

Prelazimo na nivo 3.

Ispituje se rješenje:

$$\underline{x}(3) = (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0)^t. \qquad (71)$$

Budući da je $\underline{x}(3) = \underline{x}(2)$, preskače se test 5. za novo najbolje rješenje. Na nivou 3. nema neistraženih rješenja. Postoji još rješenje $\underline{x}(3) = (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1)^t$, ali to rješenje nije dopustivo jer je nepoznanica x_8 fiksirana na nulu.

Sada se vraćamo gore uz stablo rješenja. Na nivou 2. su nepoznanice x_5 i x_6 fiksirane na nulu, pa na tom nivou nema novih neistraženih rješenja.

Vraćamo se na nivo 1.

Na nivou 1 ima neistraženo rješenje (grana):

$$\underline{x}(1) = (0\ 0\ 1\ \ldots)^t, \qquad (72)$$

Matrica $\underline{G}$ je identična kao u tablici 6, a za $Y(1)$ se dobije:

$$Y(1) = (40\ 130\ 40\ 0\ 1\ 0\ 0\ -90)^t. \quad (73)$$

Test 1.

Primjenom izraza (53) za $Y(U)$ dobije se:

$$Y(U) = (160\ 170\ 40\ 1\ 0\ 1\ 1\ -90)^t. \quad (74)$$

Primjenom testa 1. na ograničenje 11 vidi se da za takav $\underline{x}(1)$ ne postoji dopustivo rješenje jer je:

$$Y_{11}(U) = -90 < 0. \quad (75)$$

Sva moguća rješenja su pretražena. Najbolje rješenje prema tome jest:

$$\underline{x} = (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0)^t. \quad (76)$$

Vrijednost funkcije cilja za optimalno rješenje je 90.

4.3. Dopune algoritma

Za primjenu predloženog algoritma implicitnog prebrojavanja važno je naglasiti da se pravilnim redoslijedom pretraživanja skupa mogućih rješenja (grana) može znatno smanjiti vrijeme računanja. Postavlja se, dakle, pitanje za svaki agregat:

Kojim redoslijedom nepoznanicama pridruženim svakom agregatu predavati vrijednost x = 1? Budući da funkcija cilja treba da za optimalno rješenje ima minimalnu vrijednost, nameće se kao kriterij redoslijeda odabiranja varijabli za svaki agregat iznos pripadnog koeficijenta u objektivnoj funkciji. Za promatrani agregat najprije se odabire nepoznanica čiji pripadni koeficijent u funkciji cilja ima najmanju vrijednost, zatim sljedeća itd., sve do nepoznanice čiji odgovarajući koeficijent ima najveću vrijednost. Na taj se način za svaki agregat definira redoslijed pretraživanja pridruženih varijabli.

Početno ili nominalno rješenje formira se tako da se za svaki agregat uzima najpovoljniji početak remonta, tj. prva nepoznanica u formiranom nizu. Za kriterije minimiziranja sume kvadrata rezervi i minimiziranja troškova goriva kod kojih se tokom postupka optimiranja funkcija cilja korigira nužno je korigirati i početno rješenje.

Određivanje redoslijeda pretraživanja nepoznanica i početnog rješenja ilustrirat će se na primjeru 1. za kriterij minimiziranja sume kvadrata rezervi. Koeficijenti funkcije cilja uz nepoznanice pridružene agregatu I jesu:

$$\underline{c} = (-30\,600\ -34\,200\ -29\,700\ \ldots.)^t. \quad (77)$$

Najmanju vrijednost ima koeficijent uz nepoznanicu x_2, zatim uz x_1 i na kraju koeficijent uz nepoznanicu x_3.

Redoslijed pretraživanja nepoznanica pridruženih agregatu I jest:

1. $x_1 = 0; x_2 = 1; x_3 = 0$
2. $x_1 = 1; x_2 = 0; x_3 =$ (78)
3. $x_1 = 0; x_2 = 0; x_3 = 1.$

Redoslijed pretraživanja nepoznanica pridruženih agregatu II ovisi kao i pripadni koeficijenti funkcije cilja (odjeljak 2.2.3), o specificiranom početku remonta agregata I. Za početno ili nominalno rješenje uzima se najpovoljnji početak, odnosno prvo djelomično rješenje u gornjem nizu (78) tj. $x_1 = 0; x_2 = 1; x_3 = 0$.

Za tako specificirani početak remonta agregata I koeficijenti funkcije cilja uz nepoznanice pridružene agregatu II dobiju se postupkom izloženim u odjeljku 2.2.3. Slijedi:

$$\underline{c} = (\ldots. -19\,200\ -10\,800\ -13\,200\ \ldots)^t \quad (79)$$

Najmanju vrijednost ima koeficijent uz nepoznanicu x_4, zatim uz x_6 i na kraju koeficijent uz nepoznanicu x_5.

Redoslijed pretraživanja nepoznanica pridruženim agregatu II jest:

1. $x_4 = 1; x_5 = 0; x_6 = 0$
2. $x_4 = 0; x_5 = 0; x_6 = 1$ (80)
3. $x_4 = 0; x_5 = 1; x_6 = 0.$

Slično je i za agregat III. Koeficijenti funkcije cilja uz nepoznanice pridružene agregatu III za vrijednosti nepoznanica pridruženih agregatu I i II; $\underline{x} = (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ \ldots)$ jesu:

$$\underline{c} = (\ldots.. -10\,000\ -12\,000)^t \quad (81)$$

pa je redoslijed pretraživanja:

1. $x_7 = 0; x_8 = 1$; 2. $x_7 = 1; x_8 = 0.$ (82)

Početno ili nominalno rješenje uzima za svaki agregat najpovoljnije djelomično rješenje, odnosno prvo u nizovima (78), (80) i (82).

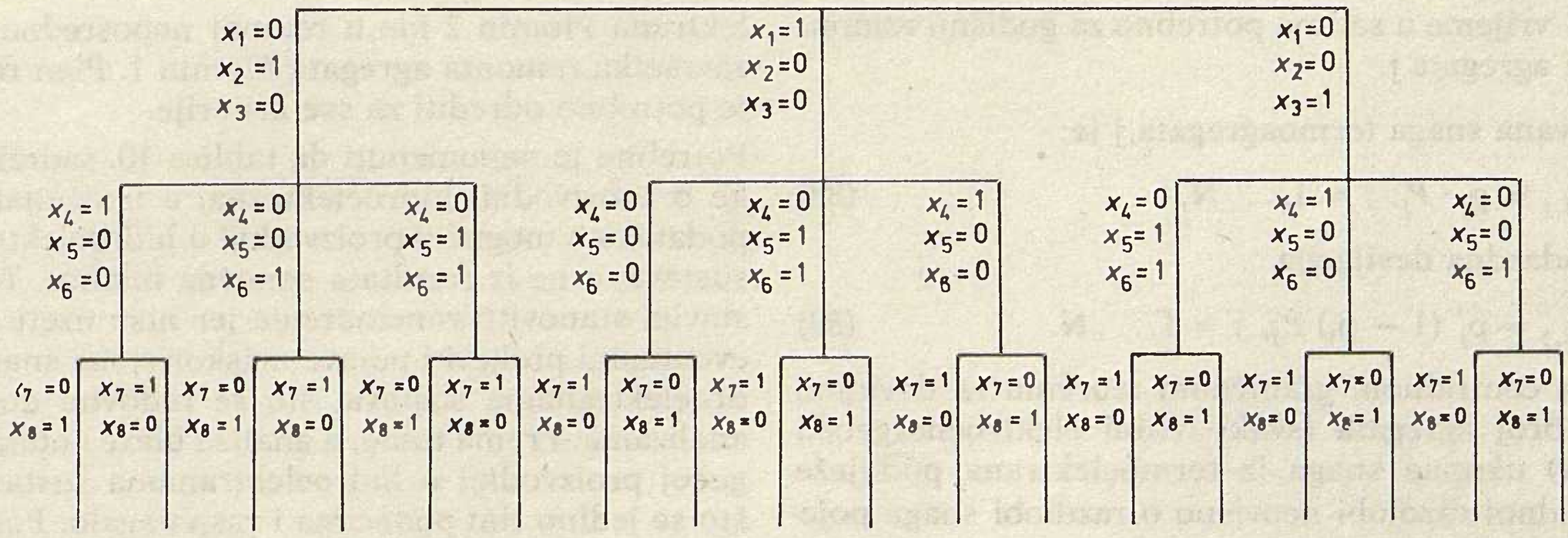
Slijedi:

$$\underline{x}_{POČETNO} = (0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1)^t. \quad (83)$$

Redoslijed pretraživanja za svaki agregat, izrazi (78), (80) i (82) i početno rješenje potrebno je korigirati kada se korigira funkcija cilja, odnosno kada se prelazi na novo trenutno rješenje. Korekcije se odnose na agregate koji u listi agregata slijede iza promatranog agregata. Promjena početnog rješenja zahtijeva i promjene odgovarajućih članova matrice $\underline{G}$ i vektora $\underline{Y}$.

Ovaj postupak pretraživanja skupa mogućih rješenja također se može prikazati na stablu rješenja, ali s tom razlikom da grane stabla ne sadrže djelomična rješenja kao na slici 2, već nova rješenja (sl. 4) na temelju redoslijeda pretraživanja koji se dobije opisanim postupkom.

Pretraživanje počinje na vrhu stabla i ide se prema dolje od nivoa do nivoa. Smjer pretraživanja grana (rješenja) na svakom nivou je slijeva nadesno.



Slika 4. Korigirano stablo rješenja za primjer 1.

Tako definirani redoslijed pretraživanja skupa mogućih rješenja, osim toga što znatno smanjuje trajanje proračuna, za kriterije minimiziranja sume kvadrata rezervi i minimiziranja troškova goriva je čak i nužno jer u postupku pretraživanja sprečava neselektivno djelovanje testova, a time i mogućnost preskakanja optimalnog rješenja.

Za ovakav, dopunjeni računski postupak potrebno je u pravilu listu agregata u termoelektranama formirati po opadajućim snagama agregata jer je povoljnije raspored remonta agregata započeti s agregatima većih snaga, za koje je teže naći vrijeme i prostor za remont. Listu agregata općenito je moguće formirati i prema nekom drugom kriteriju prioriteta.

4. ODREĐIVANJE DOZVOLJENE SNAGE ZA REMONT TERMOAGREGATA SUSTAVA

Snaga dozvoljena za remont ili »prostor« za remont u elektroenergetskom sustavu koji se sastoji od hidroizvora i termoizvora dobije se na sljedeći način:

$$R_i = P_{HE,i} + P_{TE} - P_{max,i}, i = 1, \ldots T, \quad (84)$$

gdje su

- i — indeks perioda
- R_i — snaga (rezerva) dozvoljena za remont u i-tom periodu
- $P_{HE,i}$ — ukupna snaga iz hidroelektrana sustava u i-tom perioddu
- P_{TE} — ukupna snaga iz termoelektrana sustava
- $P_{max,i}$ — snaga potrebna za zadovoljenje konzuma i osiguranje rotirajuće rezerve u i-tom periodu.

Proizvodnja u hidroelektranama sustava · ($P_{HE,i}$, $W_{HE,i}$ (i = 1, . . . T)) dobije se postupkom određivanja moguće proizvodnje u hidroelektranama sustava (lit. /1/ i /2/), odnosno iz rezultata osnovne bilance za pojedini hidrološki uzorak. S obzirom na stohastičku prirodu pojave hidroloških stanja potrebno je moguću snagu iz hidroelektrana procijeniti na temelju podataka o hidrologiji ostvarenoj u prošlosti na način da se odredi ona vrijednost snage koja ima najviše mogućnosti da se pojavi u budućnosti u određenom periodu. Ta snaga, tzv. očekivana vrijednost snage iz hidroelektrana sustava računa se za svaki period posebno kao aritmetička sredina svih promatranih hidroloških uzoraka određenog perioda, jer ne postoji korelacija hidroloških stanja iz perioda u period (godina, mjesec, tjedan).

Ukupna snaga iz hidroelektrana $P_{HE,i}$ (i = 1, . . . T) je, prema tome, slučajna veličina koja prema centralnom graničnom teoremu (lit. /7/) za dovoljno velik broj hidroloških uzoraka podliježe normalnoj razdiobi s očekivanjem $\mu_{HE,i}$ (i = 1, . . . T) i standardnom devijacijom $\sigma^2_{HE,i}$ (i = 1, . . . T). Slijedi:

$$\sigma_{HE,i} = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^{H} P_{HE,h,i}, i = 1, \ldots T, \quad (85)$$

gdje je

- H — ukupni broj hidroloških uzoraka (godina). U našoj elektroenergetskoj praksi obično je H = 40.
- h — indeks (redni broj) hidrološkog uzorka (godine).

Standardna devijacija $\sigma^2_{HE,i}$ dobije se kao srednje kvadratno odstupanje iz niza vrijednosti ostvarenih u prošlosti, tj.:

$$\sigma_{HE,i} = \frac{1}{H-1} \sum_{h=1}^{H} (P_{HE,h,i} - \mu_{HE,i})^t, \quad i = 1, \ldots T, \quad (86)$$

Zbog nemogućnosti predviđanja kvarova termoagregata i potrebna snaga iz termoelektrana sustava također je slučajna veličina. Da bi se odredilo očekivanje i standardna devijacija razdiobe snaga iz termoelektrana, potrebno je poznavati raspoloživost svakog agregata koja se dobije na temelju podataka iz prošlosti, tj.:

$$p_j = \frac{t_{S,j}}{8760 - t_{R,j}}, \quad j = 1, \ldots N, \quad (87)$$

gdje su

- $t_{S,j}$ — broj sati u godini kada je agregat j sposoban za pogon

$t_{R,j}$ — vrijeme u satima potrebno za godišnji remont agregata j.

Očekivana snaga termoagregata j je:

$$\mu_{TE,j} = p_j \cdot P_j,\ j = 1, \ldots N, \tag{88}$$

a standardna devijacija

$$\sigma^2_{TE,j} = p_j\ (1 - p_j)\ P^2_j,\ j = 1, \ldots N. \tag{89}$$

Prema centralnom graničnom teoremu za dovoljno velik broj agregata (svaki realni elektroenergetski sustav) ukupna snaga iz termoelektrana podliježe normalnoj razdiobi neovisno o razdiobi snaga pojedinih termoagregata.

Očekivanje i standardna devijacija ukupne snage iz termoelektrana sustava distribuirane po normalnoj razdiobi jesu:

$$\mu_{TE} = \sum_{j=1}^{N} \sigma_{TE,j} \tag{90}$$

$$\sigma^2_{TE} = \sum_{j=1}^{N} \sigma^2_{TE,j} \tag{91}$$

Snaga potrebna za zadovoljenje konzuma i osiguranje rotirajuće rezerve u i-tom periodu $P_{max,i}$ u izrazu (84) uzima se normalno raspodijeljena s očekivanjem $\mu_{p,i}$ $(i = 1, \ldots T)$ i standardnom devijacijom $\sigma^2_{p,i}$ $(i = 1, \ldots T)$.

Snaga dozvoljena za remont R_i $(i = 1, \ldots T)$ jest linearna kombinacija (84) međusobno nezavisnih normalno distribuiranih varijabli $P_{HE,i}$, P_{TE}, $P_{max,i}$ $(i = 1, \ldots T)$, te je i ona distribuirana po normalnoj razdiobi s pripadnim očekivanjem i standardnom devijacijom kako slijedi:

$$\mu_{R,i} = \mu_{HE,i} + \mu_{TE} - \mu_{p,i},\ i = 1, \ldots T \tag{92}$$

$$\sigma^2_{R,i} = \sigma^2_{HE,i} + \sigma^2_{TE} - \sigma^2_{p,i},\ i = 1, \ldots T \tag{93}$$

Poznavajući očekivanje i standardnu devijaciju snage dozvoljene za remont, moguće je, pomoću tablice normalne razdiobe, odrediti prostor za remont R_i $(i = 1, \ldots T)$ za sve vjerojatnosti, odnosno različita hidrološka stanja, uz napomenu da očekivanoj vrijednosti snage dozvoljene za remont $\mu_{R,i}$ $(i = 1, \ldots T)$ pripada najveća vjerojatnost.

5. TEST PRIMJER ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE ZA 1985. GOD. (primjer 2.)

Zadatak je odrediti raspored remonta 18. termoagregata u elektroenergetskom sustavu Hrvatske za 1985. g. uz uvažavanje hidrološke neizvjesnosti.

Budući da su svi raspoloživi podaci, potrošnja i proizvodnja u hidroelektranama prilagođeni mjesecu kao osnovnoj vremenskoj jedinici, za osnovno vremensko razdoblje usvojen je mjesec. Podaci o agregatima sustava dani su u tablici 9, podaci potrošnje koja se predviđa u elektroenergetskom sustavu Hrvatske 1985.. g. dani su u tablici 10, koja također sadrži i očekivanu proizvodnju u hidroelektranama sustava s obzirom na hidrološke prilike ostvarene u prošlosti. Posebno je postavljen zahtjev da termoelektrana Plomin 2 ide u remont neposredno nakon završetka remonta agregata Plomin 1. Plan remonta je potrebno odrediti za sve kriterije.

Potrebno je napomenuti da tablica 10. sadrži podatke o proizvodnji hidroelektrana, a izračunata je iz podataka o mogućoj proizvodnji u hidroelektranama sustava, a ne iz rezultata osnovne bilance. To predstavlja stanovito zanemarenje jer nisu uzeti u obzir eventualni preljevi i pojave neiskorištene snage u hidroelektranama sustava, što se redovno događa u analizama. Prema tome, u analizu ulaze podaci o mogućoj proizvodnji u hidroelektranama sustava zato što se jedino tim podacima i raspolagalo. Posljedica je toga da je snaga dozvoljena za remont u svim periodima nešto veća, a energija potrebna iz termoelektrana sustava nešto manja nego što bi bilo da se proračun provodi s proizvodnjom hidroelektrana koja se dobije iz osnovne bilance.

Rezultati testiranja su prikazani grafički (slika 5). Matrica ograničenja $\underline{A}$ je dimenzija 17 × 70.

Uvidom u rezultate može se zaključiti sljedeće:

— Sva ograničenja su zadovoljena.

— Kriterij 1 (slika 5a) kojim se usmjerava optimalni razmak između dva uzastopna remonta usvojen je razmak od 12 mjeseci za sve agregate, jer podaci perioda ne djeluju restriktivno (veliki prostor za remont).

— Kriterij 2 (slika 5.b), kojim se minimizira suma kvadrata rezervi, u skladu je s očekivanjem i pokazao tendenciju ujednačavanja nivoa rezervi u svim periodima, što je i svrha ovog kriterija.

— Kriterij 3 (slika 5.c), kojim se minimiziraju troškovi goriva također je pokazao tendenciju ujednačavanja rezervi kroz promatrano razdoblje, ali s tom razlikom da kod ovog kriterija prednost u popunjavanju prostora za remont imaju agregati čiji je doprinos (posljednji stupac tablice 9) u smislu troškova goriva veći, što se ovim kriterijem željelo i postići.

— Kriterij 4 (slika 5.d), kojim se pronalaze rješenja koja su najmanje udaljena od optimalnih rješenja po prethodna tri kriterija, pokazao je da ne vodi dovoljno računa o popunjavanju prostora za remont, što je uglavnom posljedica relativno malog broja agregata i činjenice da ovaj kriterij funkcionira na način da za svaki agregat traži i rješenje koje najmanje odstupa od optimalnih rješenja po svakom kriteriju.

6. ZAKLJUČAK

Razvijena je i testirana metoda za određivanje optimalnog rasporeda remonta termoagregata. Predloženi postupak je poglavito namijenjen godišnjim planovima eksploatacije elektroenergetskog sustava. S obzirom na efekte koje prouzrokuje raspored remonta u elektroenergetskoj bilanci razvijeni su sljedeći kriteriji:

Tablica 9. Podaci o agregatima sustava

j	Naziv	Snaga MW	Raspoloživost r_j	Cijena goriva d/kWh d_i	Početak remonta od t_{pj}	do t_{kj}	Trajanje remonta t_j	Početak prethodnog remonta (mjesec)	$P_j r_j / d_j$
1	NE Krško	312	0,80	0,16	4	6	2	5	1560
2	Obrenovac	280	0,85	0,63	1	3	2	2	378
3	TE Rijeka	300	0,80	1,79	6	9	2	7	134
4	TE Sisak 2	198	0,85	1,90	8	11	1	9	89
5	TE Sisak 1	198	0,85	1,90	3	6	1	4	89
6	TE Tuzla	182	0,90	0,79	5	8	1	6	207
7	Plomin 2	184,4	0,90	1,60	4	7	1	5	104
8	Plomin 1	92	0,90	1,52	3	6	1	4	54
9	TE-TO Zagreb	110	0,95	1,48	5	8	1	6	71
10	TE Gacko	92	0,95	0,65	2	5	1	4	134
11	KTE Jertovec	80	0,95	3,35	6	9	1	7	23
12	PTE Osijek	47	0,95	4,22	6	9	1	7	11
13	TE Kakanj	46	0,95	0,65	8	12	1	10	67
14	TE-TO Osijek	43	0,95	1,39	7	10	1	8	29
15	TE-TO Zagreb	30	0,95	1,92	5	8	1	6	15
16	TE-TO Zagreb	30	0,95	1,92	7	10	1	8	15
17	EL-TO Zagreb	27	0,95	1,23	7	10	1	8	21
18	EL-TO Zagreb	10		1,41	4	6	1	5	7

Tablica 10. Podaci perioda

	Mjesec	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Potrošnja 1985. g.	P_i MW	2700	2607	2599	2482	2343	2272	2209	2251	2417	2490	2601	2764
	W_i GWh	1509	1476	1408	1350	1269	1231	1186	1205	1252	1301	1465	1570
Proizvodnja	$P_{HE,i}$	1660	1649	1630	1599	1639	1642	1648	1646	1620	1636	1666	1629
	$W_{HE,i}$	477	444	412	426	412	418	387	383	421	586	795	635
	$P_{TE,i}$	1041	958	969	883	704	630	568	605	798	854	935	1135
	$W_{TE,i}$	1032	1032	996	923	856	814	798	822	832	715	670	936
Rezerva	R_i	925	1008	997	1083	1262	1336	1400	1361	1168	1112	1031	831

— kriterij kojim se usmjerava najpovoljniji razmak između dva uzastopna remonta
— kriterij minimiziranja sume kvadrata rezervi
— kriterij troškova goriva
— kriterij ciljnog programiranja po kojem se, uzimajući sve navedene kriterije, pronalazi kompromisno, odnosno tzv. najefikasnije rješenje.

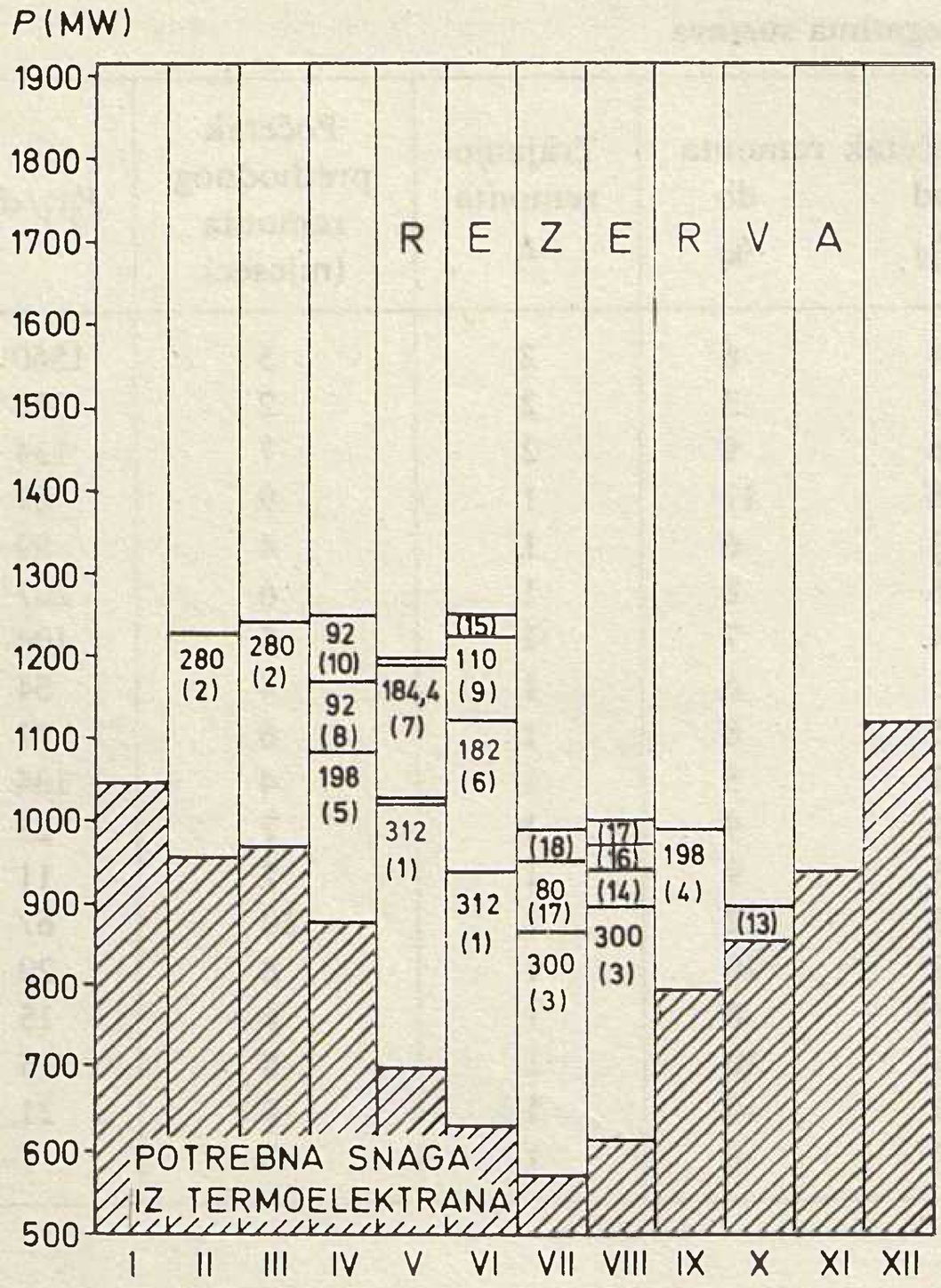
Prilike i zahtjevi u elektroenergetskom sustavu uzimaju se u obzir putem sljedećih ograničenja:

— ograničenja snage; iznosi snaga u MW dozvoljenih za remont u pojedinim periodima
— ograničenja koja sprečavaju istovremeni remont dvaju ili više agregata
— ograničenja koja omogućuju određeni raspored remonta dvaju agregata.

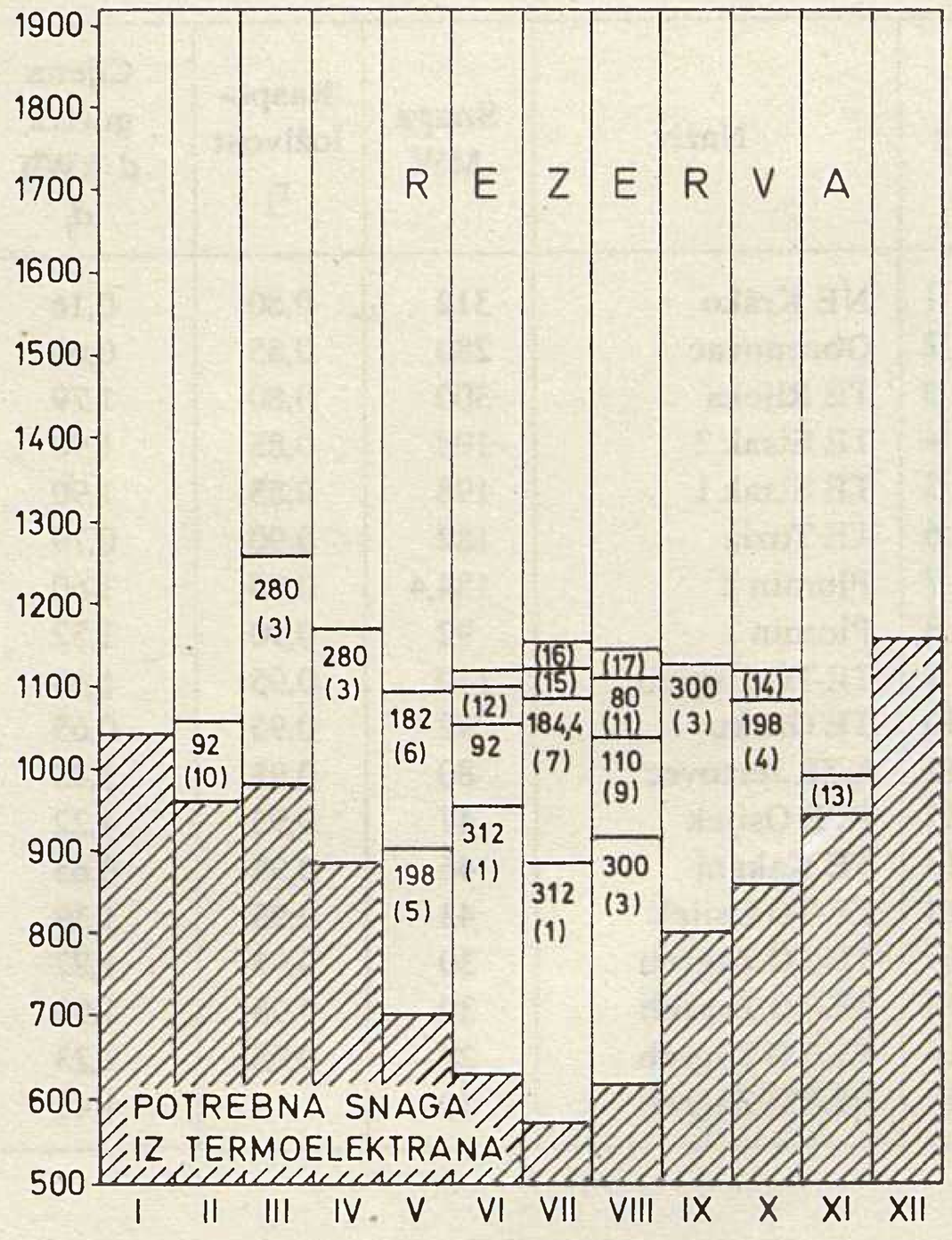
Zbog stohastičke prirode hidroloških prilika, a time i proizvodnje u hidroelektranama sustava, razvijen je postupak kojim se hidrološka neizvjesnost uvažava na način da se proračun izvodi očekivanom ili prosječnom hidrološkom godinom, koja se dobije iz podataka o hidrologiji ostvarenoj u prošlosti.

Postupak optimiranja upotrijebljen ovdje jedna je modificirana metoda implicitnog prebrojavanja. Za kriterije 1 i 4 metoda garantira pronalaženje optimalnog rješenja (jednog ili više) ako postoji, a za kriterije 2 i 3, za koje se funkcija cilja korigira iz koraka u korak, pronalazi se ili optimalno rješenje ili rješenje vrlo blizu optimalnome.

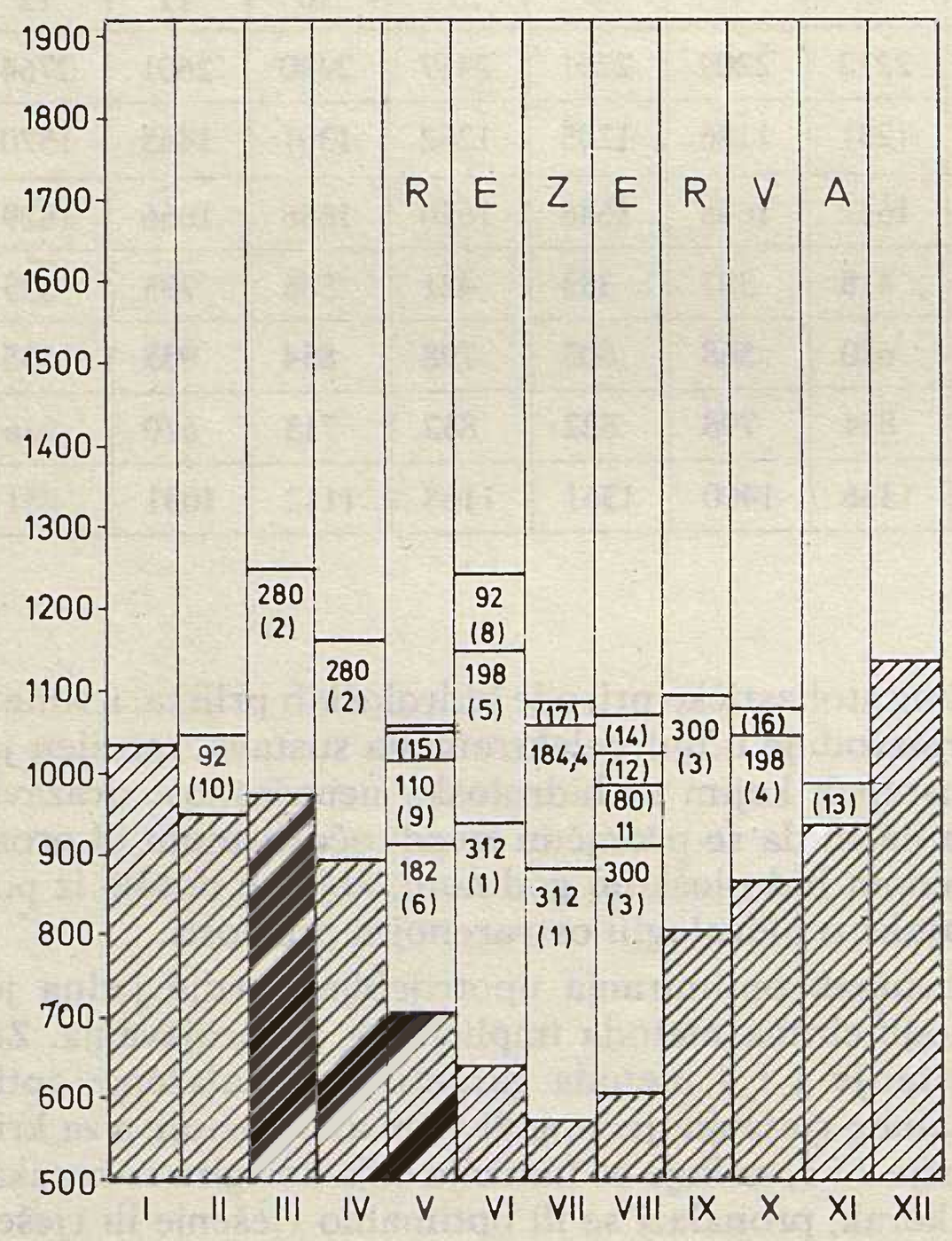
Metodu je moguće primijeniti i u tekućoj godini, odnosno u toku realizacije optimalnog plana remonta ako se pokaže potreba za korekcijom plana.



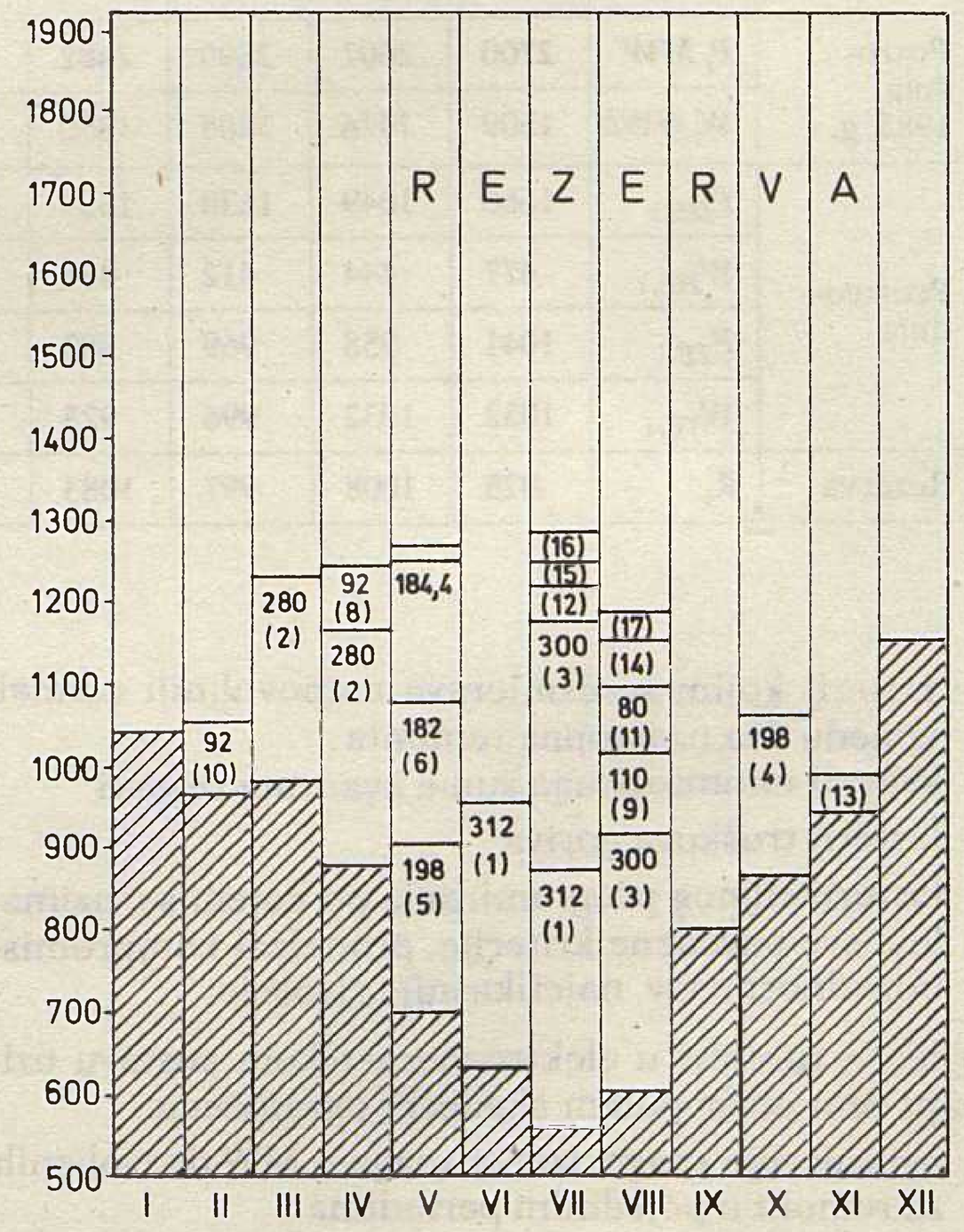
a) Kriterij 1



b) Kriterij 2



c) Kriterij 3



d) Kriterij 4

Slika 5. Optimalni plan remonta

LITERATURA

[1] POŽAR H.: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima« Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd, 1966.

[2] UDOVIČIĆ B.: »Elektroenergetika«, Školska knjiga, Zagreb, 1983.

[3] DOPAZO J. F., MERRILL H. M.: »Optimal generator maintenance scheduling using integer programming«, IEEE Trans. PAS-94,No. 5, September/October 1975, pp. 1537-1545

[4] EGAN G. T., DILLON T. S.: »An Experimental Method of Determination of Optimal Maintenance Schedules in Power Systems Using the Branch-and-bound Technique« IEEE Trans. on systems, man, and Cybernetics, Vol. SMC-6, No. 8, August 1976. p.p. 538-547

[5] MARTINOLI A.: »Primena metode celobrojnog programiranja za rješavanje problema rasporeda agregata hidro-termo sistema u periodu planiranja pogona elektroenergetskih sistema«, Elektroprivreda, br. 1-2 pp. 14-19

[6] MERRILL H. M.: »Power plant maintenance scheduling with integer programing«

[7] ZURN H. H.: »Several objective criteria for optimal generator preventive maintenance scheduling« IEEE Trans. vol. PAS-96 No. 3, May/June 1977. pp 984-992

[8] ZURN H. H., QUINTANA V. H.: »Generator maintenance scheduling via successive approximations dynamic programming«, IEEE Trans. Vol. PAS-94, No. 2 March/April 1975, pp 665-671.

[9] DILLON T. S., EGAN G. T.: »The Application of Combinatorial Methods to the Problems of Maintenance Scheduling and Unit Commitment in Large Power Systems« — proceedings of the IFAC Symposium »Large Scale Systems: Theory and Applications«, Udine, Italy, June 1976.

[10] MARTIĆ Lj.: »Višekriterijalno programiranje«, Informator — Zagreb, 1978.

OPTIMAL GENERATOR MAINTENANCE SCHEDULING IN POWER SYSTEM FOR YEARLY PLANNING

The thesis deals with the problem of the optimum plan for the overhaul of the generator sets of a hydro-thermal system for yearly planning of the power system operation, taking in account hydro uncertainty.

OPTIMALE EINTEILUNG DER WIEDERHERSTELLUNG DER THERMOAGREGATE IND DER JAHRESBILANZ

Betrachtet wird die Problematik des optimalen Wiederherstellungsplans der Thermoagregate des Hydro – Thermosystems in den Jahresplänen des energetischen Systems mit Berücksichtigung der hydrologischen Ungewißheit.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПИСАНИЕ РЕМОНТОВ ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ В ГОДОВОМ БАЛАНСЕ

Разматривается решение задачи оптимального плана ремонтов тепловых энергоблоков ЭЭС с тепловыми и гидро энергоблокками в годовых планах их работы с учетом гидрологической неизвестности.

Naslov pisca:

Stipe Fuštar, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 58000 Split, Ruđera Boškovića bb

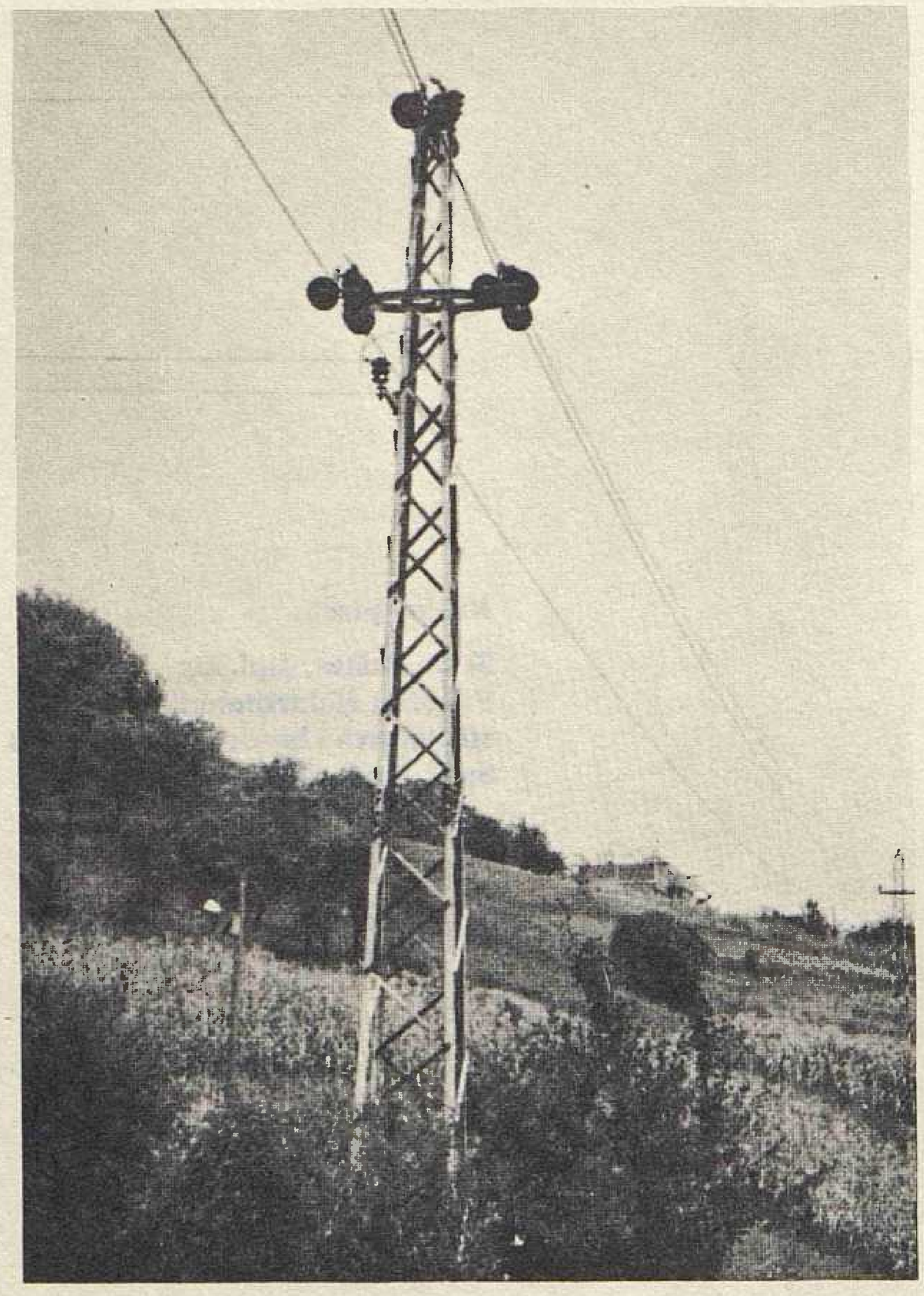
Uredništvo primilo rukopis 1984-03-24.

DALEKOVOD

Djelatnost

Za potrebe elektronergetskih objekata u zemlji i inozemstvu, projektiramo, gradimo i montiramo:

niskonaponske mreže i transformatorske stanice do 0,4 kV
visokonaponske vodove i transformatorske stanice do 20 kV
visokonaponske dalekovode do 400 kV
rasklopna postrojenja i transformatorske stanice do 400 kV
kontaktnu mrežu za elektrovuču
rasvjetu prometnica, industrijskih i sportskih objekata
građevno-montažne radove na objektima visine iznad 20 m, antenske i televizijske stupove,
industrijske hale i dvorane
polaganje podzemnih i podmorskih kabela do 35 kV.



Proizvodnja

Za potrebe domaćeg i inozemnog tržišta proizvodimo sljedeću opremu:

- ovjesnu i spojnu:

za mreže napona do 1 kV s golim i izoliranim vodičima
za visokonaponske vodove i transformatorske stanice do 400 kV
za kontaktnu mrežu za željeznice

- metalne konstrukcije

rasvjetne i reflektorske stupove
stupove za dalekovode, PTT vodove i kontaktnu mrežu
stupne transformatorske stanice, antenske i televizijske stupove
portale i nosače aparata za rasklopna postrojenja i semaforske portale za prometnice
čelične konstrukcije za dvorane i industrijske hale

Adresa: »Dalekovod« — Zagreb
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37
Tel.: 041/513-822, 041/217-777 Telex: 21719 yu dalvod, 21858 yu dalvod

PREGLED OPSKRBE TOPLINOM IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA U SVIJETU

Zdravko Mužek, Zagreb

UDK 621.039.5:697.34
PREGLEDNI RAD

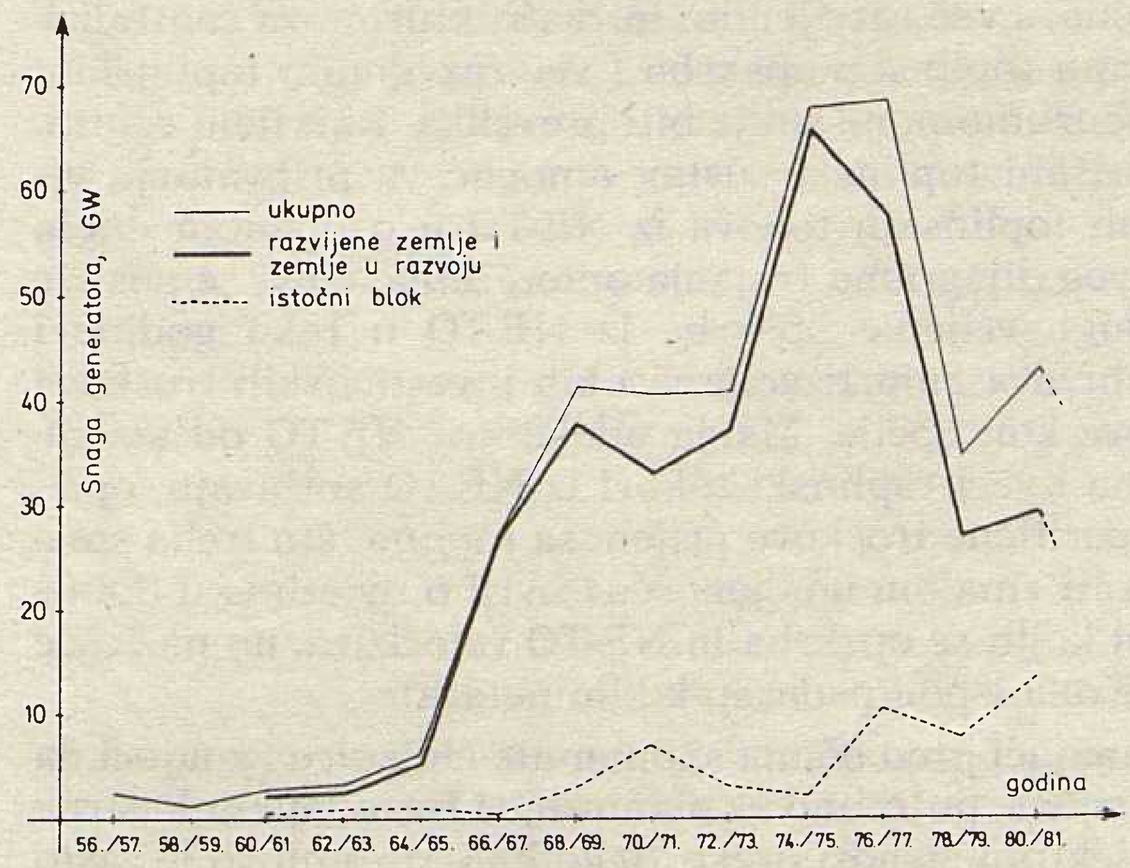
Izneseni su osnovni uzroci malog korištenja topline iz nuklearnih elektrana u prošlosti i sistematizirani osnovni tehnički podaci u vezi s toplinskom opskrbom korisnika iz nuklearnih elektrana: Ågesta, Bilibino, Gösgen, Odesa, Midland.

Ključne riječi: nuklearne elektrane, opskrba toplinom.

1. UVOD

Korištenje nuklearne energije u nuklearnim elektranama doseglo je u svom tridesetogodišnjem razvoju takav stadij da je ono danas prihvatljivo, pouzdano, sigurno za okolinu i ekonomski konkurentno ostalim načinima pridobivanja električne energije.

U početku, pedesetih i ranih šezdesetih godina ovog stoljeća, motiv za izgradnju nuklearnih elektrana bila je uglavnom svijest o potrebi tehnološkog razvoja, pri čemu strateški ciljevi u vezi s razvojem vojne tehnologije nisu bili zanemariv činitelj. Zadovoljavanje energetskih potreba i ekonomska dobit bili su u drugom planu, pa je izgradnja nuklearnih elektrana bila ograničena isključivo na industrijski razvijene zemlje svijeta. Demonstracijom tehničke mogućnosti te konkurentnošću korištenja nuklearne energije u elektranama započela je od sredine šezdesetih godina postupna ekspanzija izgradnje nuklearnih elektrana (slika 1) /L1, L2/. Od tada su spiritus rektor inicijative za izgradnju nuklearnih elektrana bile ekonomske okolnosti i rastuće potrebe u energiji. Rezultat toga jest porast instaliranih kapaciteta u izgrađenim nuklearnim elektranama veći od 8 puta u razdoblju 1970.-1980. godine (od 16,5 GW u 1970. na 138,0 GW u 1980. godini) /L3/.



Slika 1. Početak izgradnje nuklearnih elektrana u svijetu

Radikalne promjene na međunarodnom tržištu energije, započete 1973. godine provokacijom tzv. energetske krize, znatno su utjecale na cjelokupan ekonomski razvoj svijeta, ali i na dalju promociju konkurentnosti korištenja nuklearne energije. Analize navedenih događaja i njegovih posljedica pokazale su da nivo cijena nafte (i ostalih primarnih oblika energije koji su taj porast pratili adekvatno svojoj upotrebnoj vrijednosti) dosegnut krajem sedamdesetih godina ovog stoljeća nije neka ekscesna pojava, već nužnost uvjetovana stanjem primarnih izvora energije na našem planetu (istinitost ovog suda nije potrebno dokazivati identificiranjem autora scenarija za događaje iz 73).

Godine 1970. cijena arabijske lake nafte (34° AP) bila je oko 15 US $/t, početkom 1975. oko 75 US $/t, a krajem 1979. godine oko 260 US $/t /L4/.

Tim porastom cijene nafte inicirane su promjene strukture energetske privrede; na ekonomičnosti dobivaju tehnologije s većim investicijskim troškovima. Pri planiranju energetske opskrbe optimalna se rješenja »pomiču« prema onima s većim odnosom između investicijskih i eksploatacijskih troškova: korištenje ugljena i uranija za transformaciju u oblike energije s većom upotrebnom vrijednošću, prvenstveno u električnu energiju (ali i toplinu) postaje sve privlačnije.

Prva reakcija na navedene događaje bio je bitni porast planova za izgradnju nuklearnih elektrana. Izgledalo je da je svijet na pragu spektakularne budućnosti nuklearne energije. Kasniji slijed događaja pokazao je, međutim, zastoj u izgradnji nuklearnih elektrana (slika 1) kao posljedicu kombiniranog djelovanja nekoliko negativnih faktora:

— Stroge mjere racionalizacije korištenja energije u razvijenim zemljama Zapada dovele su do smanjivanja stopa rasta potreba u električnoj energiji.

— Bogatstvo SAD i nekih zemalja Zapada u ugljenu iskorišteno je za intenzivnu preorjentaciju na gradnju termoelektrana na ugljen u tim zemljama.

— Zahtjevi u domeni sigurnosti nuklearnih elektrana postali su stroži, što je poskupilo tu tehnologiju.

— Financijska ograničenja zemalja u razvoju za financiranje investicijski intenzivnih objekata postaju sve značanija.

— Opozicija javnog mijenja korištenju nuklearne energije prerasta u snažne pokrete u mnogim zemljama svijeta itd..

Usprkos tomu što su nakon 1973. godine visoke stope rasta energetskih potreba u svijetu iz prošlog razdoblja smanjene, potrebe u energiji, iako s nižim stopama rasta, i dalje rastu. Spoznaje o rezervama primarnih oblika energije u svijetu s jedne strane, a očekivanja budućih energetskih potreba s druge nužno dovode do zaključka da je zastoj u primjeni nuklearne tehnologije u energetici, karakterističan za zadnjih desetak godina, samo kratkotrajan, prolazni fenomem.

U svom dosadašnjem razvoju nuklearna energija se koristila gotovo isključivo za pridobivanje električne energije, koja u ukupnim energetskim potrebama krajnjih korisnika sudjeluje s manjim udjelom. Najveći dio energetskih potreba krajnjih koristnika (preko 80%) jest toplina. Tendencije prestrukturiranja korištenja fosilnih goriva k nuklearnoj energiji u pridobivanju električne energije nužno će se već u najbližoj budućnosti preslikavati i na zamjenu korištenja jednog dijela fosilnih goriva nuklearnom energijom u pridobivanju topline. To neće biti posljedica samo ekonomske konkurentnosti nuklearne tehnologije, već i promjene tretmana fosilnih oblika energije, što posebno treba da bude pred očima u sagledavanju naše neposredne energetske budućnosti. Naime, XX stoljeće je stoljeće kemijske industrije, a nema sumnje da živimo tek u vrijeme njezina djetinjstva. Nafta i prirodni plin, primarni oblici energije s najvećom upotrebnom vrijednošću u energetici, jesu ujedno i najvrednije sirovine za kemijsku industriju, pa je razumljivo da će njihova sirovinska vrijednost sve više premašivati energetsku, što će usmjeravati i način njihova korištenja.

U našoj zemlji, u istraživanju mogućnosti korištenja topline pridobivene nuklearnom reakcijom (u nuklearnoj elektrani) za toplinsku opskrbu korisnika najviše je urađeno u Institutu za elektroprivredu. Izrađeno je nekoliko studijskih radova /L. 4, 5, 6/ u kojima je pokazana opravdanost korištenja topline iz planirane NE Prevlaka za opskrbu korisnika u ogrjevnom centraliziranom sustavu grada Zagreba. Korisno je stoga analizirati i svjetska iskustva u gradnji sličnih objekata.

2. ZAŠTO JE DOSAD U SVIJETU IZGRAĐENO SAMO NEKOLIKO NUKLEARNIH ELEKTRANA IZ KOJIH SE KORISNICI OPSKRBLJUJU TOPLINOM

Pri razmatranju mogućnosti i potrebe izgradnje nuklearne elektrane-toplane (NE-TO) kod nas, ovo pitanje se najčešće postavlja. Među stručnjacima ne postoje neslaganja oko tehničke mogućnosti izvedbe jednog takvog rješenja jer korištenje topline iz nuklearne elektrane ne prelazi po svojoj složenosti granice uobičajenih, već klasičnih tehničkih rješenja. Očito je, stoga, da je skepticizam opozicije ovoj koncepciji ekonomske prirode. Pri tome se uglavnom na osnovi toga što su u svijetu takvi objekti dosad bili malobrojni zaključuje da oni nemaju ekonomskog opravdanja ni danas, a niti u neposrednoj budućnosti. Iako je jasno da ovakvi zaključci tipa fallacia fictae universalitatis ne mogu biti dokaznom neopravdanosti buduće izgradnje NE-TO, oni su donekle razumljivi jer su vjerojatno posljedica opreza u odlučivanju za izgradnju takvih objekata.

Uzroci tome što korištenje topline iz NE-TO nije u neposrednoj prošlosti u svijetu uzelo većeg maha mogu se svesti u dvije osnovne skupine:

— ekonomska neprihvatljivost te koncepcije još u neposrednoj prošlosti

— potreba da lokacija nuklearne elektrane udovoljava određenim tehničko-ekonomskim uvjetima pa da je korištenje topline iz NE-TO opravdano.

U vezi s prvim objašnjenje je dano već u uvodu. U vrijeme jeftinije nafte i prirodnog plina interesa za gradnju ovakvih objekata sigurno da nije moglo biti. Nakon toga slijedi zastoj u izgradnji nuklearnih elektrana, što je opet suzilo i mogućnost šireg korištenja topline.

Druga skupina uzroka, kao što je već rečeno, jesu specifični uvjeti koje treba da ispunjava lokacija nuklearne elektrane pa da bi toplinska opskrba iz tog objekta bila ekonomski opravdana i u današnjim ekonomskim uvjetima. U jednoj slobodnijoj interpretaciji mogu se opisati postavkom da udaljenost lokacije NE-TO od većih urbanih ili industrijskih sredina, s već razvijenom infrastrukturom za centraliziranu toplinsku opskrbu i već razvijenim toplinskim konzumom, ne smije biti prevelika. Razvijeni centralizirani toplinski sustav omogućava prihvatanje većih toplinskih tokova iz NE-TO u osnovnom dijelu svog dijagrama trajanja opterećenja, čime se postiže dugo vrijeme opskrbe iz NE-TO u toku godine i ubrzava amortizacija visokih investicijskih troškova ove koncepcije. Manja udaljenost NE-TO od konzuma i veći toplinski tokovi iz NE-TO snižavaju, opet, specifične troškove prijenosa topline (što treba smatrati »malom udaljenošću« ovisi o uvjetima u domeni kojih se opskrba in NE-TO valorizira, no najčešće je ona ispod pedesetak kilometara).

Imajući pred očima spomenute činjenice i znajući da vrijeme potrebno za planiranje i izgradnju nuklearne elektrane iznosi preko 10 godina, razumljivo je zašto je dosadašnja izgradnja NE-TO sporadične prirode.

Danas se u svijetu u fazi studijskih razmatranja ili planiranja izgradnje nalazi na desetke NE-TO, posebno u zemljama gdje postoji tradicija opskrbe korisnika vrelom vodom ili parom iz centraliziranih toplinskih sustava (zemlje istočnog bloka, SR Njemačka, Danska, Švedska, Finska, Švicarska itd.), ali i u zemljama gdje je u energetskoj politici do sada bio zanemarivan ovaj koncept opskrbe (Japan, SAD itd.).

3. DOSADAŠNJA IZGRADNJA NE-TO U SVIJETU

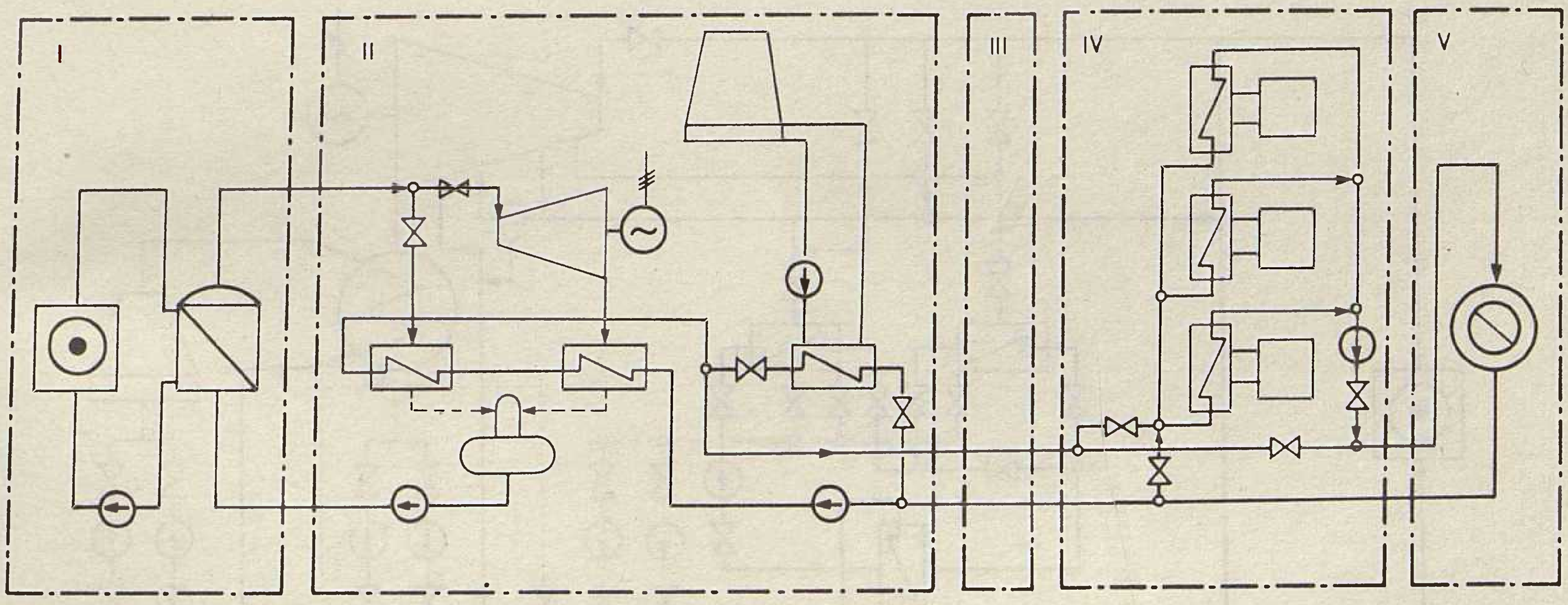
Do sada su u svijetu izgrađene ili se nalaze pred svršetkom izgradnje ove NE-TO: Ågesta, Karlsruhe, Bilibino, Gösgen, Odesa, Mildland. U domaćoj i svjetskoj literaturi ne postoji cjelovit prikaz opskrbe toplinom iz NE-TO, koji bi obuhvatio sve spomenute objekte, pa ćemo u nastavku, na osnovi raspoloživih izvora podataka, pokušati dati osnovne karakteristike svake od njih.

3.1. NE-TO Ågesta

Ågesta je bila prva komercijalno korištena NE-TO u svijetu. Puštena je u pogon 1964. godine u Švedskoj (pogon je obustavljen 1974. godine). Koristila se za opskrbu ogrjevnom toplinom 4 km od NE-TO udaljenog predgrađa Štokholma – Farsta — koje je tada imalo oko 40 tisuća stanovnika (Farsta je oko 17 km izvan središnjeg dijela Stocholma).

NE-TO Ågesta je bila ispitno postrojenje pa je i specifičnih karakteristika. Toplinska shema pridobivanja i predaje topline iz NE-TO korisnicima prikazana je na slici 2 /L5/.

Primarni krug elektrane smješten je u pećini u granitnoj stijeni na dubini 20 m od površine. Nepropusnost prostorije postignuta je prekrivanjem stijena čeličnim pločama. Sekundarni krug elektrane i svi ostali objekti smješteni su iznad površine zemlje, u dolini, osim rashladnog tornja koji je na brdu pokraj NE-TO.



Slika 2. Shema opskrbe toplinom iz NE-TO Agesta

I — primarni krug NE-TO
II — sekundarni krug NE-TO i predaja topline toplovodu
III — toplovod (4 km)
IV — vršne i rezervne kotlovske jedinice
V — konzumno područje

Na reaktor PHWR tipa (18,5 t prirodnog UO_2 — dubina izgaranja $2{,}81 \cdot 10^{11}$ j/kg; maseni tok teške vode — hladilo/moderator — je 1 000 kg/s, tlak 3,4 MPa; temperatura na ulazu u reaktor 205 °C, a na izlazu 220 °C), toplinskog učina 65 MJ/s, vezana su 4 parogeneratora /L5/.

U sekundarni krug NE-TO ugrađena je protutlačna turbina, koja je u vanogrjevnoj sezoni radila u kondenzacijskom pogonu (ovisno o tomu varirao je protutlak u rasponu 50-130 kPa) — slika 2. Maseni tok svježe pare bio je 29 kg/s, tlak 1,45-2,15 MPa, a temperatura 196-215 °C. Temperatura pojne vode iznosila je 105-110 °C. U kondenzacijskom radu, nazivna snaga na generatoru električne struje bila je 12 MW, a na pragu elektrane 10 MW /L5, 6/.

Voda toplovoda je zagrijavana u dva zagrijača: u prvom, parom oduzetom na protutlaku turbine, a u drugom svježom parom iz parogeneratora. Toplinski tok toplovoda bio je 55 MJ/s, polazna temperatura vode 75-120 °C, a povratna 52-68 °C. Kao vršne i rezervne jedinice u toplinskom sustavu koristili su se kotlovi na teško loživo ulje, izgrađeni u kotlovnici na području Farste i spojeni na toplovod kao što je to prikazano na slici 2.

U eksploataciji je NE-TO Ågesta pokazala veoma visoku raspoloživost i dobre eksploatacijske karakteristike; nije bilo nikakvih teškoća, bilo tehničkih bilo radijacijske prirode, u vezi s korištenjem topline iz NE-TO za opskrbu ogrijevnih korisnika /L5, 6).

3.2. NE-TO Karlsruhe

NE-TO Karlsruhe (Leopoldshafen, SR Njemačka) puštena je u pogon 1966. godine, dvije godine nakon

NE-TO Ågesta. Izgrađena je također kao eksperimentalno postrojenje. Treba naglasiti da ispitivanje mogućnosti oduzimanja topline nije bilo motiv za izgradnju postrojenja, već da se oduzimanje topline predvidjelo kao jedno rješenje koje može biti korisno, a ne može negativno utjecati na rad objekta.

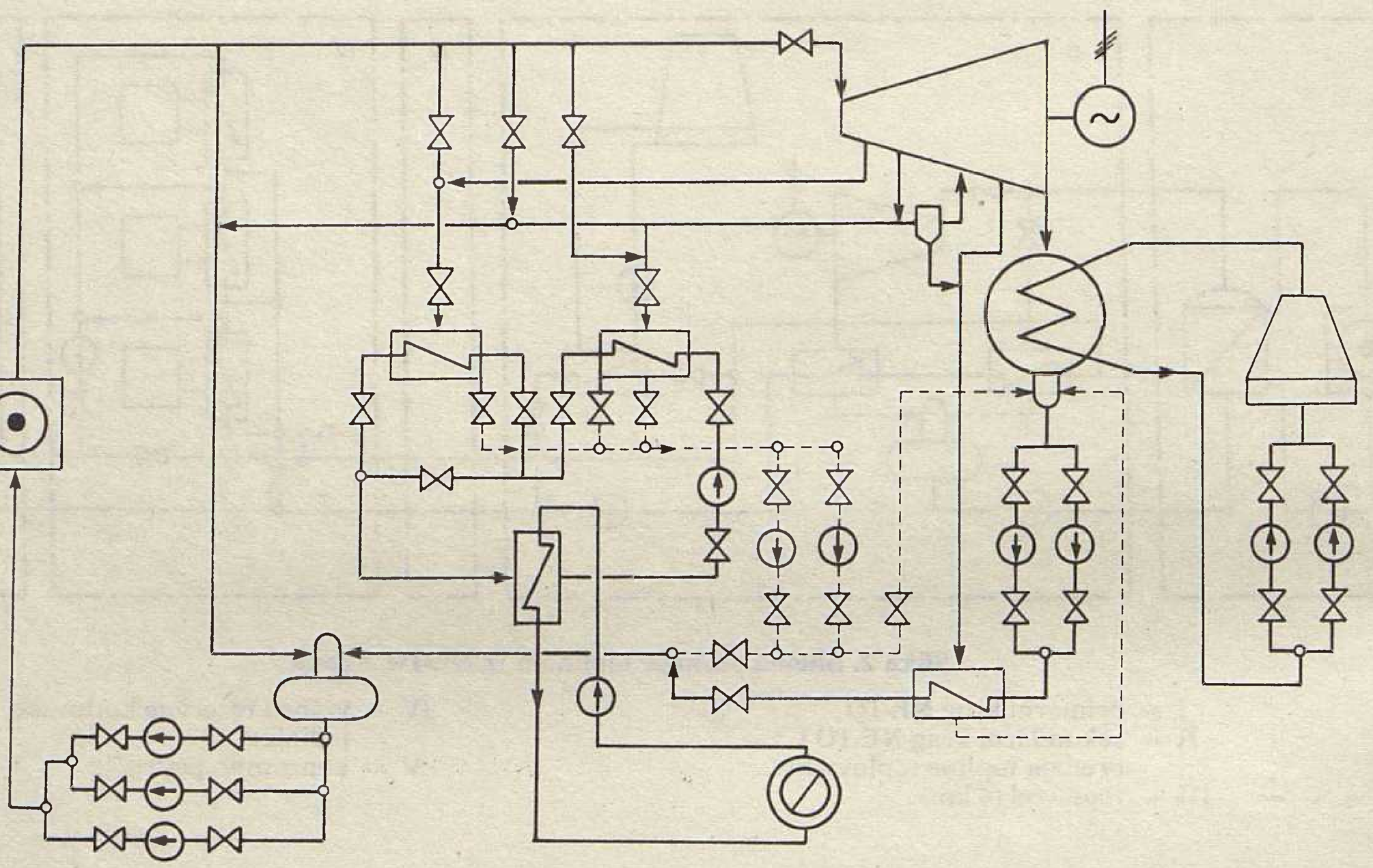
Nuklearni reaktor je PHWR tipa (UO_2 s prosječnim obogaćenjem 4%, dubina izgaranja $1{,}04 \cdot 10^{15}$ J/kg) toplinske snage 200 MJ/s. Snaga na generatoru električne struje iznosi 58 MW, a na pragu 52 MW. S turbine se oduzima 20 MJ/s topline /L1, 2, 5/. Ostali podaci nisu raspoloživi autoru.

3.3. NE-TO Bilibino

Izgradnja NE-TO Bilibino započela je 1966. godine u SSSR-u na Čukotskom poluotoku (kroz poluotok prolazi sjeverna polarnica). NE-TO se sastoji od 4 energetske jedinice, međusobno jednakih tehničkih karakteristika. Prve dvije puštene su u pogon 1974. godine, a preostale 1976. godine. NE-TO Bilibino koristi se za opskrbu električnom energijom i ogrjevnom toplinom naselja Bilibino, udaljenog 3,5 km od elektrane.

Osnovno postrojenje smješteno je u zgradi tlocrtne površine 60 × 100 m i visine 25 m. Osim primarnog dijela i strojarnice, u zgradi je i rasklopno postrojenje što omogućuje održavanje i remont u uvjetima surove klime polarnog kruga (zimi se temperatura vanjskog zraka spušta na −60 °C) /L5, L7/.

Nuklearni reaktor je s obogaćenim uranijem (3% u središnjem dijelu i 3,3% na periferiji), moderiran grafitom i hlađen kipućom vodom (sovjetska oznaka EGP-6), toplinske snage 62 MJ/s (ukupno za četiri jedinice 4 × 62 MJ/s). Masa UO_2 u reaktoru jest 7,2 t, a dubina izgaranja $6{,}9 \cdot 10^{11}$ J/kg. Aktivna zona nuklearnog reaktora je promjera 4,2 m i visine 3 m. Nominalni maseni tok svježe pare iznosi 27 kg/s po nuklearnom reaktoru, parametri pare na izlazu iz nuklearnog reaktora jesu 6,4 MPa/280, 83 °C (temperatura pojne vode je 523 °C), a tlak na ulazu u turbinu 5,9 MPa /L5, L7/.



Slika 3. Toplinska shema opskrbe toplinom iz NE-TO Bilibino

Na svaki reaktor vezana je po jedna kondenzacijsko-oduzimna turbina s dva oduzimanja pare za toplinsku opskrbu: jednim reguliranim oduzimanjem iz otcjepa turbina, na tlaku 0,4 do 0,1 MPa i jednim vršnim nereguliranim oduzimanjem pare ispred turbine na tlaku 1,5 MPa (slika 3). Na reguliranom oduzimanju predviđeno je maksimalno oduzimanje od 11,11 kg/s, a na nereguliranom 5,55 kg/s pare. Oduzeta para predaje u dva kondenzatora toplinu vodi posrednog kruga, kojom se zagrijava voda u sustavu za prijenos topline do korisnika. Posredni krug između oduzimane pare i sustava za prijenos topline do korisnika ugrađen je jer svježa para posjeduje određenu, iako nisku, radioaktivnost. Osim ove mjere, radi izbjegavanja kontaminacije vode u posrednom krugu održava se u njemu viši tlak nego što je maksimalan tlak oduzimane pare.

U svakom krugu ugrađen je regenerativni zagrijač kondenzata, otplinjač, odvajač vlage iz turbinske pare te kondenzator i suhi rashladni toranj (u blizini ne postoji rijeka, jezero ili sličan recipijent topline).

Nominalna snaga NE-TO iznosi 4 × 12 MW pri istodobnom oduzimanju 4 × 19 MJ/s topline. Maksimal-

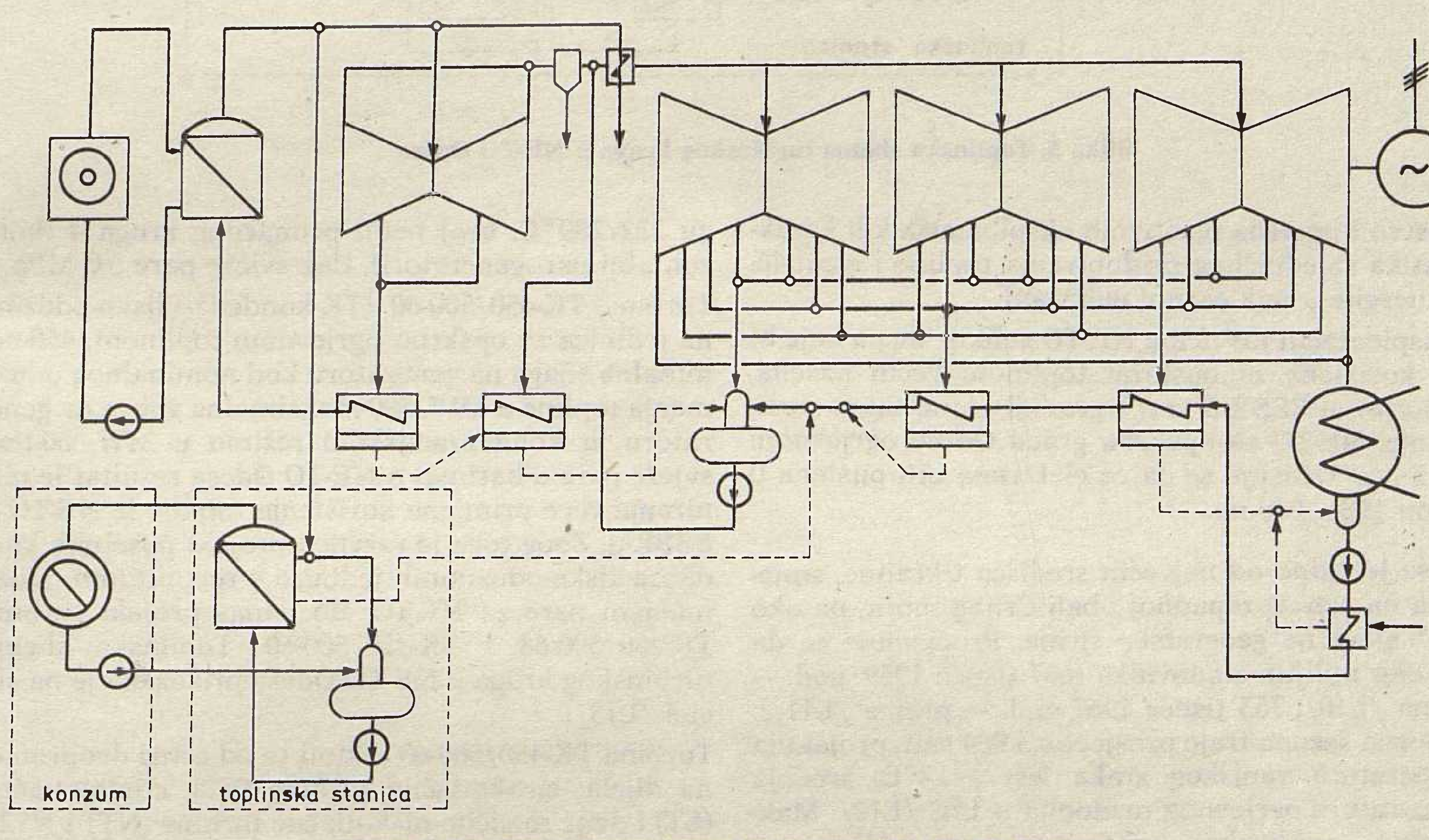
ni toplinski tok koji se predaje vodi sustava za prijenos ogrjevne topline jest 4 × 29 MJ/s (u tom slučaju snaga na generatoru električne struje iznosi 4 × 10,3 MW).

Eksploatacija NE-TO Bilibino pokazala je da su projektom predviđeni parametri u pogledu pridobivanja električne energije i topline postignuti. Raspoloživost jedinica u godinama od 1976. do 1981. bila je 85 do 92%.

3.4. NE-TO Gösgen

NE-TO Gösgen, izgrađena na obali rijeke Aare (Däniken, Švicarska), puštena je u pogon 1979. godine (izgradnja je započela 1973. godine). Nuklearni reaktor je PWR tipa (proizvođač KWU), toplinskog učina 2 772 MJ/s, s obogaćenjem U^{235} u UO_2 3,3% (središnji dio reaktora) /L1/. Na nuklearni reaktor vezana su tri parogeneratora ukupnog masenog toka 1 534 kg/s suhozasićene pare tlaka 6,65 MPa. Turbina se sastoji iz dvoprotočne visokotlačne turturbine i tri dvoprotočne niskotlačne turbine. Broj okretaja rotora jest 50 s^{-1}. Snaga na generatoru električne struje iznosi 970 MW, a na pragu 920 MW. Toplinska shema NE-TO Gösgen dana je na slici / L1, 8/.

Još u vrijeme planiranja elektrane (lokacija koje je bila odabrana prema kriterijima za standardnu kondenzacijsku NE) predviđeno je da se s cjevovoda parogenerator — turbina oduzima svježa para, koja bi se koristila u 1 750 m udaljenoj tvornici kartona osrednje veličine iz obližnjeg Niedergösgena. Motivi za takvu odluku bile su ekonomske i ekološke prednosti spram do tada korištene kotlovnice na teško loživo ulje. Ekonomska opravdanost pokazana je i u eksploataciji NE-TO, a povećana je i sigurnost isporuke pare. Ekološke prednosti su također znatne: za razliku od ispuštanja 900 do 1 000 kg sumpor-dioksida na dan u atmosferu (i zatim na okolišne urbane aglomeracije), što bi bila posljedica izgaranja teškog loživog ulja u kotlovnici na teško loživo ulje, dobila se »čista« energija bez negativnog utjecaja na okolinu /L8, L9/.



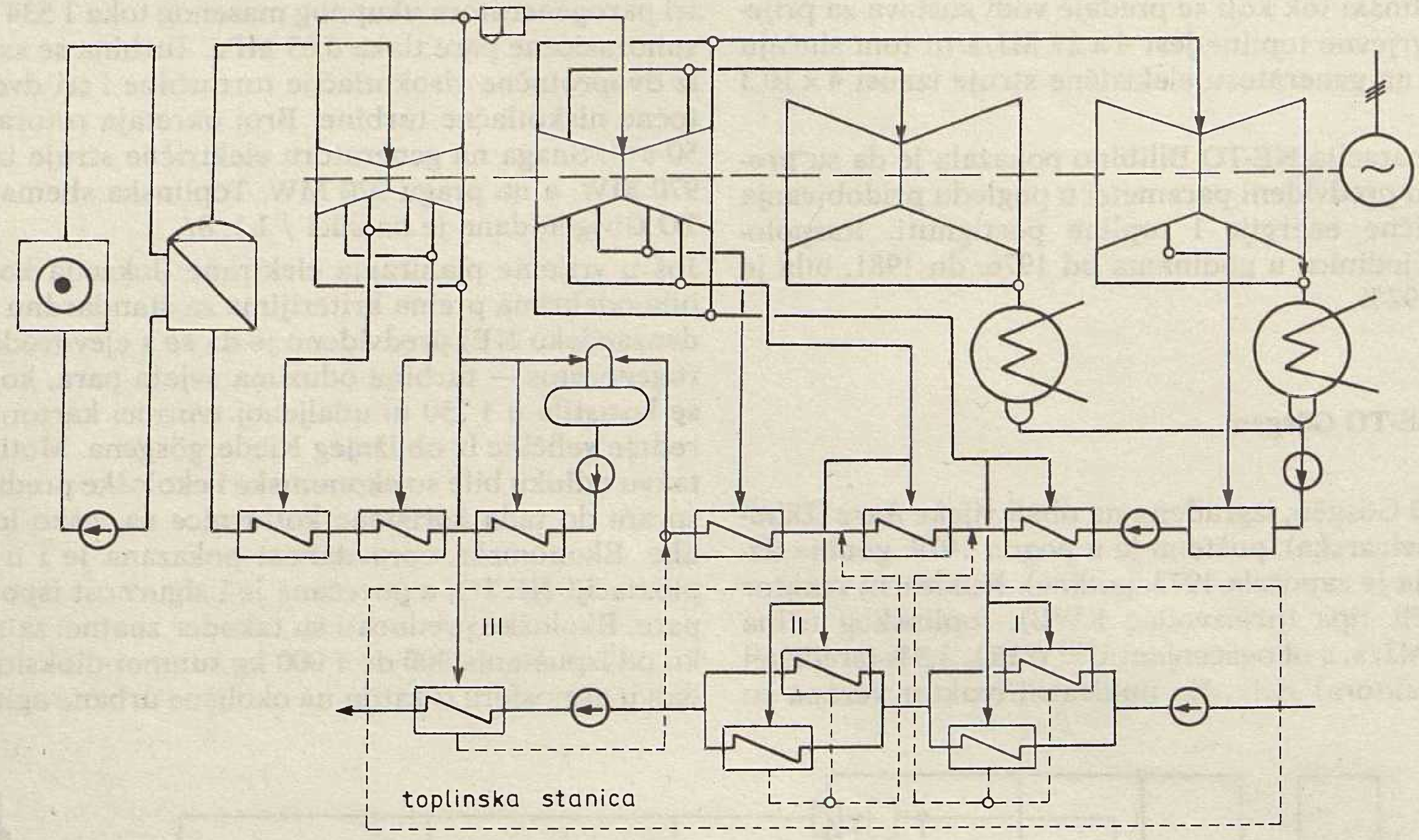
Slika 4. Toplinska shema opskrbe toplinom iz NE-TO Gösgen

Kao što je netom spomenuto, za toplinske se potrebe koristi svježa para. Radi sigurnosti, ona se ne koristi izravno u tehnološkom procesu tvornice kartona, već posredno, služeći za proizvodnju tehnološke pare putem parogeneratora tehnološke pare (slika 4). Parogenerator tehnološke pare generira 11,11 kg/s neznatno pregrijane tehnološke pare — tlaka 1,3 MPa i temperature 200 °C /L8/. Cjevovodom promjera 355,6 mm vodi se tehnološka para do pogona tvornice kartona, a kondenzat vraća u otplinjač smješten u toplinskoj stanici NE-TO (temperatura povratnog kondenzata je 109 °C) /L9/.

Radioaktivnost tehnološke pare kontinuirano se prati mjernom stanicom na izlazu iz parogeneratora tehnološke pare. Generiranje tehnološke pare se automatski prekida približi li se koncentracija I^{131} dozvoljenoj granici /L8/.

3.5. NE-TO Odesa

Prije opisane NE-TO su neznatnih snaga (s izuzetkom NE-TO Gösgen pri kojoj je opet mali toplinski tok oduzimanja), ali mogu poslužiti kao dragocjeno



Slika 5. Toplinska shema turbinskog kruga u NE-TO Odesa

iskustvo i potvrda pozitivnih eksploatacijskih karakteristika zajedničkog pridobivanja topline i električne energije u nuklearnoj elektrani.

U eksploataciji još nema NE-TO velikih snaga koje bi bile korištene za opskrbu toplinom većih naselja. Međutim, u SSSR-u je u izgradnji jedno takvo postrojenje: NE-TO za opskrbu grada Odese ogrjevnom toplinom. Očekuje se da će elektrana biti puštena u pogon 1986. godine.

Odesa je jedno od najvećih središća Ukrajine, smještena na sjeverozapadnoj obali Crnog mora, na oko 46,5° sjeverne geografske širine. Procjenjuje se da ima oko milijun stanovnika (667 tisuće 1959. god. — prema /L10/, 753 tisuće 1967 god. — prema /L11/). Ogrjevna sezona traje prosječno 3 964 sati, projektna temperatura vanjskog zraka jest −17 °C, srednja temperatura ogrjevnog razdoblja +1 °C /L12/. Maksimalno toplinsko opterećenje centraliziranog ogrjevnog konzuma iznosi oko 3 500 MJ/s /L5/.

NE-TO Odesa je locirana pored rijeke Dnjestar na udaljenosti 25 km od urbanog područja Odese. U sklopu NE-TO grade se dvije energetske jedinice, svaka sa po jednim nuklearnim reaktorom VVR-1000. Na svaki reaktor vezane su dvije turbine TK-450/500-60. Ukupna snaga NE-TO na generatoru električne struje iznosi 2 000 MW u kondenzacijskom radu, a 1 700 MW u kondenzacijsko-oduzimnom radu kod maksimalnog oduzimanja topline (oko 2 100 MJ/s).

Reaktor VVR-1000 (hlađen i moderiran lakom vodom pod tlakom) nije potrebno posebno opisivati jer je kod nas dobro poznat. Navest će se samo da je toplinska snaga 3 000 MJ/s, a tlak vode u primarnom krugu 16,0 MPa, temperatura vode u primarnom krugu 322/289 °C, broj petlji primarnog kruga 4 (horizontalni parogeneratori), tlak svježe pare 6,0 MPa.

Turbina TK-450/500-60 (TK-kondenzacijsko-oduzimna jedinica za opskrbu ogrjevnom toplinom, 450-nominalna snaga na generatoru kod nominalnog oduzimanja topline u MW, 500-maksimalna snaga na generatoru, u kondenzacijskom režimu u MW, 60-tlak svježe pare u barima) u NE-TO Odesa rezultat je planiranja veće primjene korištenja topline iz NE-TO u SSSR-u. Zbog toga je razvijen projekt posebnih kondenzacijsko-oduzimnih jedinica s reguliranim oduzimanjem pare za NE-TO; do danas projekt turbina TK-450/500-68 i TK-450/500-60. Toplinska shema turbinskog kruga u NE-TO Odesa prikazana je na slici 5 /L13/.

Turbina TK-450/500-60 sastoji se od četiri dvoprotočna dijela: visokotlačne turbine (VT), srednjotlačne (ST) i dvije različite niskotlačne turbine (NT1 i NT2). Broj turbinskih stupnjeva jest ovaj /L14/: VT turbina — 2×6, ST turbina — 2×6, NT1 turbina — 2×3 i NT2 turbina — 2×4. Parametri svježe pare jesu /L14/: tlak 6,0 MPa, temperatura 275,56 °C, vlažnost 0,5%, maseni tok 890 kg/s. Tlak pare na izlazu iz VT-turbine iznosi 0,9 MPa kod nazivnog opterećenja u kondenzacijskom radu, a 0,8-1,0 MPa kod kondenzacijsko-oduzimnog rada /L15/. Temperatura nakon međupregrijanja je 260 °C (međupregrijanje se, za razliku od kondenzacijskih turbina za nuklearne elektrane sovjetske proizvodnje, izvodi samo u jednom stupnju, svježom parom — ugradnja dva međupregrijača povećala bi prosječnu godišnju snagu za oko 0,2%, ali bi usložila izvedbu pa nije korištena /L14/. Parametri pare na izlazu iz ST turbine ovise o regulaciji tlaka oduzimanja pare za toplovodne zagrijače: 40 do 200 kPa /L15/. Prosječni tlak kondenzaci-

je za obje NT turbine je visok — iznosi 9,55 kPa /L13/. Broj okretaja rotora je 50 s^{-1}. Snaga na generatoru električne struje iznosi 500 MW u kondenzacijskom radu, a 425 MW u oduzimnom kod maksimalnog oduzimanja topline. Za vlastite potrebe koristi se 5,2 do 5,5% na generatoru pridobivene električne energije /L13/.

Maksimalno oduzimanje topline jest 523 MJ/s. Voda sustava za prijenos topline od NE-TO do urbanog područja zagrijava se u tri stupnja (slika 5) /L15/. Za zagrijače prvog stupnja oduzima se para s prestrujnih vodova od ST turbine do NT1 turbine, a za zagrijače drugog stupnja s prestrujnih vodova od ST turbine do NT2 turbine. Takva shema oduzimanja je i dovela do potrebe ugradnje ST turbine, koja se inače ni u SSSR-u ne koristi kod kondenzacijskih nuklearnih elektrana. Naime, ona omogućava regulaciju tlaka oduzimanja velikih masenih i volumnih tokova pare dijafragmama (za svaki protok jedna) ugrađenim u ulaznim komorama NT1 i NT2 turbine. Područje regulacije tlaka oduzimanja pare za zagrijače prvog stupnja jest 40 do 200 kPa (oko 76 do 120 °C), a za zagrijače drugog stupnja 60 do 300 kPa (oko 86 do 133 °C) /L15/. Shema spoja ST turbine s NT1 i NT2 turbinom, te navedeno područje regulacije uzrok je različitog broja turbinskih stupnjeva NT1 i NT2 turbine.

Kod svake turbine ugrađena su u prva dva stupnja zagrijavanja četiri toplovodna zagrijača, po dva paralelno spojena na svakom stupnju oduzimanja pare. U tim zagrijačima voda sustava za prijenos topline do konzumnog područja se zagrijava do 126 °C. Dogrijavanje vode do željenih temperatura (ovisno o trenutnom režimu rada toplinske mreže Odese) — maksimalno do 170 °C — izvodi se u trećem stupnju toplovodnih zagrijača, u kojem se izmjenjuje toplina pare oduzete s prestrujnog voda između VT i ST turbine (prije odvajača vlaga — pregrijača). Oduzimanje je također regulirano u opsegu 0,8 do 1,0 MPa (170 do 180 °C).

Svi toplovodni zagrijači su horizontalne izvedbe, a zajedno sa crpnom stanicom vode toplovoda (crpna stanica izvedena je u dva stupnja — slika 5) i ostalom opremom smješteni su u turbinskoj zgradi (turbinska zgrada je zajednička za sve četiri turbine).

Najveća pažnja posvećena je zaštiti sustava za prijenos topline do urbanog područja od kontaminacije radioaktivnošću. Zbog toga su u vezi s toplinskom opskrbom poduzete ove sigurnosne mjere /L15/:

- Sustav za prijenos topline do konzuma u urbanom području čini treći zatvoreni krug u odnosu na nuklearni reaktor.
- Tlak vode u toplovodnim zagrijačima je viši od tlaka oduzimane pare.
- U slučaju nepredviđenog pada tlaka u toplovodu zatvara se dovod pare u zagrijače.
- Kontinuirano se prati razina koncentracije radionuklida u primarnom i sekundarnom krugu te toplovodu.

3.6. NE-TO Midland

NE-TO Midland smještene su na južnoj obali rijeke Tittabawasse, oko 3,5 km južno od grada Midlanda (40 000 stanovnika) u federalnoj državi Michigan (SAD).

Izgradnja je započela 1974. godine, a očekuje se da će NE-TO biti puštena u pogon 1985. godine /L1, 16, 17/.

NE-TO zajednički gradi elektroprivredna kompanija Consumers Power Company i Dow Chemical Company.

Predviđeno je da NE-TO opskrbljuje 3,5 km udaljena tehnološka postrojenja u Dow Chemicalu s oko 500 kg/s vodene pare i korisnike u elektroenergetskoj mreži Consumers Power Company s oko 1 300 MW električne energije /L17, 18/.

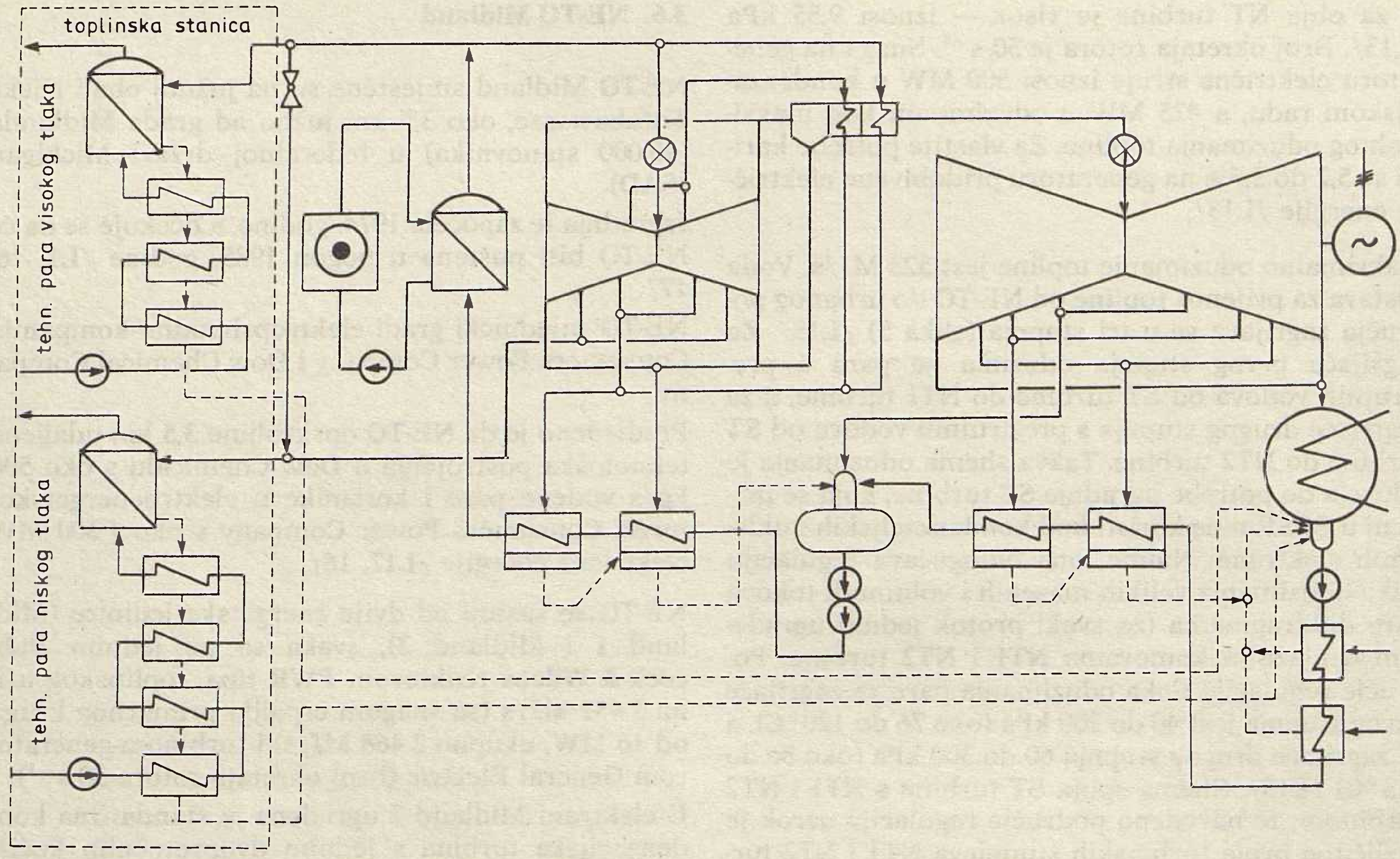
NE-TO se sastoji od dvije energetske jedinice (Midland 1 i Midland 2), svaka sa po jednim Babcock & Wilcox reaktorom PWR tipa, toplinskog učina 2 452 MJ/s (sa snagom crpaljki primarnog kruga od 16 MW, ukupno 2 468 MJ/s) i turbinom-generatorom General Electric (broj okretaja rotora 30 s^{-1}).

U elektrani Midland 2 ugrađena je standardna kondenzacijska turbina s jednim dvoprotočnim kućištem visokog tlaka i dva dvoprotočna kučišta niskog tlaka. Snaga na generatoru električne struje iznosi 855 MW. Parametri svježe pare su 6,38 MPa/298,89 °C (neznatno pregrijana para), a maseni tok svježe pare 1 289,63 kg/s.

U Midland 1 ugrađena je kondenzacijsko-oduzimna turbina specijalno razvijena i dimenzionirana za rad s oduzimanjem pare za tehnološke potrebe Dow Chemicala. Zbog konstantnih potreba u tehnološkoj pari u toku godine nije predviđeno da turbina radi u kondenzacijskjom pogonu — bez oduzimanja pare. Turbina se sastoji od jednog dvoprotočnog kućišta visokog tlaka i jednog dvoprotočnog kućišta niskog tlaka. Toplinska shema turbinskog kruga prikazana je na slici 6 /L17/.

Oduzimanje pare za tehnološke potrebe izvodi se prije ulaska u visokotlačnu turbinu te s visokotlačne turbine: radi tehnološkog procesa u Dow Chemicalu posebno se prenosi visokotlačna tehnološka para, a posebno niskotlačna. Znatna pažnja trebalo je da se posveti pitanjima zaštite tehnološke pare od kontaminacije radioaktivnošću (u proizvodnom procesu Dow Chemicala tehnološka para iz NE-TO se koristi u proizvodnji ljudske hrane i lijekova). Zbog toga se svježa para iz parogeneratora i para oduzeta s turbine ne koriste izravno u tehnološkom procesu, već je uveden zatvoreni međukrug s generatorima tehnološke pare, smještenim na lokaciji NE-TO (dodatna mjera sigurnosti je detekcija radioaktivnosti tehnološke pare i automatska obustava proizvodnje tehnološke pare u slučaju njezine kontaminacije).

U parogeneratorima tehnološke pare visokog tlaka (2 komada) kondenzira u radu kod nazivnih uvjeta 50,4 kg/s svježe pare (parametara 6,21 MPa/295 °C pri parogeneratorima tehnološke pare) i generira se



Slika 6. Toplinska shema turbinskog kruga u NE-TO Midland I

50,4 kg/s tehnološke pare parametara 4,26 MPa/ 254,1 °C (suhozasićena para). Pothlađeni kondenzat svježe pare se iz parogeneratora preko zagrijača tehnološkog kondenzata (koji se zajedno s dodatnim, potrebnim količinama kemijski pripremljene vode vraća iz proizvodnog procesa Dow Chemicala) vodi u kondenzator turbine /L18/.

Tehnološka para niskog tlaka generira se u 11 parogeneratora, toplinom pare oduzete s visokotlačne turbine. U radu pri nazivnim uvjetima oduzima se s turbine 500 kg/s vlažne pare (vlažnost 7,44%) tlaka 1,72 MPa (204,9 °C) i proizvodi 460 kg/s tehnološke, suhozasićene pare tlaka 1,34 MPa (193 °C). Pothlađeni kondenzat oduzimne pare se iz parogeneratora preko zagrijačâ tehnološkog kondenzata (koji se zajedno s dodatnim, potrebnim količinama kemijski pripremljene vode vraća iz proizvodnog procesa Dow Chemicala) vodi u kondenzator turbine /L18/.

U tablici 1. dani su parametri pare/vode u turbinskom procesu NE-TO Midland 1 (slika 6). Pri nazivnoj toplinskoj snazi reaktora i nazivnim uvjetima oduzimanja pare za tehnološki proces, rezultirajuća snaga na generatoru električne struje iznosi 504,864 MW (tlak kondenzacije 8,47 kPa). Pri nazivnoj toplinskoj snazi reaktora i maksimalnoj postizivoj snazi na generatoru električne struje (595,247 MW) rezultirajuća proizvodnja tehnološke pare je 86,3 kg/s (visokotlačna para) odnosno 226,8 kg/s (niskotlačna para). Gornja granica proizvodnje visokotlačne tehnološke pare jest 100 kg/s (uz odgovarajuće smanjenje proizvodnje niskotlačne pare).

Consumers Power i Dow Chemical definirali su ugovorom da je primarna uloga NE-TO opskrba korisnika tehnološkom parom, pa je pridobivanje električne energije tome podređeno. Budući da bi prekid ispo-ruke pare u Dow Chemical izazvao znatne štete zbog zastoja u tehnološkom procesu, predviđeno je da se u slučaju kvara na sekundarnom dijelu postrojenja para oduzimana s visokotlačnog dijela turbine supstituira svježom parom reduciranom na potrebne parametre. Slično tome, pri obustavi nuklearnog reaktora u jedinici Midland 1 koristi se svježa para iz jedinice Midland 2 (jedan dio se reducira na parametre potrebne za proizvodnju niskotlačne pare). Takvim rješenjem postiže se sigurnost opskrbe korisnika tehnološke pare od 99%.

4. ZAKLJUČAK

Opskrba ogrjevnih ili tehnoloških korisnika toplinom iz NE-TO bila je dosad u svijetu sporadične prirode. Uzroci tome jesu ekonomska neprihvatljivost te koncepcije još u neposrednoj prošlosti i potreba da se dovoljno blizu nuklearne elektrane nalazi već razvijeni toplinski konzum koji u osnovnom dijelu svog dijagrama trajanja opterećenja može prihvatiti znatni toplinski tok iz nuklearne elektrane. Zbog današnjih ekonomskih odnosa u energetici opskrba toplinom iz nuklearne elektrane je, uz određene uvjete, izuzetno atraktivna te predstoji izgradnja većeg broja takvih objekata u svijetu.

Postojeće NE-TO, dosad puštene u pogon, potvrdile su povoljne eksploatacijske karakteristike ovakvih objekata, a poodmakla faza izgradnje NE-TO Odesa i

Tablica 1. Termodinamski parametri pare / vode u NE-TO Midland 1

Parametar	Jedinica mjere	Rad kod projektiranih parametara	Maksim. snaga na generatoru el. str.	Maksim. produkcija tehnološke pare
toplinski tok parogeneratora svježe pare	MJ/s	2 468	2 468	2 568
maseni tok svježe pare	kg/s	1 289,6	1 322,2	1 360,1
temperatura svježe pare	°C	298,9	298,9	298,9
tlak svježe pare	MPa	6,38	6,36	6,38
temperatura pojne vode	°C	221,1	231,3	224,2
maseni tok svježe pare u isparivače tehnološke pare VT	kg/s	50,4	86,3	50,4
oduzimanje pare s TV turbine za isparivače tehnološke pare NT	kg/s	499,1	252,9	498,2
tlak pare na oduzimanju za isparivače tehnološke pare NT	MPa	1,72	2,51	1,92
tlak pare na ulazu u VT turbinu	MPa	1,24		1,39
temperatura pare na ulazu u VT turbinu	°C	262,3		262,0
snaga na generatoru električne struje	MW	504,86	595,25	533,84
maseni tok VT pare za Dow Chemical	kg/s	50,4	86,3	50,4
tlak VT pare za Dow Chemical (na izlazu iz isparivača)	MPa	4,26	4,29	4,26
maseni tok NT pare za Dow Chemical	kg/s	459,9*	226,8	459,9
tlak NT pare za Dow Chemical (na izlazu iz isparivača)	MPa	1,34	1,32	1,43

* Maseni tok NT pare može biti do 920 kg/s ako se smanjuje maseni tok NT tehnološke pare

NE-TO Midland — jedinica snaga reda veličine 1 000 MW — potvrđuju da smo na pragu nove etape u korištenju nuklearne energije u mirnodopske svrhe.

LITERATURA

[1] Nuclear Power Reactors in the World, International Atomic Energy Agency, Beč, 1982.

[2] Power Reactors 1983., Nuclear Engineering international, Vol. 28/No 344, Sutton, 1983.

[3] Guidebook on the Introduction of Nuclear Power, International Atomic Energy Agency, Beč, 1982.

[4] D. ČORAK I OSTALI: »Usmjeravanje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.

[5] F. V. SAPOŽNIKOVA I OSTALI: »Sistemi teplosnabženija na baze atomnih elektrostancii«, Budiveljnik, Kiev, 1982.

[6] Nuclear energy for district heating, Brošura s prezentacije ASEA-ATOM-a u Zagrebu 1982.

[7] V. V. DOLGOV I OSTALI: »Opit ekspluatacii Bilibinskoi ATEC dlja virabotki električeskoi energii i tepla v rajone krajnjevo severa«, IAEA-CN-42/355, Beč, 1982.

[8] I. DAGLIO: »Combined Heat and Power Generation from the Goesgen Nuclear Power Plant«, Motor-Columbus Consulting Engineers Inc., Baden, 1980.

[9] Z. MILANOVIĆ: »Oduzimanje pare iz nuklearnog reaktora NE Gösgen za potrebe tehnoloških korisnika«, Energija 11-12/1980, Zagreb, 1980.

[10] Enciklopedija leksikografskog zavoda, Leksikografski zavod DNRJ, Zagreb, 1961.

[11] Opća enciklopedija leksikografskog zavoda, Leksikografski zavod SFRJ, Zagreb, 1976.

[12] D. t. ARŠAKJAH: »Optimizacija teplosnabžajuščei sistemi različnih klimatičeskih uslovijah«, Aiastan, Erevan, 1980.

[13] V. P. TATARMIKOV: »Odeskaja atomnaja teploelektrocentrali«, Električeskie stanci 8/1982., Energoizdat, Moskva, 1982.

[14] V. I. VODIČEV I OSTALI: »Teplofikacionaja parovaja turbina tipa TK-450/500 TK-450/500-68 (60) dlja ATEC«, Teploenergetska 5/1980., Energija, Moskva, 1980.

[15] Y. A. KUZNETSOV I OSTALI: »Nuclear CHP Plants for DH Systems of Cities and urban Complexes«. The V International District Heating Conference, Kev, 1982.

[16] Co-generation at Midland, Bechtel Briefs, Norwalk, 1980.

[17] W. E. KESSLER, J. R. BURROUGHS: »The Midland Nuclear Process Steam/Electric Project, Proceedings of the First National Topical Meeting on Nuclear Process Heat Applications , Los Alamos scientific laboratory, 1974.

[18] Midland 182 — FSAR, Los Angeles Power Division

REVIES OF THERMAL HEATING FROM NPP's IN THE WORLD

In the article are presented basic facts for up-to-day low usage of thermal power from NPP's, as well as systematization of basic technical data for thermal heating from NPP's: Agesta, Bilibino, Gösgen, Odesa, Midland.

ÜBERSICHT DER WÄRMEVERSORGUNG AUS KERNKRAFTWERKEN IN DER WELT

Hier wurden die wichtigsten Ursachen der unzureichenden Nutzung der Wärme aus Wärmekraftwerken in der Vergangen — heit sowie die wichtigsten technischen Angaben in Verbindung mit der Wärmeversorgung der Verbraucher aus Kernkraftwerken: Agesta, Bilibino, Gösgen, Odesa, Midland geschildert.

ОБЗОР ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ИЗ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В МИРЕ

Приводятся основные причины незначителiного исполiзования тепла из АЭС в прошлом и систематизированные основные данные в связи с теплоснабжением абонентов из АЭС Огеста, Билибино, Гёсген Одесса, Мидланд.

Naslov pisca:

Zdravko Mužek, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, 41000 Zagreb, Proleterskih b. 37

Uredništvo primilo rukopis 1984. 04. 02.

industrogradnja

RADNA ORGANIZACIJA GRAĐENJA, PROJEKTIRANJA I PROIZVODNJE GRAĐEVINSKOG MATERIJALA

OOUR Komercijalni poslovi
tel. 510-021

41000 ZAGREB • SAVSKA CESTA 66
TELEFONI:
CENTRALA: 041/510-211
GENERALNI DIREKTOR: 041/510-003
TELEX: 21-448-IND
POŠTANSKI PRETINAC 331

100 GODINA PROIZVODNJE I RAZVOJA PARNIH TURBINA

Branko Staniša, Karlovac

UDK 621.165

PREGLEDNI RAD

U radu je iznesen pregled razvoja parnih tubrina od prvih početaka do danas. Prikazane su konstrukcije turbina s osnovnim karakteristikama i parametrima pare u pojedinim etapama njihova razvoja. Iznesene su mogućnosti i pravac daljnjeg razvoja parnih turbina.

Ključne riječi: parne turbine, razvoj.

1. UVOD

Prva industrijski promjenljiva akcijska parna turbina proizvedena je 1883. godine, a reakcijska 1884. godine. Od tih prvih proizvedenih parnih turbina, snage svega nekoliko kilovata u toku 100 godina turbine su se razvile u pogonske strojeve koji spadaju među najsavršenije i najekonomičnije u kojima jedinične snage dosežu 1 300 do 1 400 MW. One su sebi osigurale sigurnu budućnost jer su bolje od bilo kojeg pogonskog stroja za proizvodnju električne energije u termoelektranama, nuklearnim elektranama i u industrijskim i javnim toplanama za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije. Također se uspješno i široko primjenjuju za mehanički pogon pumpi, kompresora, ventilatora i drugih rotirajućih strojeva od malih do najvećih snaga.

Danas gotovo svaka industrijski razvijena zemlja proizvodi parne turbine po vlastitoj ili stranoj tehnologiji i ulaže znatna sredstva u njihov daljnji razvoj. Naša zemlja proizvodi već više od 30 godina parne turbine snage do 100 MW po vlastitoj i stranoj tehnologiji. Izgradnjom tvornice parnih turbina velikih snaga kao osnovnog pravca daljnjeg razvoja turbogradnje u našoj zemlji Jugoturbina, jedini proizvođač parnih turbina u nas, osposobit će se za proizvodnju turbine jedinične snage do 1 300 MW po tehnologiji švicarske tvrtke Brown Boveri, i to za potrebe domaćeg i stranog tržišta.

Energetska kriza i mrak, kao jedna od njezinih posljedica, nametnula je potrebu za sve većom gradnjom termoelektrana i nuklearnih elektrana, što je uvjetovalo da se problemom energije bave svi od stručnjaka, državnika i političara do širokih slojeva običnih ljudi. Da bi se širi krug ljudi bolje upoznao s parnim turbinama kao osnovnim pogonskim strojevima za proizvodnju električne energije, nužno je upoznati početak i tok njihova razvoja. Razvoj parnih turbina može se podijeliti u nekoliko etapa. U ovom radu dan je kratak pregled razvoja parnih turbina s prikazom njihovih konstrukcija i osnovnih parametara u pojedinim etapama razvoja od prvih početaka do danas. Iznesene su također mogućnosti i pravci njihova daljnjeg razvoja.

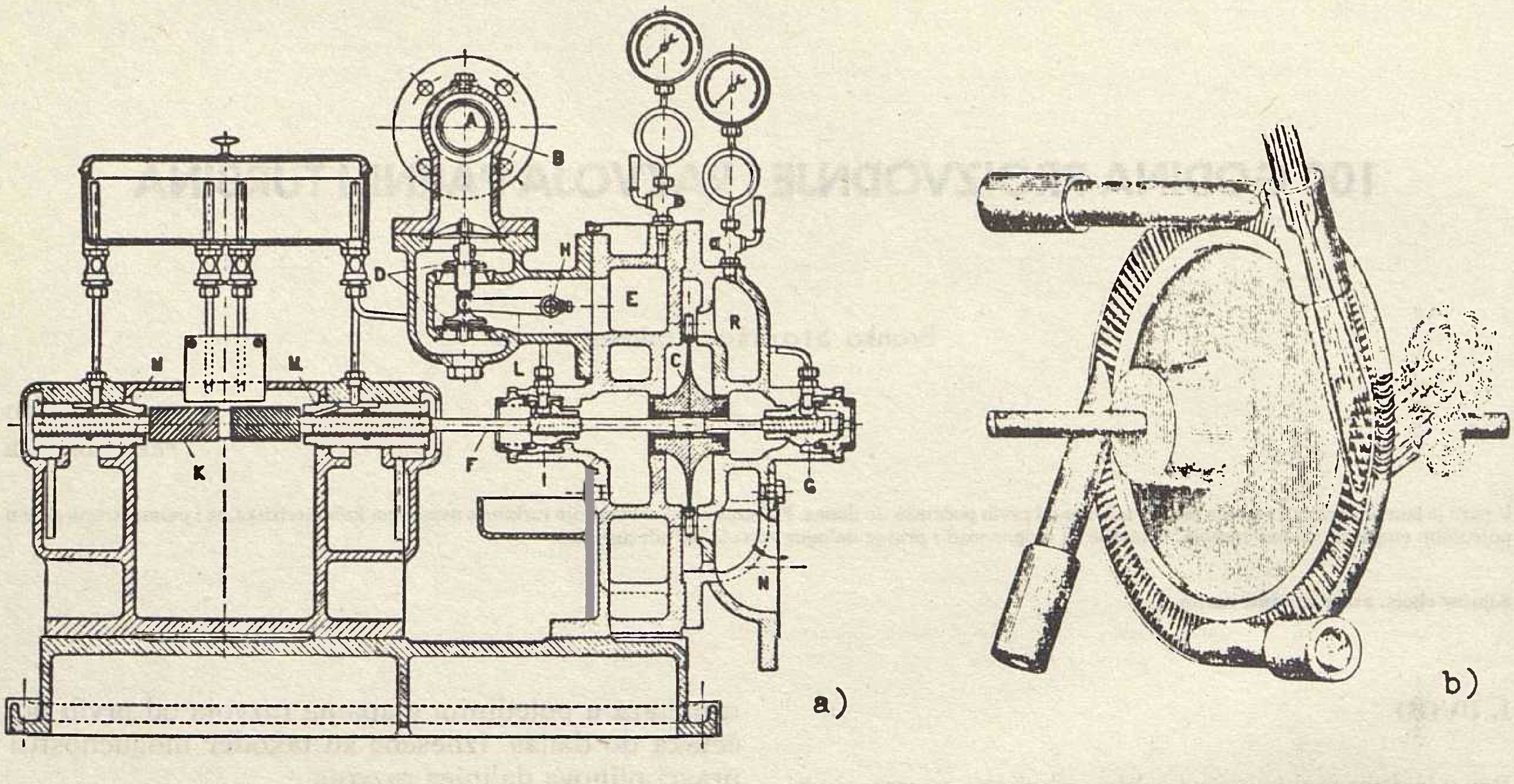
2. POČECI RAZVOJA PARNIH TURBINA

Pretvaranje toplinske energije vodene pare u mehanički rad u obliku vrtnje rotora, slično današnjem principu rada parne turbine, bilo je poznato još u starom vijeku. Smatra se da je prvu napravu koja je pretvarala toplinsku energiju vodene pare u mehanički rad, prethodnika današnjih parnih turbina, konstruirao aleksandrijski matematičar i fizičar Heron oko 120. godine p.n.e. Heronova naprava je zbog reakcijskog djelovanja tlaka vodene pare vrtjela rotor u obliku kugle [1]. Ona je značajna po tome što se tada prvi put dokazala mogućnost korištenja reakcijskog djelovanja energije vodene pare.

Prvu napravu na principu rada turbine koja je koristila toplinsku energiju vodene pare za dobivanje praktički primjenljivog mehaničkog rada konstruirao je i izradio talijanski fizičar, graditelj i ljekarnik Giovani De Branca 1629. godine. Vodena para proizvedena u kotlu strujala je kroz cijev sličnu sapnici i udarala u lopatice na obodu kola, te zbog akcijske sile vrtjela lopatično kolo u smjeru strujanja pare. Naprava vjerojatno nije davala veliku snagu, ali je značajna za razvoj parnih turbina jer je sadržavala sve bitne elemente današnjih akcijskih parnih turbina.

Kad je 1769. godine Škot James Watt pronašao i patentirao parni klipni stroj, nastupa vijek vodene pare. To je potaklo stručnjake da se krajem 18. stoljeća i početkom 19. počinju intenzivnije baviti starim pronalascima koji se odnose na pretvaranje kinetičke energije vodene pare u mehanički rad. Tako je u to vrijeme u toku od sto godina izdano oko 200 patenata u vezi s parnim turbinama, od kojih se najveći broj odnosi na parne turbine Heronovog tipa.

Prvu industrijski primjenljivu parnu turbinu konstruirao je i patentirao 1883. godine švedski inženjer



Slika 1. Lavalova jednostupna akcijska parna turbina, 1883. godine

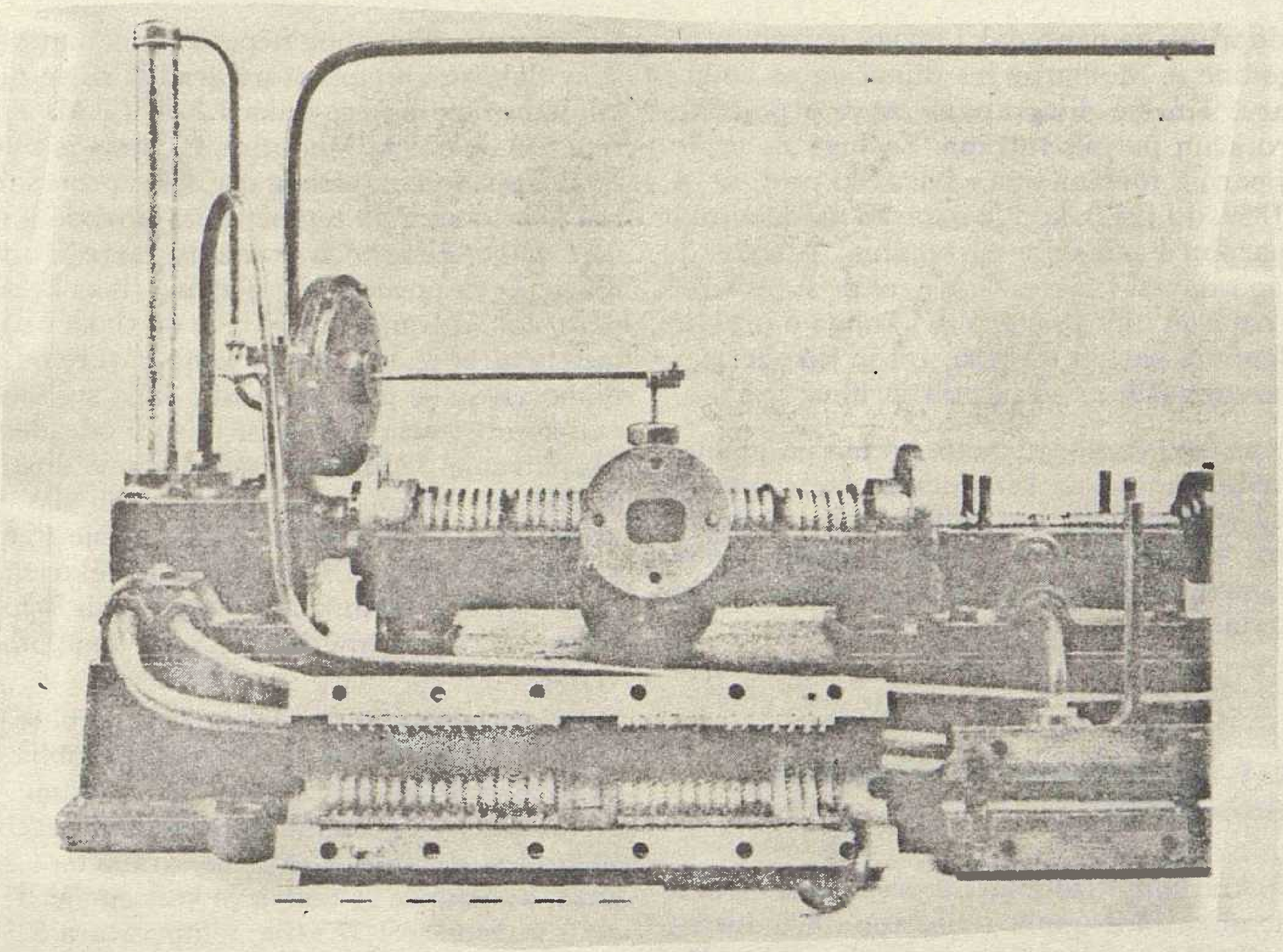
a) uzdužni presjek kroz turbinu
b) sapnice s rotorskim kolom.

Carl Gustav Patrik de Laval (1845. do 1913) [1, 2, 3]. To je bila jednostupna akcijska parna turbina snage 3,7 kW, brzine vrtnje 433,3 s^{-1}, nazvana po njemu de Lavalova turbina (slika 1). Glavni dijelovi turbine su: sapnica, rotorske lopatice ugrađene u rotorsko kolo, kućište, ležajevi i zupčani reduktor brzine vrtnje. Zbog velike brzine struje pare na izlazu iz sapnice turbina je imala veliku brzinu vrtnje — do 500 s^{-1}. Da bi mogla pogoniti bilo koji stroj, morala je turbina imati zupčani reduktor za smanjenje brzine vrtnje. Konstantnu brzinu vrtnje održavao je centrifugalni regulator upravljanjem preko vratila H i ručice L s prigušnim ventilom D. Stupanj korisnosti postrojenja iznosio je do 0,08.

Godinu dana kasnije, 1884. godine, engleski inženjer Charles Algernon Parsons (1854. do 1931) izradio je i patentirao prvu reakcijsku višestepenu parnu turbinu (slika 2). Turbina se sastoji od kućišta s ugrađenim statorskim lopaticama i vratila u koje su direktno ugrađene rotorske lopatice. Kućište je horizontalno podijeljeno i spojeno vijcima, radi lakše montaže statorskih lopatica i rotora turbine. Na slici je prikazana turbina sa skinutim gornjim kućištem. Turbina je dvoprotočne izvedbe, pa se na taj način poništava aksijalna sila na rotor. Para se dovodi na sredinu turbine i ekspandira u lijevoj i desnoj grupi stupnjeva. Svaka grupa ima 15 stupnjeva koji se sastoje iz statorskih i rotorskih lopatica. Ta prva eksperimentalna Parsonsova turbina imala je snagu 7,35 kW. Brzina vrtnje zbog malog srednjeg promjera stupnjeva ∅ 74 mm bila je relativno velika 283,3 s^{-1}. Uskoro je Parsons ovakvom izvedbom, naročito za veće snage, uspio smanjiti brzinu vrtnje i prilagoditi je radnom stroju.

U Parsonsovoj turbini od ukupnog toplinskog pada u stupnju pola se prerađuje u statorskoj, a pola u rotorskoj rešetki. Pri tome zbog ekspanzije pare u rotorskoj rešetki nastaje reakcijska sila koja u određenoj mjeri pokreće rotor. Prema tome, u Parsonsovoj turbini sila za pokretanje rotora dobiva se skretanjem struje pare u rotorskoj rešetki i reakcijskim djelovanjem, dok se u de Lavalovoj turbini sila za pokretanje rotora dobiva samo akcijskim djelovanjem skretanja struje pare u rotorskoj rešetki. Zbog takvog procesa pretvorbe energije dobile su naziv akcijska i reakcijska turbina. Tako su nastala dva tipa parnih turbina, tj. dvije različite tehnike gradnje, čije su licence dane u svijet i time uvjetovale njihov daljnji razvoj i način proizvodnje.

Osim de Lavala i Parsonsa, stvaralaca prvih industrijski primjenljivih parnih turbina, potrebno je spomenuti još neke konstruktore koji su u prvim počecima utjecali na daljnji razvoj parnih turbina. Amerikanac Charles Curtis (1860. do 1953) je 1896. godine patentirao jednostupnu akcijsku parnu turbinu sa stupnjevanjem brzine, s dva i tri vijenca rotorskih lopatica, koja je po njemu nazvana Curtisova turbina. Takvom izvedbom bilo je moguće smanjiti brzinu vrtnje turbine. Francuski prof. August Rateau (1863. do 1930) uveo je višestupne akcijske parne turbine sa stupnjevanjem tlaka i prvi dostigao 1900. Godine snagu 1 000 kW jednim strojem. On je višestupnu akcijsku parnu turbinu izradio 1898. a patentirao 1902. godine. Primjer Rateauove parne turbine prikazan je na sl. 3 [4]. Turbina ima 13 akcijskih stupnjeva. Razdjelne stijene s ugrađenim statorskim lopaticama učvršćene su u kućište koje je horizontalno podijeljeno i spojeno vijcima. Rotorska kola s rotorskim

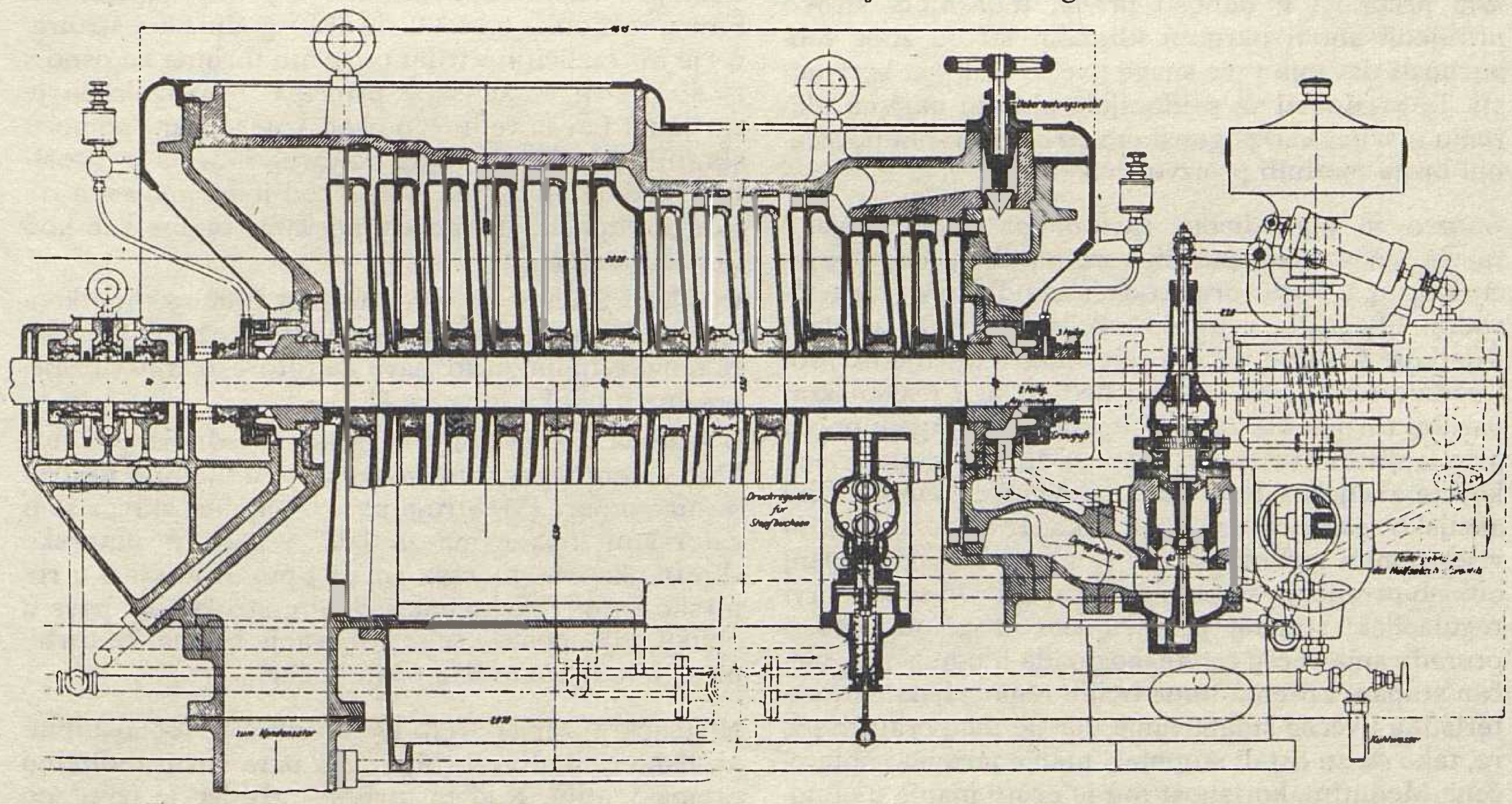


Slika 2. Parsonsova višestupna reakcijska parna turbina, 1884. godine

lopaticama navučena su na vratilo oslonjeno na dva potporna klizna ležaja. Na prednjem dijelu gornjeg kućišta ugrađen je ventil kojim se u slučaju preopterećenja turbine može dovoditi para iza trećeg stupnja.

Švicarski inženjer Henrich Zoelly (1862. do 1937) bio je također konstruktor višestupnih akcijskih turbina. On je 1903. godine konstruirao višestupnu akcijsku parnu turbinu sa stupnjevanjem tlaka, snage 500 kW, koju je proizvela švicarska tvrtka Escher Wyss. Turbina se sastoji od dva kućišta: visokotlačnog i niskotlačnog. U svakom kućištu ima pet stupnjeva.

Uvođenjem višestupnih akcijskih parnih turbina sa stupnjevanjem tlaka omogućeno je podešavanje brzine vrtnje zahtjevima radnog stroja i daljnji razvoj njihovih jediničnih snaga.



Slika 3. Rateauova višestupna akcijska parna turbina, 1902. godine

Značajan doprinos za napredak i razvoj parnih turbina 1906. godine je Mollierov h-s dijagram za vodu i vodenu paru. Tim se dijagramom znatno pojednostavnio proračun parnih turbina. Zasluge za uspješan razvoj parnih turbina ima i švicarski prof. dr. A. Stodola, (1859. do 1942), koji je napisao najdetaljniju knjigu o parnim i plinskim turbinama. Također je potrebno spoznavati i njemačkog prof.dr E. A. Krafta, koji je napisao mnogo članaka i knjiga o praktičnim problemima parnih turbina. On je također zaslužan za razvoj naših prvih parnih turbina.

Daljnji veoma brzi razvoj turbina, prema parametrima pare, jediničnoj snazi i izvedenim konstrukcijama moguće je podijeliti u nekoliko etapa. Prikazat ćemo razvoj toplinskih turbina prije prvoga svjetskog rata, između dva svjetska rata i poslije drugoga svjetskog rata.

3. RAZVOJ PARNIH TURBINA DO PRVOGA SVJETSKOG RATA

U relativno kratkom razdoblju od prvih patentiranih i proizvedenih jednostupnih i višestupnih industrijski primjenjljivih parnih turbina do prvoga svjetskog rata 1914. godine dolazi do naglog razvoja njihove snage i usavršavanja konstrukcija. Poticaj njihovu tako brzom razvoju bio je Teslin pronalazak motora na višefaznu izmjeničnu struju 1887. godine. Pronalaskom motora na višefaznu izmjeničnu struju i uvođenjem električnog pogona umjesto mehaničkog u industriju, te centraliziranjem proizvodnje električne energije i njenog prjenosa na veće daljine zahtjevalo je gradnju električnih centrala sve većih snaga. Za pogon električnog generatora parna turbina je pokazala prednost u odnosu prema tadašnjem široko primjenjivanom parnom klipnom stroju zbog mogućnosti davanja veće snage i većeg stupnja korisnosti. Te prednosti su pridonijele njezinu naglom ulaženju u svijet kao pogonskom stroju i brzom povećanju broja njezinih proizvođača.

Gotovo je podjednako zastupljena proizvodnja i razvoj višestupnih parnih turbina akcijskog i reakcijskog tipa. Jedni proizvođači se odlučuju za proizvodnju akcijskih, a drugi reakcijskih parnih turbina. Rijetkost je da se jedan proizvođač odlučuje na proizvodnju obaju tipa turbina. Jedino se u reakcijskim parnim turbinama za prvi regulacijski stupanj počeo primjenjivati Curtisov stupanj za stupnjevanje brzine koji je akcijskog tipa. Tako su nastale kombinirano akcijsko reakcijske turbine. Također se i u akcijskim višestupnim turbinama kao prvi regulacijski stupanj obično primjenjivao Curtisov stupanj. On se kao prvi regulacijski stupanj primjenjivao zbog mogućnosti prerađivanja većeg toplinskog pada u odnosu na običan stupanj i prema tome boljih regulacijskih karakteristika i većeg smanjivanja ulazne temperature pare, tako da su ostali stupnjevi manje termički opterećeni. Međutim, korisnost mu je nešto manja u odnosu prema običnom stupnju.

U tom razdoblju, zbog nepostojanja materijala za visoke tlakove i temperature gradile su se turbine niskih parametara pare tlaka 1,2 do 1,6 MPa i temperature 573 do 623 K. Međutim, već tada je bilo poznato da je s termodinamičkog stajališta proces to bolji što mu je viša srednja temperatura dovoda a niža odvoda topline. Zbog toga je tokom razvoja turbina stalna težnja za povećanjem ulaznog tlaka i temperature pare. Za dobivanje nižeg tlaka od tlaka okoline na izlazu iz turbine, tj. što niže temperature odvoda topline počeli su se primjenjivati i dalje sve više usavršavati kondenzatori u koje se odvodi odrađena para na ukapljivanje. Jedinična snaga turbine dostizala je do 6 MW pri brzini vrtnje 50 s^{-1}, 15 MW pri brzini vrtnje 25 s^{-1} i 30 MW pri brzini vrtnje 16,6 s^{-1} i 12,5 s^{-1} za pogonjenje 2, 4, 6 i 8 polnih električnih generatora. Turbine većih snaga zbog duljih lopatica i problema čvrstoće gradile su se s manjom brzinom vrtnje.

Primjer višestupne akcijske parne turbine moderne i suvremene konsturkcije iz tog razdoblja snage 3,5 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnje njemačke tvrtke AEG (Allgemeine Elektricitäts Geselschaft prikazanje sl. 4. Turbina je projektirana na osnovi Curtisove, Rateauove i Zoellyjeve koncepcije. Tlak na ulazu u turbinu je 1,57 MPa, temperatura 623 K. Turbina ima Curtisovo kolo s dva vijenca rotorskih lopatica i 4 obična stupnja.

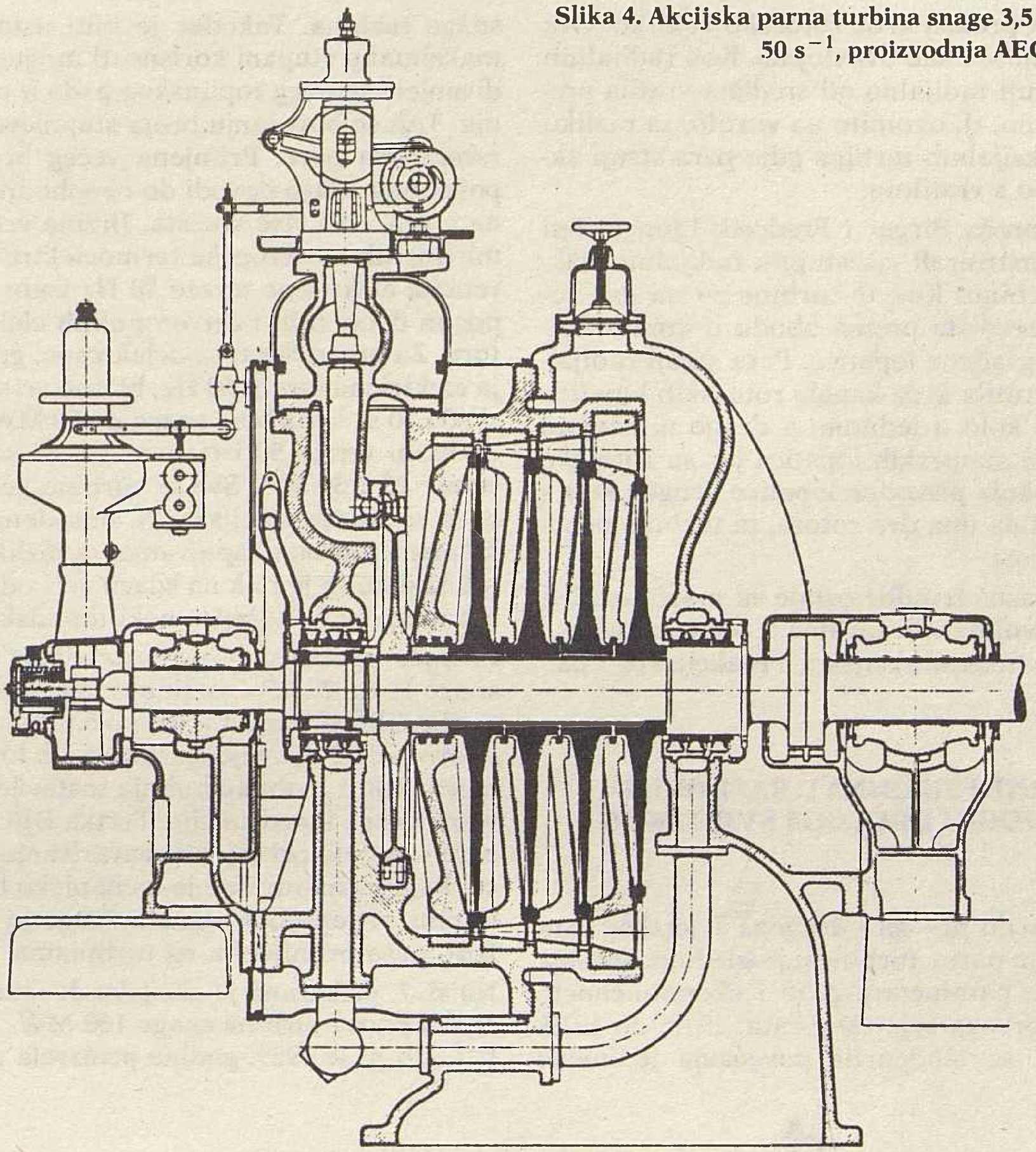
Primjer reakcijske Parsonsove parne turbine snage 1,5 do 2 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnje švicarske tvrtke BBC (Brown Boveri & Cie) prikazan je na sl. 5. Turbina ima prvi regulacijski stupanj, Curtisovo kolo s dva vijenca rotorskih lopatica i 32 reakcijska stupnja. Statorske lopatice ugrađene su u kućište turbine, a rotorske lopatice u rotor u obliku bubnja, što je karakteristično za reakcijske turbine.

Osim prikazanih osnovnih tipova gradnje parnih turbina u razdoblju od 1890. do 1910. godine konstruirano je niz različitih varijanti parnih turbina na osnovi akcijskog ili reakcijskog principa. Konstruirana je varijanta Lavalove turbine kod koje se para pomoću skretnih kanala više puta ponovno vraćala u rotorsku rešetku. Na taj način se i kod jednog vijenca rotorskih lopatica dobilo stupnjevanje brzine kao kod Curtisova stupnja.

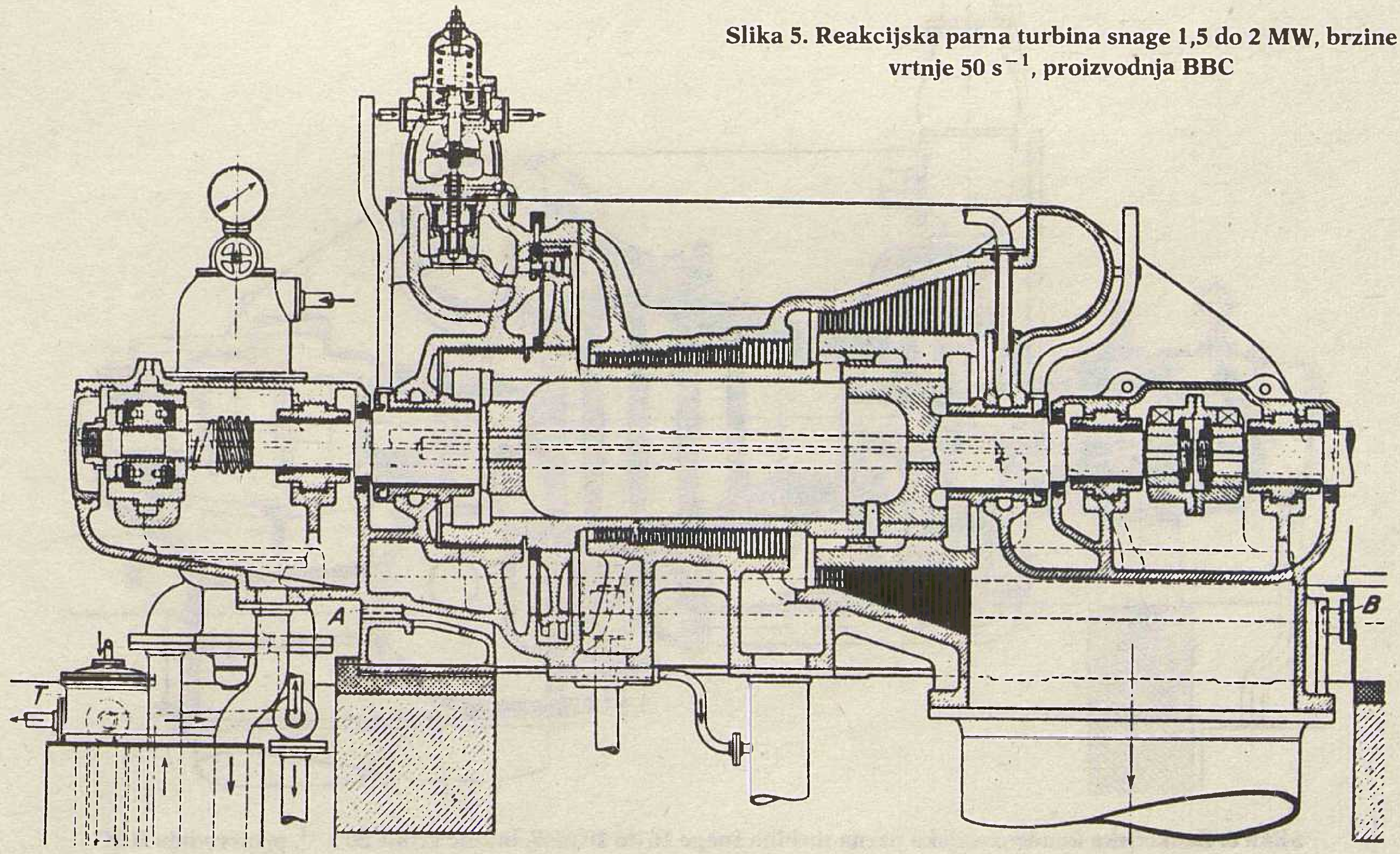
Riedler i Stumpf su u Njemačkoj 1902. godine konstruirali jednostupnu tangencijalnu turbinu, gdje para tangencijalno nastrujava na rotorsko kolo sa žlijebovima u obliku lopatice [1,4].

U Americi je konstruirana varijanta jednostupne turbine sistem Terry, s tangencijalno radijalnim nastrujavanjem pare [5]. Struja pare iz sapnice skreće se u rotorskim lopaticama za 180° i ulazi u statorske skretne kanale, mijenja smjer i ponovno ulazi u rotorsko kolo. Takvim zakrivljenim strujanjem pare u obliku vijka postiže se stupnjevanje brzine. Te turbine se izvode samo kao protutlačne.

Njemački inženjer Kolb konstruirao je jednostupnu akcijsku radijalnu turbinu gdje para struji radijalno prema vratilu. Kod te turbine također je izvedeno stupnjevanje brzine, tako da para pomoću skretnih



Slika 4. Akcijska parna turbina snage 3,5 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnja AEG



Slika 5. Reakcijska parna turbina snage 1,5 do 2 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnja BBC

kanala više puta prolazi kroz rotorsku rešetku. Ove turbine gradile su se i kao dvostupne. Kod radijalnih turbina para struji radijalno od središta vratila prema van ili obratno, tj. okomito na vratilo, za razliku od prikazanih aksijalnih turbina gdje para struji aksijalno, paralelno s vratilom.

U Švedskoj su braća Birger i Frederik Ljungström 1910. godine konstruirali višestupnu radijalnu reakcijsku parnu turbinu. Kod te turbine su na dva rotorska kola od središta prema obodu u koncentričnim redovima ugrađene lopatice. Para struji radijalno od središta vratila kroz kanale rotorskih lopatica i pokreće jedno kolo u jednom, a drugo u drugom smjeru. Tu nema statorskih lopatica jer su rotorske lopatice jednog kola privodne lopatice drugog kola i obratno. Budući da ima dva rotora, ta turbina pogoni dva radna stroja.

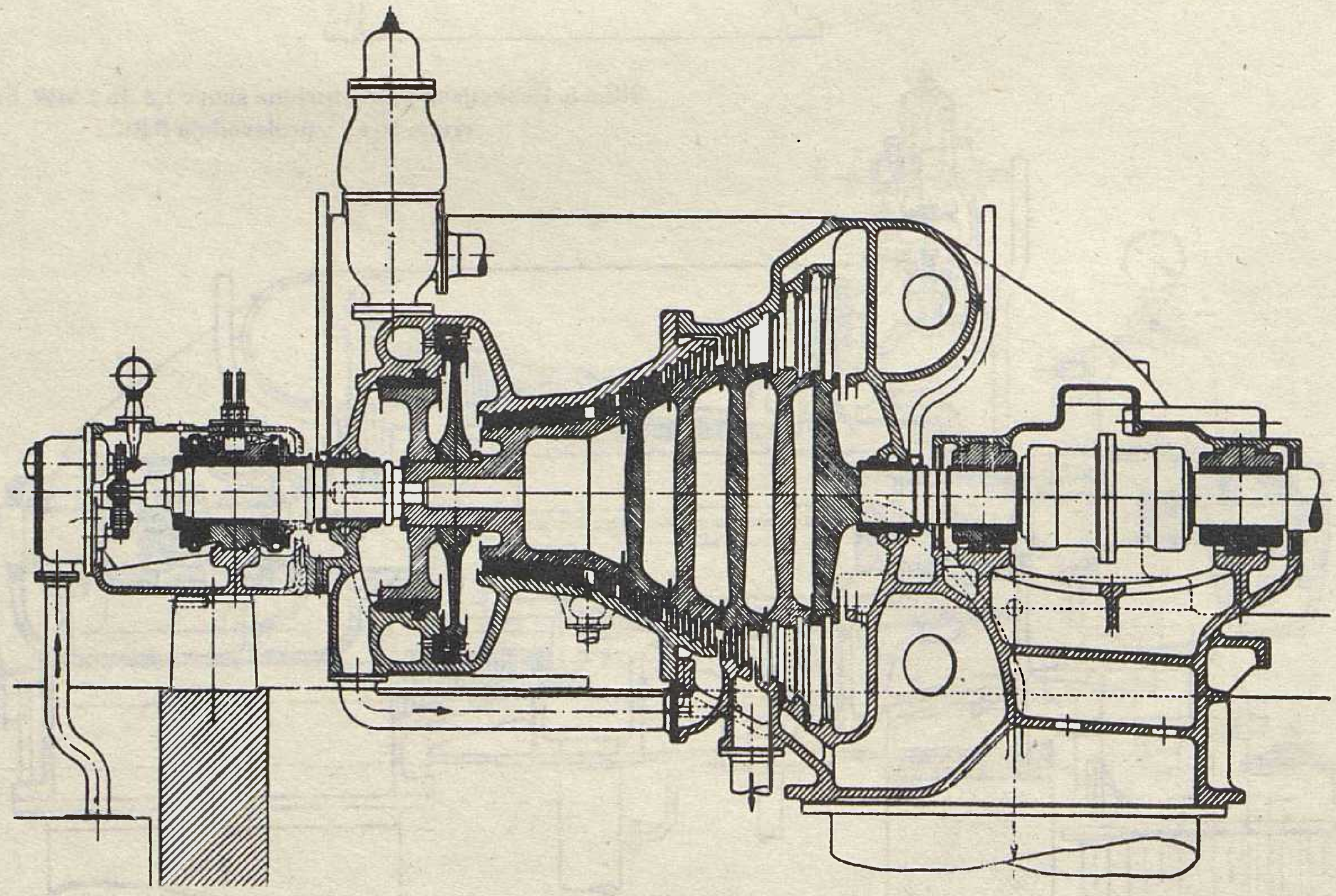
Sve te turbine razne izvedbe ostale su manje značajne za daljnji razvoj parnih turbina u odnosu na aksijalne višestupne turbine akcijskog i reakcijskog tipa.

4. RAZVOJ PARNIH TURBINA U RAZDOBLJU IZMEĐU PRVOGA I DRUGOGA SVJETSKOG RATA

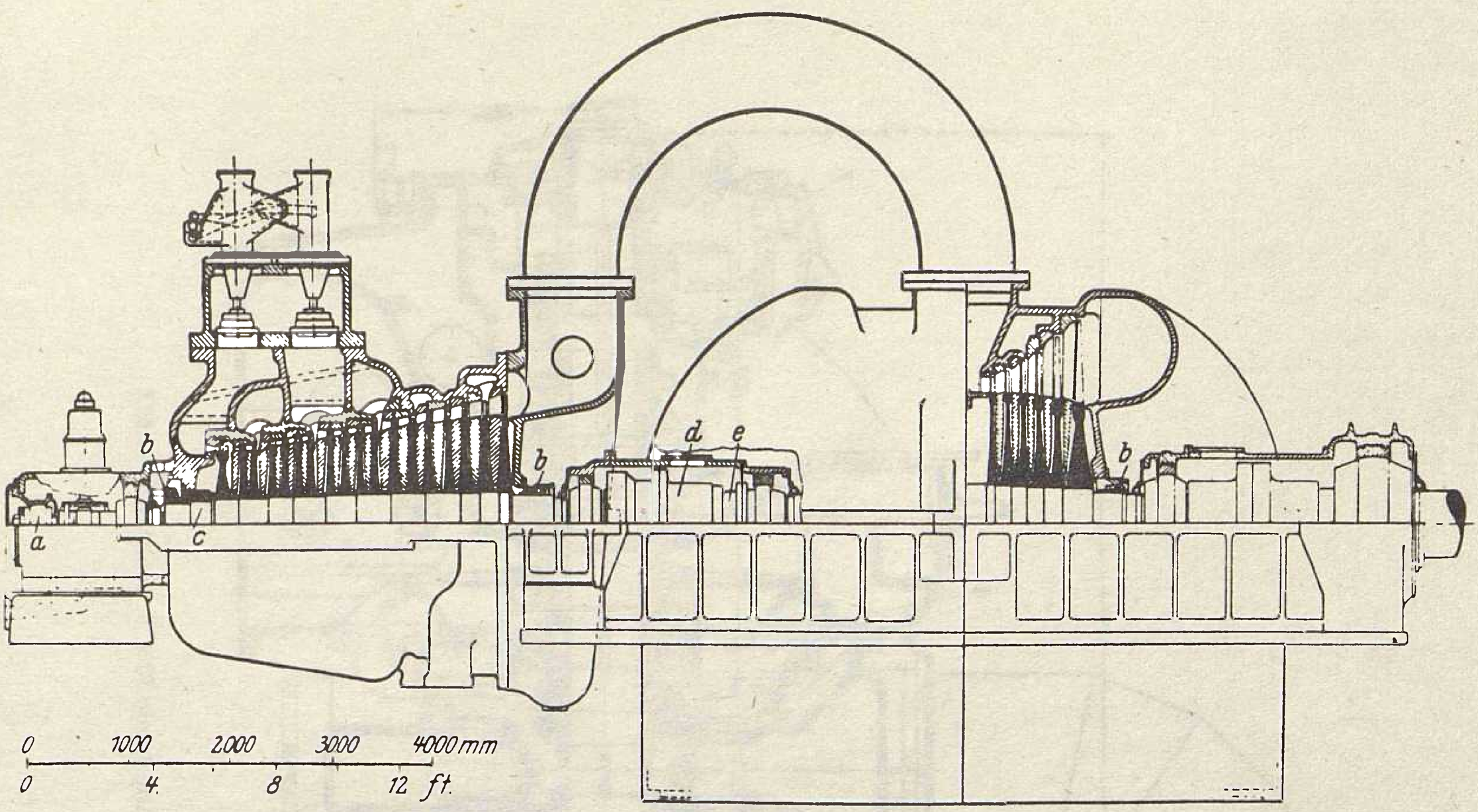
U razdoblju između prvoga i drugoga svjetskog rata naglo se razvijaju parne turbine u pogledu povećanja jedinične snage, parametara pare i ekonomičnosti. Odmah nakon prvoga svjetskog rata, 1918. do 1919. godine pojavila se tendencija povećanja jedinične snage turbina. Također je bilo ustanovljeno da je maksimalni stupanj korisnosti moguće dostići preradivanjem manjeg toplinskog pada u pojedinom stupnju. Teži se povećanju broja stupnjeva i pri nižim parametrima pare. Primjena većeg broja stupnjeva i povećanja snage dovodi do neophodne gradnje turbina s dva, tri i više kućišta. Brzina vrtnje turbina namijenjenih za evropske termoelektrane, gdje je frekvencija električne mreže 50 Hz iznosi 50 i 25 s^{-1}, za pogon dvopolnih i četveropolnih električnih generatora. Za američke termoelektrane, gdje je frekvencija električne mreže 60 Hz, brzina vrtnje turbine iznosi 60 i 30 s^{-1}. Turbine snage do 50 MW gradile su se s brzinom vrtnje 50 i 60 s^{-1}, a veće snage s brzinom vrtnje 25 i 30 s^{-1}. Sve te turbine veće snage uglavnom su kondenzacijske, tj. odrađena para odlazi u kondenzator na ukapljivanje, za razliku od protutlačnih kod kojih je tlak na izlazu veći od atmosferskog i odrađena para odlazi u neki toplinski potrošač.

Primjer reakcijske kondenzacijske parne turbine snage 16 do 20 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnje tvrtke BBC prikazan je na sl. 6 [6]. Turbina ima Curtisovo kolo s dva vijenca rotorskih lopatica i 25 stupnjeva. Rotor u obliku bubnja sastavljen je od 6 dijelova zavarene konstrukcije. Tvrtka BBC je 1930. godine prva u svijetu primijenila zavarivanje rotora iz diskova. Regulacija turbine je mehaničko hidraulička, tj. s uljnim prijenosom signala, koju je također tvrtka BBC prva primijenila na turbinama.

Na sl. 7. prikazana je akcijska dvokućišna kondenzacijska parna turbina snage 160 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1}, što ju je 1929. godine proizvela američka tvrtka



Slika 6. Reakcijska kondenzacijska parna turbina snage 16 do 20 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnja BBC



Slika 7. Akcijska dvokućišna kondenzacijska parna turbina snage 160 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1}, proizvodnja GEC

GEC (General Electric Co) [7]. To je tada bila najveća jednovratilna turbina u svijetu. U visokotlačnom kućištu turbina ima 18 stupnjeva. Prvi regulacijski stupanj je Curtisovo kolo s dva vijenca rotorskih lopatica. U dvoprotočnom niskotlačnom kućištu ugrađeno je 6 stupnjeva u svakom protočnom dijelu. Tlak pare na ulazu u turbinu je 2,7 MPa, temperatura 643 K. Na izlazu iz turbine tlak pare je 3,4 kPa.

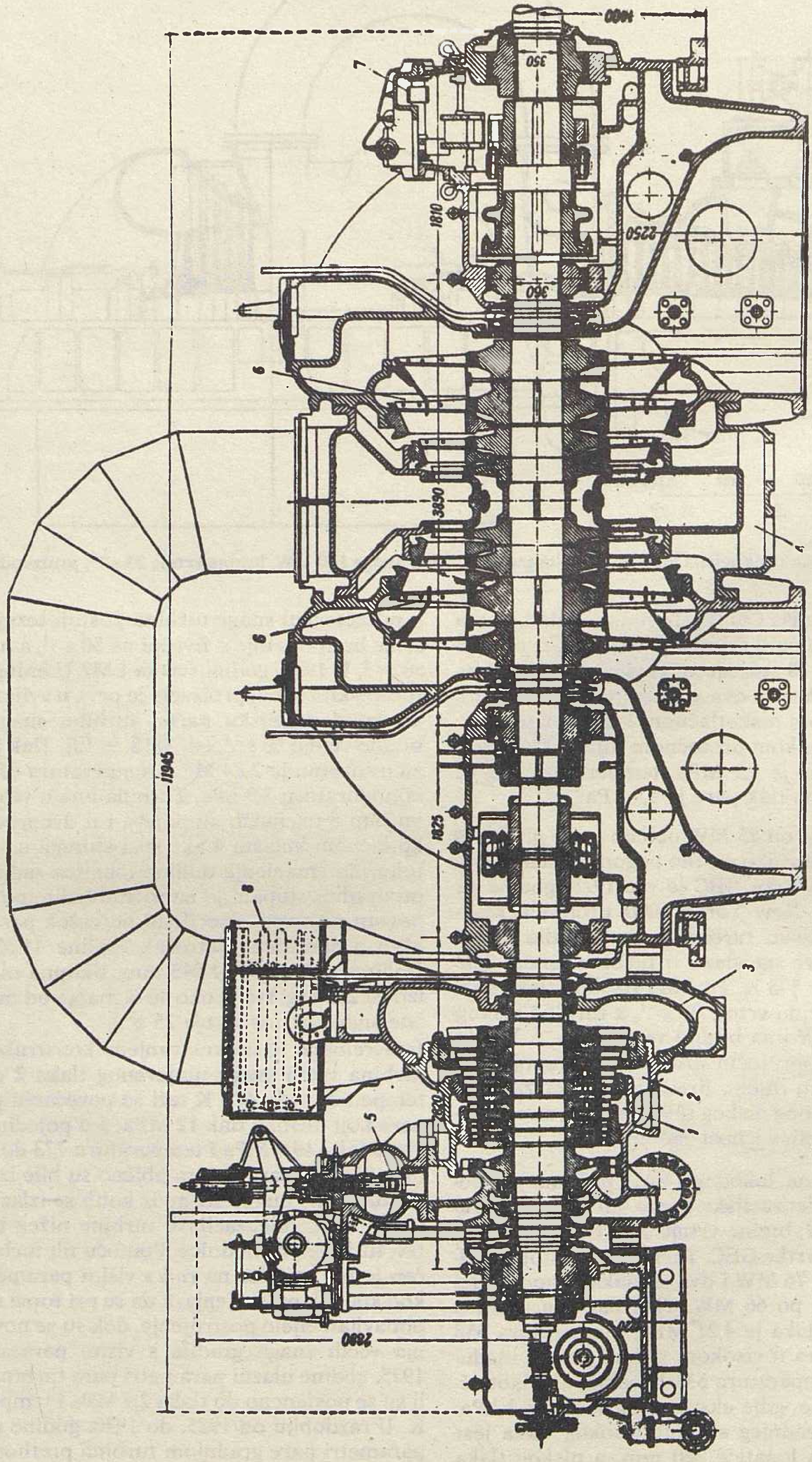
Turbine veće snage od 85 MW obično su se gradile s više vratila, gdje je svako vratilo pogonilo jedan električni generator. Tvrtka BBC je već 1928. godine za termoelektranu u New Yorku SAD proizvela reakcijsku kondenzacijsku turbinu s dva vratila snage 160 MW. Tlak pare na ulazu u turbinu iznosi 2,82 MPa, temperatura 595 K. Turbina visokog tlaka snage 75 MW ima brzinu vrtnje 30 s^{-1}, a turbina niskog tlaka snage 85 MW ima brzinu vrtnje 20 s^{-1}. Visoki tlak ima 22, a dvoprotočni niski tlak 7 stupnjeva u svakom protočnom dijelu. Srednji promjer zadnjeg stupnja dvoprotočnog niskog tlaka je 3 930 mm, a duljina rotorske lopatice iznosi 960 mm.

Krajem 1929. godine, također u SAD, puštena je u pogon akcijska kondenzacijska parna turbina s tri vratila snage 208 MW, brzine vrtnje svih triju vratila 30 s^{-1}, proizvodnje tvrtke GEC. Turbina se sastoji od visokog tlaka snage 76 MW i dva jednaka dvoprotočna niska tlaka snage po 66 MW. Tlak pare na ulazu u turbinu visokog tlaka je 4,21 MPa, temperatura 658 K. Para ekspandira u visokom tlaku i nakon međupregrijanja do temperature 533 K odlazi u niskotlačne dijelove turbine, gdje ekspandira do tlaka 3 kPa. Srednji promjer zadnjeg stupnja visokog tlaka jest 1 600 mm, duljina lopatice 280 mm, a niskog tlaka 2 650 mm i duljine lopatice 760 mm. To je turbina najveće jedinične snage instalirana u tom razdoblju.

S povećanjem snage turbina postoji težnja i za povećanje brzine vrtnje u Evropi na 50 s^{-1}, a u Americi na 60 s^{-1}. U 1937. godini tvrtka LMZ (Leningradski metodičeskij zavod) proizvela je prva u svijetu dvokućišnu kondenzacijsku parnu turbinu snage 100 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, (sl. 8) [8, 9, 10]. Tlak pare na ulazu u turbinu je 2,84 MPa, temperatura 673 K i tlak u kondenzatoru 3,9 kPa. Turbina ima u visokotlačnom kućištu 8 akcijskih stupnjeva i u dvoprotočnom niskotlačnom kućištu 4 akcijska stupnja u svakom protoku. Za smanjenje duljine lopatica zadnjeg stupnja predzadnji stupanj je izveden dvodijelno na Baumanovom principu. Specifični potrošak pare je 4,6 kg/kWh a specifični potrošak topline 11 637 kJ/kWh. Duljina turbine je 11 945 mm. Ukupna masa turbine iznosi 289 Mg, što je oko 40 % manje od mase turbine iste snage brzine vrtnje 25 s^{-1}.

Istovremeno s usavršavanjem konstrukcija parnih turbina većih snaga umjerenog tlaka 2 do 4 MPa i temperature do 673 K teži se povećanju parametara pare koji dostižu tlak 12 MPa, a u pojedinim slučajevima čak i 19,6 MPa i temperaturu 773 do 823 K. Turbine visokih parametara obično su bile izvedene kao protutlačne, manje snage iz kojih se izlazna para koristila za kondenzacijske turbine nižeg tlaka, to su tzv. turbine prethodnice. Pomoću tih turbina omogućen je bio prijelaz na rad s višim parametrima pare kod starijih postrojenja, a da se pri tome nije moralo obnavljati cijelo postrojenje, dok su se nova postrojenja većih snaga gradila s višim parametrima. Do 1925. godine ulazni parametri pare turbina povećavali su se postepeno do tlaka 2,5 MPa i temperature 643 K. U razdoblju od 1925. do 1930. godine naglo rastu parametri pare gradnjom turbina prethodnica.

Na primjer, u Belgiji je 1925. godine puštena u pogon protutlačna turbina prethodnica tlaka pare 5 MPa,



Slika 8. Akcijska dvokućišna kondenzacijska parna turbina snage 100 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnja LMZ

temperature 723 K, protutlaka 2,1 MPa, proizvodnje tvrtke BBC. Snaga turbine je 1,65 MW, brzina vrtnje 133,3 s^{-1}. Para iz te turbine koristi se kao svježa para za kondenzacijsku turbinu. Krajem iste godine u Njemačkoj je puštena u pogon turbina prethodnica tlaka pare 9,1 MPa, temperature pare 673 K, protutlaka 1,4 MPa, prozvodnje tvrtke Escher Wyss. Snaga turbine je 1 MW, brzine vrtnje 166,6 s^{-1}. U Čehoslovačkoj je 1928. godine puštena u pogon prva u svijetu kondenzacijska turbina visokih parametara s međupregrijavanjem pare, snage 19 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnje čehoslovačke tvrtke Prva Brnska. Turbina ima četiri kućišta. Tlak pare na ulazu u turbinu je 12 MPa, temperatura 763 K, tlak u kondenzatoru je 7 kPa. Međupregrijanje se izvodi svježom parom do temperature 623 K. U Belgiji je 1930. godine puštena u pogon protutlačna turbina prethodnica do tada u svijetu najvećeg tlaka od 19,6 MPa, temperature 723 K i protutlaka 5,9 MPa, proizvodnje tvrtke BBC. Snaga turbine je 4 MW, brzina vrtnje 116,6 s^{-1}.

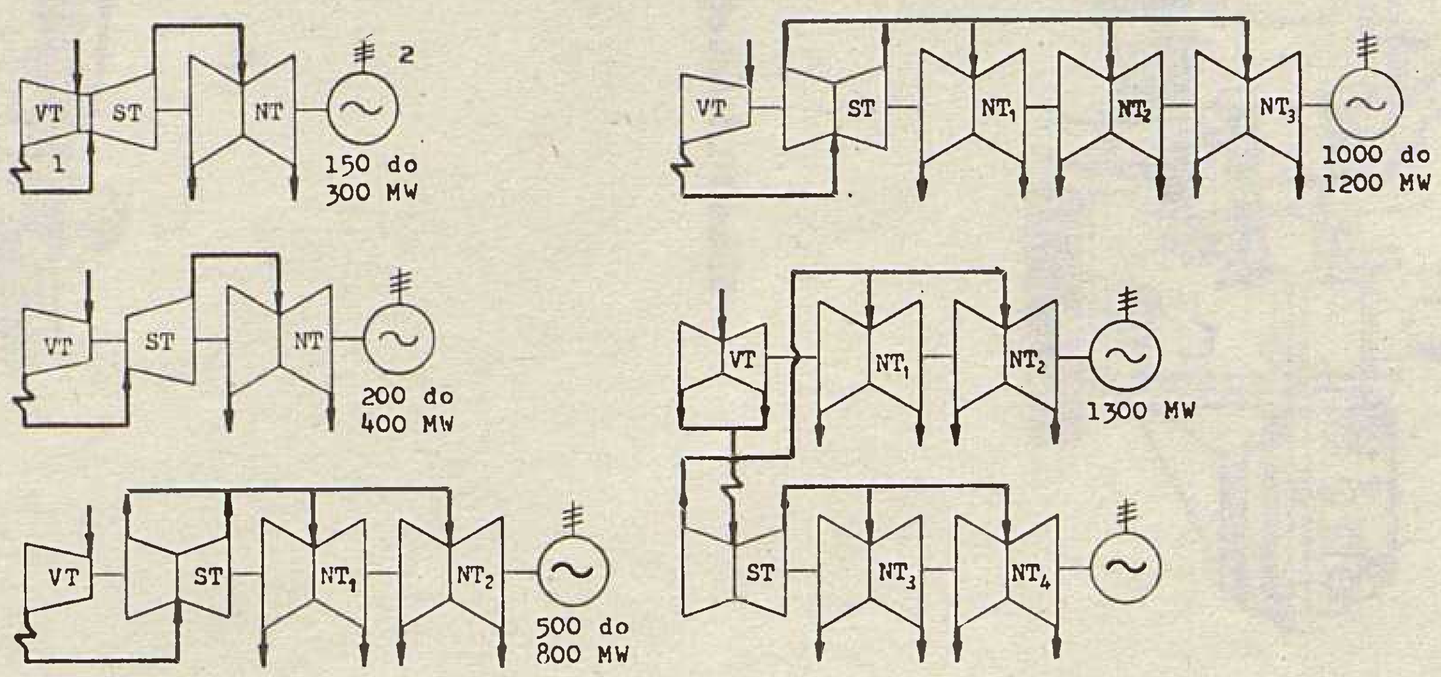
Nakon 1930. godine umirio se nagli razvoj prema sve višim parametrima pare jer materijali nisu dozvoljavali više parametre, naročito ne više temperature. Zadržalo se uglavnom na tlaku pare 10 do 12 MPa i temperaturi 723 do 773 K. Na primjer, do 1940. godine jednovratilne dvokućišne turbine američke tvrtke Westinghouse brzine vrtnje 30 s^{-1} dosižu snagu 165 MW, tlak 9 MPa i temperaturu 773 K [11]. U 1938. godini puštena je u pogon prva kondenzacijska turbina s međupregrijanjem pare s dimnim plinovima u parnom kotlu, snage 50 MW, tlaka pare 11 MPa, temperature 743 K, međupregrijanja pare do 743 K, proizvodnje tvrtke AEG [12].

5. RAZVOJ PARNIH TURBINA POSLIJE DRUGOGA SVJETSKOG RATA

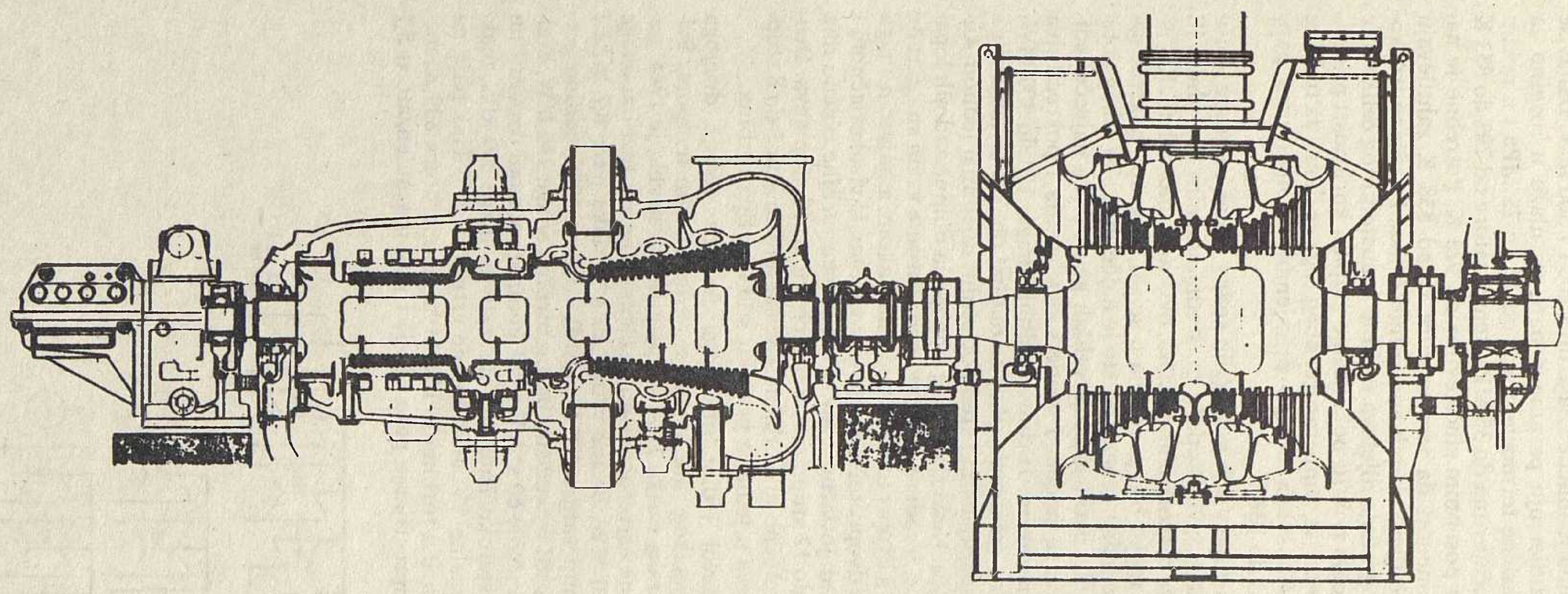
Poslije drugoga svjetskog rata u svim tehnički razvijenijim zemljama Evrope, a također i u Americi, dolazi do naglog razvoja energetike. To dovodi do sve većeg rasta jediničnih snaga parnih turbina. Istovremeno se pojavljuje tendencija primjene visokih parametara pare i međupregrijavanja pare primjenom visoko legiranih čelika. Tako da se danas u svijetu grade termoelektrane s kondenzacijskim parnim turbinama jedinične snage do 1 200 i 1 300 MW. Danas se primjenjuju parametri pare na ulazu u turbinu za klasične termoelektrane od 12 do 25 MPa i u nekim slučajevima do 35 MPa, temperature od 793 do 853 K i u posebnim slučajevima do 923 K. Potrebno je napomenuti da temperature iznad 838 K zahtijevaju primjenu skupih austentnih čelika. Povećane troškove gradnje dijelova turbine iz austenitnog čelika nije moglo pokriti poboljšanje stupnja korisnosti primjenom više temperature. Zbog toga se danas za turbine većih snaga obično primjenjuje temperatura pare 813 do 838 K.

Turbine većih jediničnih snaga danas se grade s više kućišta; visokotlačnim, srednjotlačnim i s jednim ili više niskotlačnih kućišta, ovisno o snazi (sl. 9). Kućišta mogu biti povezana u seriju, te grupa pokreće samo jedan generator, što je najčešći slučaj. Zbog poteškoća oko izgradnje velikih generatora najveće jedinice se ponekad grade s dva vratila i pokreću dva generatora. Turbine srednjih snaga, 150 do 300 MW, zbog smanjenja ukupne duljine obično se izrađuju s visokotlačnim i srednjotlačnim dijelom u jednom kućištu. Niski tlak, zbog smanjenja duljine zadnjih lopatica, izvodi se dvoprotočno. Turbine većih snaga rade se s dvoprotočnim srednjim tlakom, a najvećih snaga i s dvoprotočnim visokim tlakom. U visokotlačnom i srednjotlačnom kućištu akcijske turbine obično ima 6 do 12 stupnjeva, a reakcijske do 18 stupnjeva. Dvoprotočno niskotlačno kućište obično ima 3 do 8 stupnjeva u jednom protoku kod oba tipa turbina.

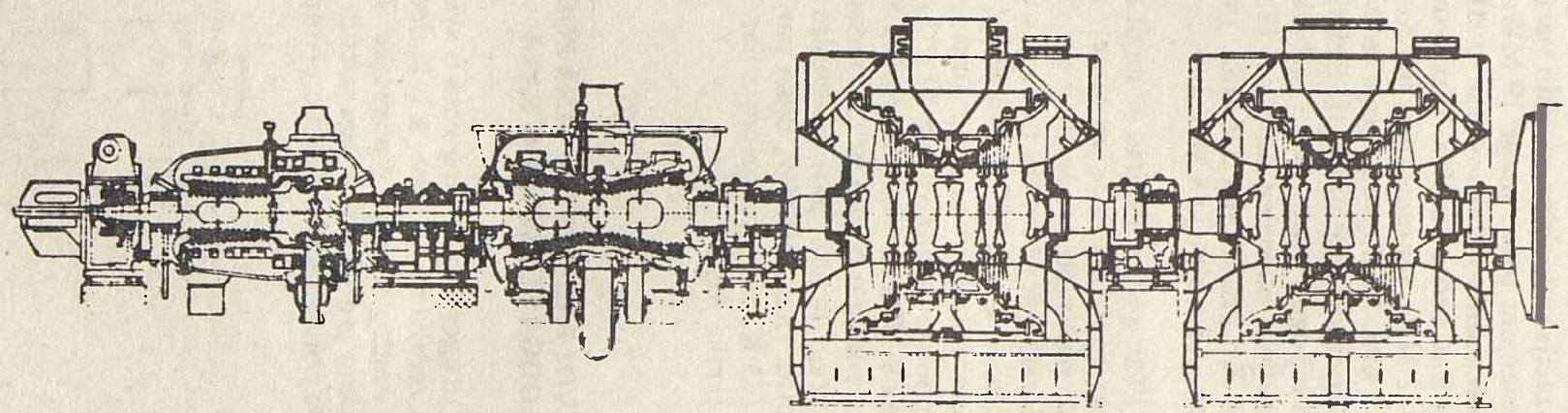
Razvoj jediničnih snaga turbine poslije drugoga svjetskog rata kretao se veoma brzim tempom. Švicarska tvrtka BBC na primjer, proizvela je 1948. godine četverokućišnu reakcijsku parnu turbinu snage 110 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, tlaka pare 8,7 MPa i temperature 793 K [13,14]. Krajem 1950. godine proizvodi trokućišnu parnu turbinu snage 230 MW, brzine vrtnje 60 s^{-1}. U 1959. godini proizvodi dvovratilnu šesterokućišnu turbinu nazivne snage 500 MW, maksimalne 550 MW, brzine vrtnje 60 s^{-1}. Tlak pare na ulazu u turbinu je 16,6 MPa, temperatura 839 K, međupregrijanje pare 811 K i tlak u kondenzatoru 5,1



Slika 9. Sheme protoka pare u kondenzacijskim turbinama velikih jediničnih snaga za klasične termoelektrane:
VT, ST, NT — visoki, srednji, niski tlak; 1 — međupregrijanje pare; 2 — električni generator.



Slika 10. Reakcijska dvokućišna kondenzacijska parna turbina snage 200 MW, brzine vrtnje 50 $s^{\times 1}$, proizvodnja BBC



Slika 11. Reakcijska trokućišna kondenzacijska parna turbina snage 600 MW brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnja BBC

kPa. Od 1960. godine proizvodi parne turbine s međupregrijanjem pare, snage 250 do 600 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}. Primjer dvokućišne parne turbine snage 150 do 300 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1} prikazan je na sl. 10.Turbina se sastoji od visokog i srednjeg tlaka u jednom kućištu i dvoprotočnog niskog tlaka. Unutarnje kućište visokog tlaka spojeno je prstenovima umjesto vijcima, što je karakteristično za turbine tvrtke BBC. Rotor turbine je zavaren od više dijelova. Tlak pare na ulazu u turbinu je 14 MPa, temperatura 803 K i međupregrijanje pare 803 K. Tlak u kondenzatoru iznosi 4,5 kPa. Duljina zadnje rotorske lopatice je 792 mm. Primjer četverokućišne parne turbine snage 500 do 700 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1} prikazan je na sl. 11 [15, 16]. Turbina se sastoji od visokotlačnog, dvoprotočnog srednjotlačnog i dva dvoprotočna niskotlačna kućišta. Tlak pare na ulazu u turbinu je 16,6 MPa, temperatura 811 K i međupregrijanje pare 811 K. Unutarnje kućište visokog tlaka također je spojeno prstenovima umjesto vijcima. Duljina zadnje rotorske lopatice je 867 mm.

U 1967. godini BBC proizvodi dvovratilnu parnu turbinu snage 1 300 MW, brzine vrtnje 60 s^{-1} [17, 18, 19]. Tlak pare na ulazu u turbinu je 24,2 MPa, temperatura 811 K, međupregrijanje pare 811 K i tlak u kondenzatoru 6,7 kPa. To je do danas turbina najveće jedinične snage proizvedena za klasične termoelektrane. Tvrtka BBC je u posljednje vrijeme po narudžbi američke elektroprivrede izradila studiju za primjenu parne turbine s dvostrukim međupregrijanjem pare snage do 1600 MW [20]. Izrađena je varijanta turbine s dva vratila brzine vrtnje 60 s^{-1} i s jednim vratilom brzine vrtnje 30 s^{-1}.

Tvrtke AEG i Siemens imale su približno jednak razvoj parnih turbina. Godine 1954. proizvode parne turbine snage 150 MW. U 1962. godini tvrtka AEG proizvodi trokućišnu akcijsku parnu turbinu snage 300 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, tlaka pare 20,6 MPa, temperature 813 K i međupregrijanja pare 813 K, pri tlaku 3,9 MPa [21, 22]. Tvrtka Siemens u isto vrijeme proizvodi reakcijsku parnu turbinu snage 300 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}. U 1970. godini tvrtka KWU (Kraftwerk Union) koju su 1969. godine nakon udruženja osnovale tvrtke Siemens i AEG proizvodi četverokućišnu reakcijsku parnu turbinu snage 630 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}. Visokotlačno kućište podijeljeno je u ravnini okomitoj na vratilo, što je karakteristično za turbine tvrtke KWU. U 1972. godini proizvodi četverokućišnu reakcijsku parnu turbinu snage 814 MW, brzine vrtnje 60 s^{-1}, tlaka pare 17,6 MPa, temperature 798 K i međupregrijanja pare 798 K. Tvrtka KWU također je izradila projekte peterokućišne turbine sa šest izlaza pare, brzine vrtnje 50 s^{-1} i četverokućišne turbine sa četiri izlaza pare, brzine vrtnje 25 s^{-1}, snage 1 200 MW [23, 24]. Kao povoljniju varijantu tvrtka je odabrala turbinu s brzinom vrtnje 25 s^{-1}.

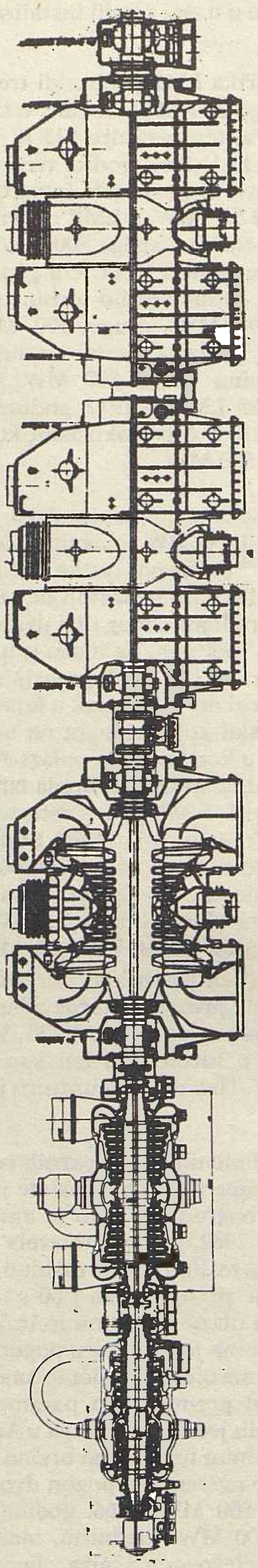
Sovjetska tvrtka LMZ je 1951. godine proizvela trokućišnu akcijsku parnu turbinu snage 150 MW, brzine vrtnje 50 s – 1. U 1958. godini proizvodi trokućišnu parnu turbinu snage 200 MW, tlaka pare 12,8 MPa, temperature 838 K, međupregrijanja pare pri tlaku 2,3 MPa do temperature 838 K, tlaka u kondenzatoru 3,5 kPa [25]. Do danas je u našoj zemlji instalirano 14 takvih turbina.

Krajem 1960. godine tvrtka LMZ proizvodi trokućišnu parnu turbinu snage 300 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, tlaka pare 23,5 MPa, temperature 833 K, međupregrijanja pare do 838 K. U 1965. godini tvrtka HTZ (Harkovski turbinski zavod) proizvodi četverokućišnu parnu turbinu snage 500 MW, a LMZ dvovratilnu sedmerokućišnu parnu turbinu snage 800 MW (zbog toga što u to vrijeme ne postoji električni generator snage 800 MW) [26, 27]. Jedno vratilo turbine pokreće generator snage 500 MW, drugo 300 MW. U 1969.godini tvrtka LMZ proizvodi jednovratilnu peterokućišnu parnu turbinu snage 800 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1} [28]. Tvrtka LMZ je 1972. godine također proizvela jednovratilnu četverokućišnu kondenzacijsku turbinu snage 500 MW.

Jednovratilnu peterokućišnu kondenzacijsku parnu turbinu nazivne snage 1200 MW, maksimalne 1380 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1} proizvodi tvrtka LMZ 1976. godine (sl. 12) [29, 30]. Turbina se sastoji od visokotlačnog, dvoprotočnog srednjotlačnog i tri dvoprotočna niskotlačna kućišta. Tlak pare na ulazu u turbinu je 23,5 MPa, temperatura 813 K, međupregrijanje pare pri tlaku 3,9 MPa iznosi do 813 K, tlak u kondenzatoru je 3,6 kPa. Računska količina pare na ulazu u turbinu je 1 016,6 kg/s, u kondenzator odlazi 593 kg/s. Duljina rotorske lopatice zadnjeg stupnja izrađene od titanove legure iznosi 1 200 mm. Prstenasta izlazna površina rotorskih lopatica je 11 m^2. Budući da turbina ima 6 izlaza pare, ukupna izlazna površina iznosi 66 m^2. Duljina turbine je 47 900 mm, a zajedno s generatorom 71 800 mm. Masa turbine je 1 900 Mg. Specifična potrošnja topline iznosi 7 655 kJ/kWh.

Sovjetska tvrtka CKTI (Centralnij kotloturbinnij institut) također je izradila projekt peterokućišne turbine snage 2 000 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1} [31, 32]. Parametri pare na ulazu u turbinu su isti kao i kod turbine snage 1 200 MW. Tlak u kondenzatoru je 5 do 6 kPa.

Približno isti razvoj jediničnih snaga parnih turbina za klasične termoelektrane imale su i ostale vodeće tvrtke na području turbogradnje. Tako je američka tvrtka Allis-Chalmers u 1962. godini proizvela do tada najveću u svijetu dvovratilnu parnu turbinu snage 1 000 MW. Brzina vrtnje prvog vratila j 60 s^{-1}, drugog 30 s^{-1}. Tlak pare na ulazu u turbinu je 16,5 MPa, temperatura 813 K. Turbina je puštena u pogon 1966. godine. U Americi se s razvojem jediničnih snaga paralelno odvijao i razvoj prema višim parametrima pare. Brzi porast traženih jediničnih snaga u Americi ostvarivao se u dvovratilnim turbinama brzine vrtnje 60 s^{-1}. Već 1962. godine pušten je u pogon dvovratilni turboagregat snage 500 MW, 1966. godine 1 000 MW i 1972. godine 1 300 MW. Međutim, manji potrebni prostor, manje cjevovoda i niža cijena kod daljnjeg razvoja snage idu u prilog jednovratilnim turboagregatima.



Slika 12. Kondenzacijska parna turbina snage 1200 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnja LMZ

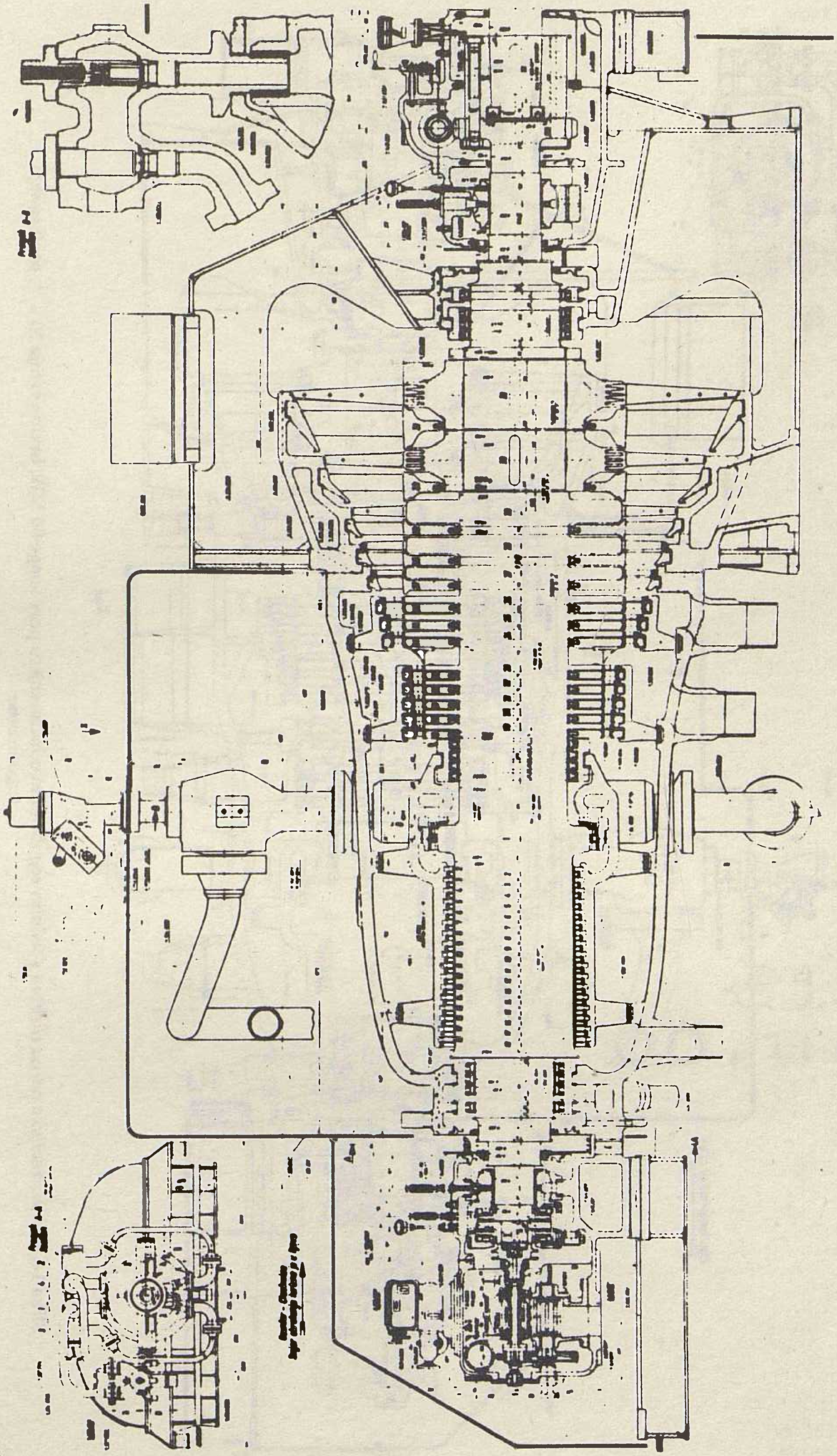
5.1. Razvoj parnih turbina u našoj zemlji

Razvoj proizvodnje parnih turbina u našoj zemlji vezan je za razvoj Jugoturbine kao jedinog proizvođača u nas. Jugoturbina je osnovana 1949. godine i već je 1955. godine proizvela prvu akcijsku parnu turbinu vlastite konstrukcije snage 12,5 MW, brzine vrtnje 50 s^{-}. Tlak pare na ulazu u turbinu je 3,53 MPa, temperature 698 K, tlak u kondenzatoru 6,2 kPa. U ono vrijeme bio je to velik uspjeh za domaću strojogradnju. Usporedo s razvojem naše poslijeratne elektroprivrede, industrije i ubranizacije, počeo je i razvoj termoelektranskih, industrijskih i toplanskih parnih turbina vlastite konstrukcije i po licencnoj dokumentaciji poznatih evropskih proizvođača [33]. Za složenije turbine većih snaga vlastiti razvoj bio bi prespor. Zbog toga se morala otkupiti licenca za područje snaga do 100 MW, do koje je dimenzionirana postojeća tvornica. U 1960. godini proizvodi Jugoturbina dvokućišnu kondenzacijsku parnu turbinu snage 32 MW za termoelektranu Kakanj po dokumentaciji tvrtke AEG. Tlak pare na ulazu u turbinu iznosio je 6,95 MPa, temperatura 793 K. U 1968. godini Jugoturbina je proizvela trokućišnu kondenzacijsku parnu turbinu snage 125 MW brzine vrtnje 50 s^{-1}za termoelektranu Plomin po dokumentaciji poljske tvrtke Zamech. Tlak pare na ulazu u turbinu je 12,45 MPa, temperatura 808 K i međupregrijanja pare 808 K. Visoki i srednji tlak trokućišne kondenzacijske parne turbine snage 200 MW proizvela je Jugoturbina 1970. godine za termoelektranu Tuzla po dokumentaciji tvrtke Zamech, licenca LMZ. Niski tlak je izradila tvrtka Zamech.

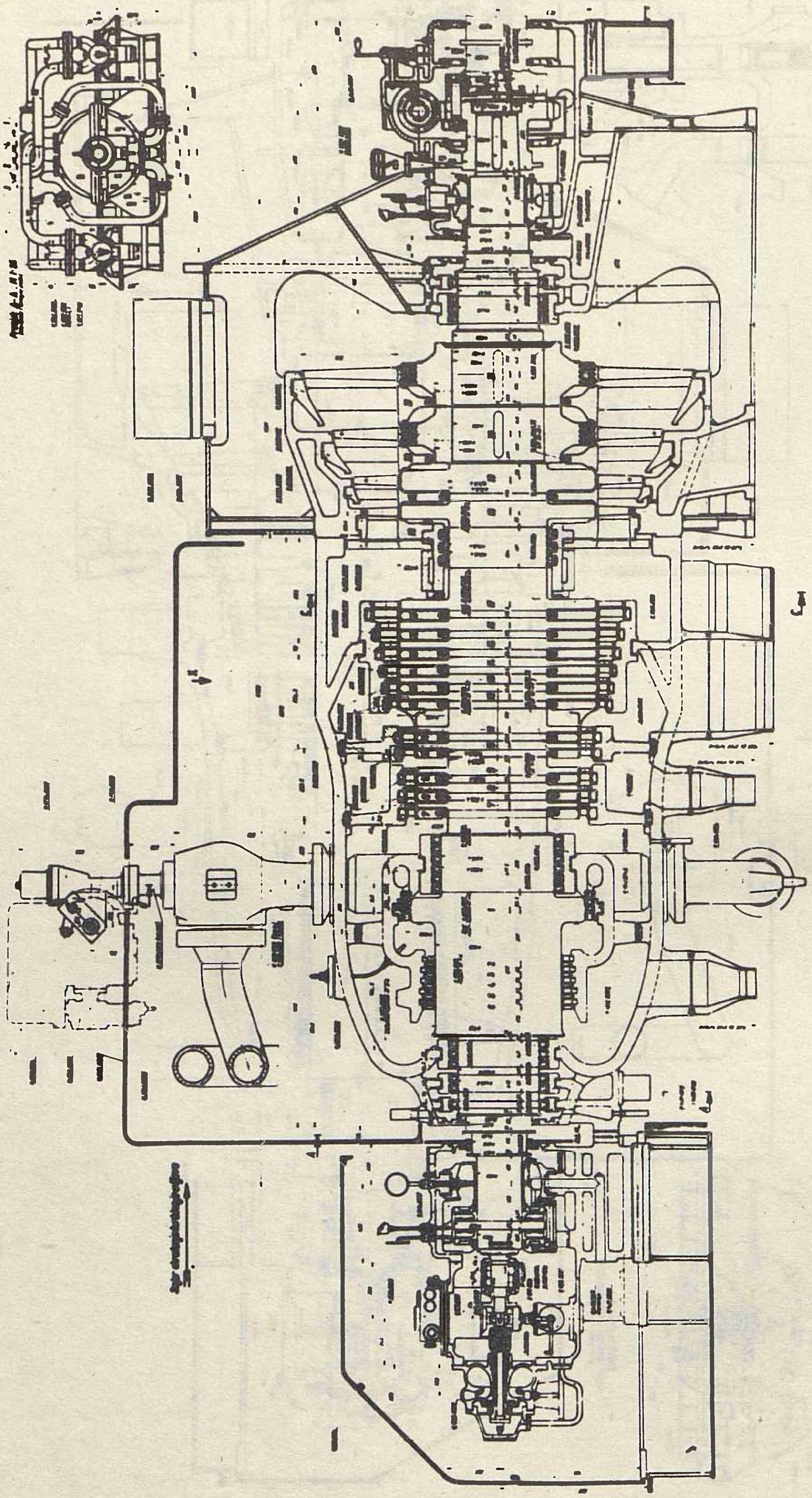
Jugoturbina je licence uspješno koristila za ubrzavanje vlastitog razvoja, te se istekom licencnih ugovora osposobila za proizvodnju vlastitih turbina svih tipova snage do 100 MW. Od 1965. godine Jugoturbina uglavnom proizvodi parne turbine do 100 MW po vlastitoj konstrukciji. Primjer akcijske kondenzacijske parne turbine snage 25 MW proizvedene 1972. godine za termoelektranu u Grčkoj po vlastitoj konstrukciji prikazan je na sl. 13 [34,35]. Tlak pare na ulazu u turbinu je 6,86 MPa, temperatura 773 K, tlak u kondenzatoru je 4,5 kPa. Duljina zadnje rotorske lopatice je 557 mm.

Primjer kondenzacijske parne turbine s jednim reguliranim oduzimanjem pare snage 50 MW, brzine vrtnje 50 $s^{\times 1}$ proizvedene 1980. godine za potrebe javne toplane prikazan je na sl. 14. Tlak pare na ulazu u turbinu je 8,9 MPa, temperature 739 K, blok reguliranog oduzimanja pare je 0,127 MPa količina 10,27 kg/s, tlak u kondenzatoru je 6,67 kPa. Turbina ima osim reguliranog oduzimanja četiri neregulirana oduzimanja pare za regenerativno zagrijavanje pojne vode. Iz trećeg nereguliranog oduzimanja tlaka 0,9 MPa odzima se dio pare za industrijske potrebe. Duljina rotorske lopatice zadnjeg stupnja turbine je 530 mm.

Jugoturbina je do kraja 1983. godine isporučila za domaće i strano tržište 338 parnih turbina ukupne snage 2 120 MW. Proizvodne mogućnosti Jugoturbine su takve da može proizvoditi sve tipove parnih



Slika 13. Akcijska kondenzacijska parna turbina snage 25 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnja Jugoturbine

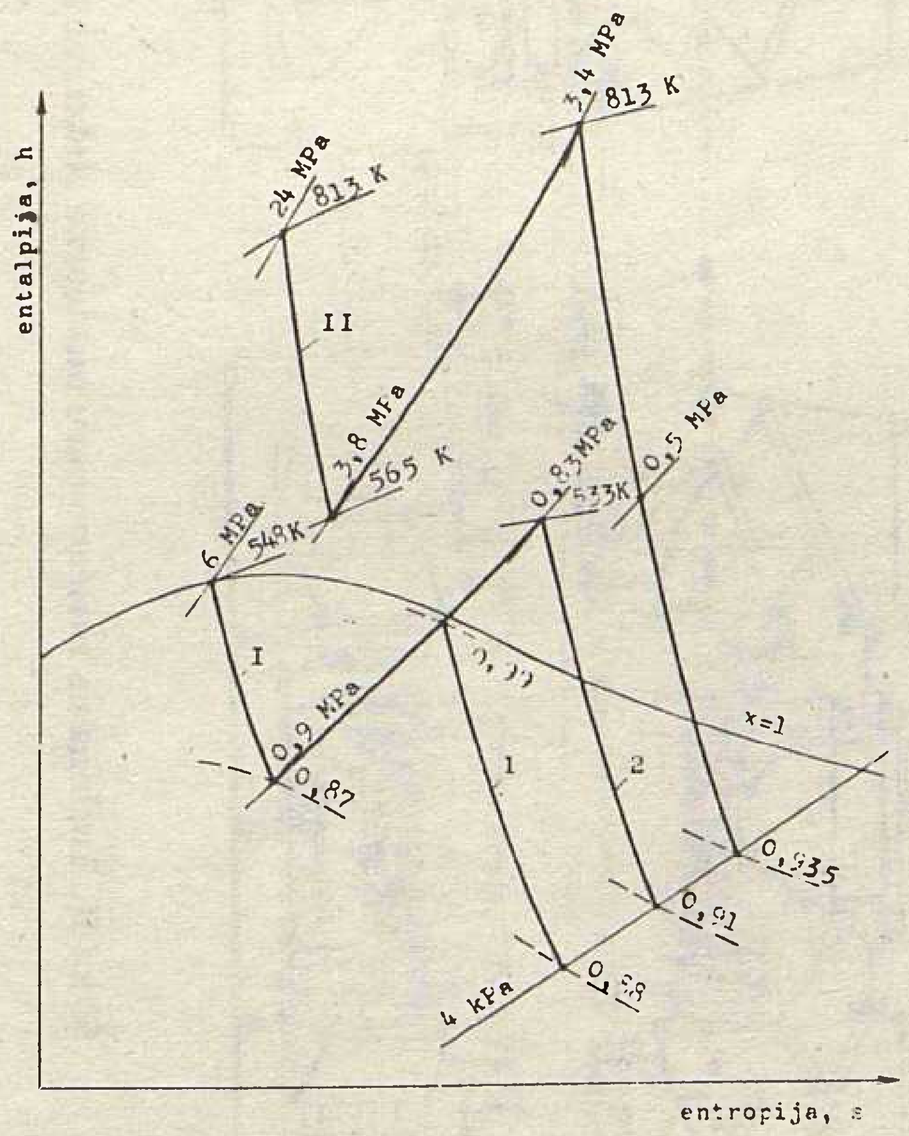


Slika 14. Kondenzacijska parna turbina s jednim reguliranim oduzimanjem pare snage 50 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1}, proizvodnja Jugoturbine

turbina snage do 100 MW. Završetkom gradnje tvornice parnih turbina velikih jediničnih snaga, kao osnovnog pravca daljnjeg razvoja domaće turbogradnje, Jugoturbina će moći proizvoditi za domaće i strano tržište i turbine najvećih snaga — 1 300 MW i više — po tehnologiji tvrtke BBC.

5.2. Razvoj parnih turbina za nuklearne elektrane

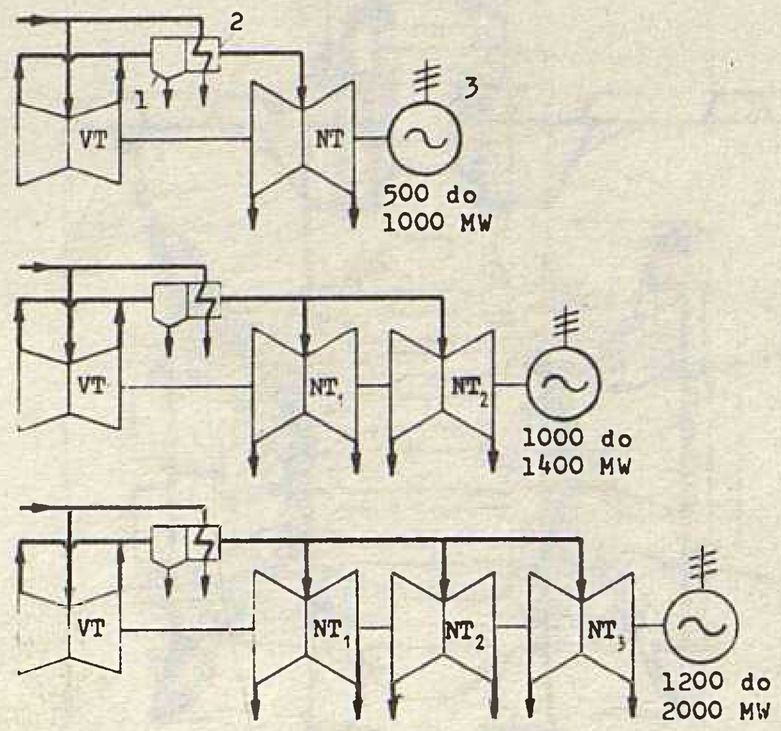
Razdoblje poslije drugoga svjetskog rata karakterizira također i nagli razvoj turbina na zasićenu paru za nuklearne elektrane. Prva nuklearna elektrana, snage 5 MW, puštena je u pogon 1954. godine u SSSR-u. Danas se za nuklearne elektrane grade turbine na zasićenu paru najvećih snaga 1300 do 1400 MW, tlaka 5 do 7 MPa, brzine vrtnje 25 s^{-1} (30 s^{-1}), duljine rotorske lopatice zadnjeg stupnja do 1450 mm. Jedinične snage parnih turbina za nuklearne elektrane su rasle mnogo brže nego za klasične termoelektrane. Njihov brzi razvoj u pravcu povećanja jediničnih snaga u Evropi i Americi bio je rezultat težnje za što većom ekonomičnošću, jer rade s niskim parametrima pare u usporedbi s klasičnim turbinama (sl. 15). Razvoj klasičnih turbina zbog težnje za što većom ekonomičnošću išao je u pravcu povećanja snage i parametara svježe pare. Nuklearni reaktor s vodom kao moderatorom prisilio je povrat parametara pare na stanje zasićenja kao polaznu točku za ekspanziju. Prema tome, ekspanzija pare počinje u h-s dijagramu za vodenu paru od gornje granične krivulje ili eventualno malog pregrijavanja pare i odvija se u vlažnom području.



Slika 15. Shematski prikaz procesa ekspanzije parnih turbina u h-s dijagramu:

I — turbina za zasićenu paru za nuklearnu elektranu (1 — s vanjskom separacijom vlage; 2 — s vanjskom separacijom vlage i međupregrijanjem pare); II — klasična turbina visokih parametara pare s međupregrijanjem pare

Za sprečavanje prijelaza granice dopuštene vlažnosti od 12 do 14 % i prebrzog erozijskog oštećenja protočnog dijela turbine primjenjuje se vanjska separacija vlage nakon ekspanzije u visokotlačnom kućištu, što je karakteristično za turbine za nuklearne elektrane. Nakon separacije do oko 1 % vlažnosti para se obično u međupregrijaču pregrijava svježom parom. Na sl. 16. prikazane su osnovne sheme protoka pare u turbinama za nuklearne elektrane. Te turbine se sastoje od dvoprotočnog visokotlačnog i jednog ili više dvoprotočnih niskotlačnih kućišta. Zbog manjeg toplinskog pada i dodatnih gubitaka zbog vlažnosti pare potrebne su veće količine pare u odnosu na klasične turbine iste snage. To je uzrokovalo da su dimenzije turbina na zasićenu paru za nuklearne elektrane veoma brzo stigle i premašile klasične turbine s visokim parametrima pare. Gradnjom turbina na zasićenu paru savladani su problemi strujanja velikih protočnih volumena, separacija vlage, međupregrijanja nakon separacije vlage i strujanja vlažne pare u visokotlačnom dijelu turbine.

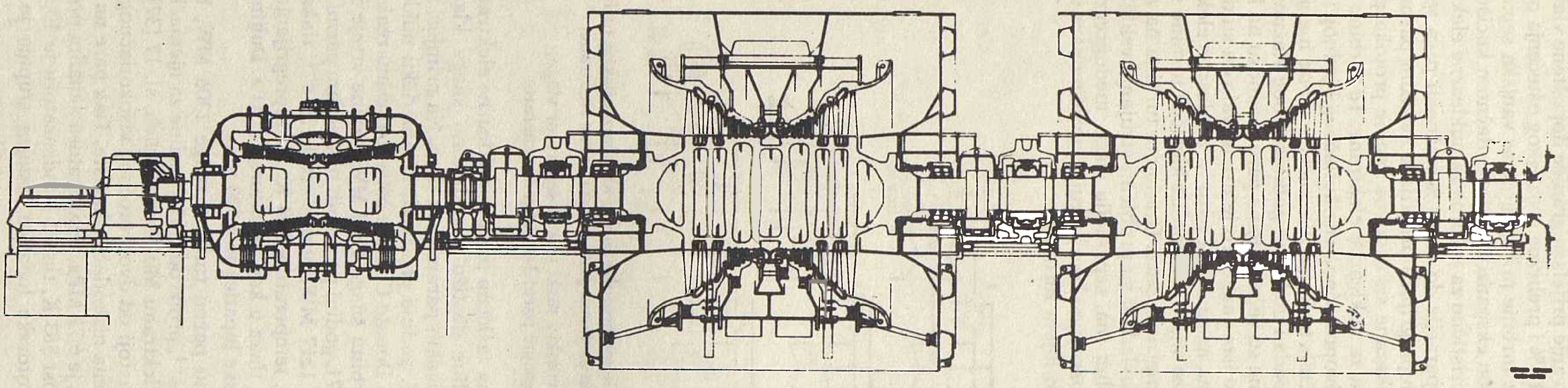


Slika 16. Sheme protoka pare u kondenzacijskim turbinama na zasićenu paru za nuklearne elektrane:

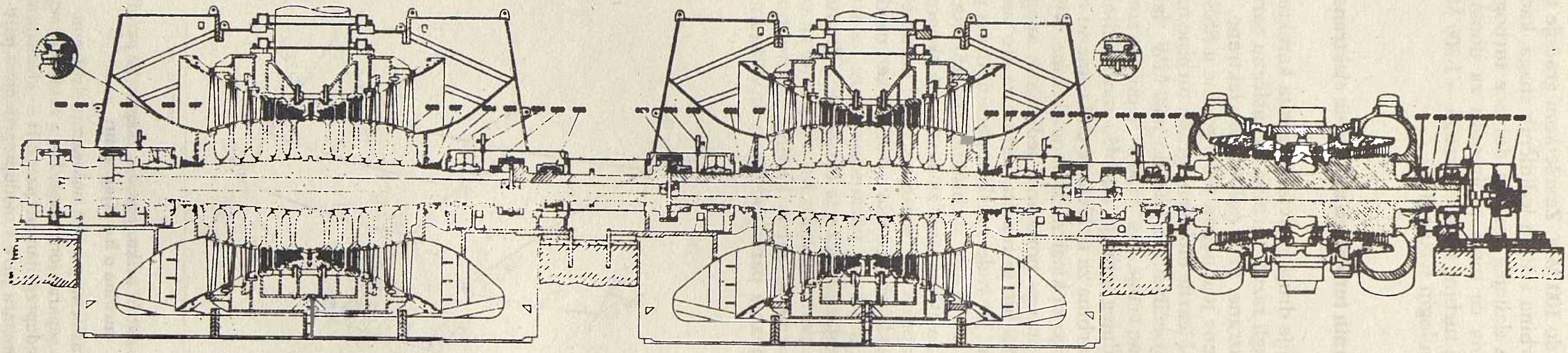
VT, NT — visoki i niski tlak; 1-separator vlage; 2-međupregrijač pare; 3-električni generator

Turbine na zasićenu paru za nuklearne elektrane već 1971. godine dostižu maksimalnu snagu klasičnih turbina visokih parametara pare. Na primjer, tvrtka BBC 1967. godine proizvodi za američku nuklearnu elektranu Donald C. Cook četverokućišnu reakcijsku parnu turbinu snage 1160 MW, brzine vrtnje 30 s^{-1} [36]. U 1971. godini proizvodi trokućišnu parnu turbinu snage 1217 MW, brzine vrtnje 30 s^{-1}, tlaka pare 7,24 MPa, temperature 594 K, međupregrijanja pare do 546 K, tlaka u kondenzatoru 7,5 kPa. Duljina zadnje rotorske lopatice je 1 320 mm.

Trokućišnu parnu turbinu snage 1306 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1}, proizvodi 1972. godine za njemačku nuklearnu elektranu Mülheim Kärlich, sl. 17 [37]. Turbina se sastoji od dvoprotočnog visokotlačnog i dva dvoprotočna niskotlačna kućišta. Tlak pare na ulazu u turbinu je 6,72 MPa, temperatura s malim pregrijanjem iznosi 583 K, tlak u kondenzatoru je 10,5 kPa. Duljina rotorske lopatice zadnjeg stupnja je 1 200 mm.



Slika 17. Kondenzacijska turbina na zasićenu paru za nuklearnu elektranu, snage 1306 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1}, proizvodnja BBC.



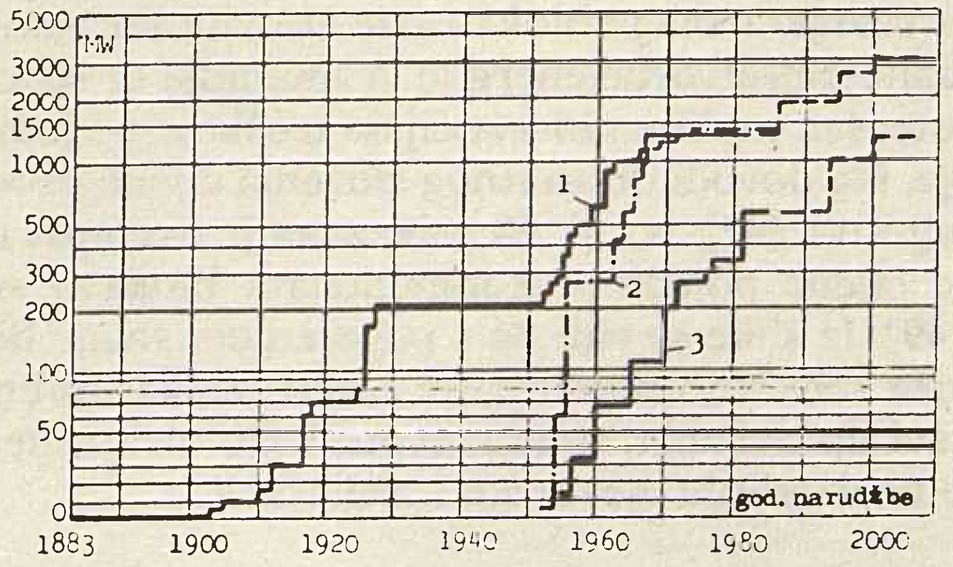
Slika 18. Turbina na zasićenu paru nuklearne elektrane Krško, snage 664 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1}, proizvodnja Westinghousea.

Tvrtka KWU 1969. godine proizvodi za nuklearnu elektranu četverokućišnu reakcijsku parnu turbinu snage 1 200 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1}. U 1971. godini proizvodi četverokućišnu turbinu snage 1 300 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1} [38]. Tlak pare na ulazu u turbinu je 5,27 MPa, temperatura zasićenja 540 K, tlak u kondenzatoru 4,5 kPa. Srednji promjer zadnjeg stupnja iznosi 4 276 mm, a duljina rotorskih lopatica 1 364 mm. Instalirana je u njemačkoj nuklearnoj elektrani Biblis B i puštena u pogon 1976. godine. Četverokućišnu turbinu snage 1365 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1}, proizvela je tvrtka KWU 1973. godine za nuklearnu elektranu Süd, puštena je pogon 1979. godine. Tvrtka KWU također je proizvela četverokućišnu turbinu na zasićenu paru brzine vrtnje 50 s^{-1}, snage 1 043 MW, za španjolsku nuklearnu elektranu Trillo. Tlak pare na ulazu u turbinu je 6,93 MPa, temperatura 553 K. Turbina je naručena 1971. godine, a planirano je da se pusti u pogon 1985. godine.

Sovjetska tvrtka HTZ 1978. godine proizvodi za nuklearnu elektranu trokućišnu parnu turbinu snage 1000 MW, brzine 25 s^{-1}, ulaznog tlaka pare 5,88 MPa, temperature zasićenja i tlaka u kondenzatoru 5,8 kPa [39, 40, 41]. Duljina rotorske lopatice zadnjeg stupnja je 1 450 mm. Masa rotora turbine iznosi 182 Mg. Tvrtka je također projektirala zajedno s CKTI perspektivnu četverokućišnu parnu turbinu snage 2 000 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1} [42]. Duljina rotorske lopatice zadnjeg stupnja je 1 800 mm. Ostali vodeći proizvođači parnih turbina imali su također brzi razvoj turbina na zasićenu paru i danas uglavnom maksimalne jedinične snage turbina proizvode za nuklearne elektrane.

Naša zemlja je ušla u nuklearnu eru 2. listopada 1981. puštanjem u pogon nuklearne elektrane Krško snage 632 MW. Turbinu na zasićnu paru snage 664 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1} proizvela je tvrtka Westinghouse (sl. 18) [43]. Tlak pare na ulazu u turbinu je 6,01 MPa, temperatura zasićenja 548 K, međupregrijanje pare pri tlaku 0,9 MPa je do temperature 533 K. Tlak u kondenzatoru iznosi 5 kPa. Turbina se sastoji od dvoprotočnog visokotlačnog i dva dvoprotočna niskotlačna kućišta. Srednji promjer zadnjeg stupnja je 4 470 mm, a duljina rotorske lopatice iznosi 1 117 mm. Izvode se također pripreme za izgradnju druge nuklearne elektrane snage oko 1 000 MW u Prevlaci kraj Zagreba, koja bi trebala biti puštena u pogon 1993. godine.

Na sl. 19. prikazan je trend razvoja gradnje jediničnih snaga parnih turbina za elektrane od prvih početaka do danas s prognozom daljnjeg razvoja [44, 45, 46]. Iz slike se vidi da je jedinična snaga parnih turbina za elektrane brzo rasla i za klasične elektrane 1967. godine dostigla maksimalnu snagu od 1 300 MW. Također se vidi veoma brz razvoj jediničnih snaga turbina na zasićenu paru za nuklearne elektrane, čija snaga već 1971. godine dostiže maksimalnu snagu klasičnih turbina. Turbine na zasićenu paru 1973. godine dostižu snagu do 1 400 MW. Tada dolazi do duljeg zastoja povećanja jediničnih snaga kako turbina za klasične, tako i za nuklearne elektrane.

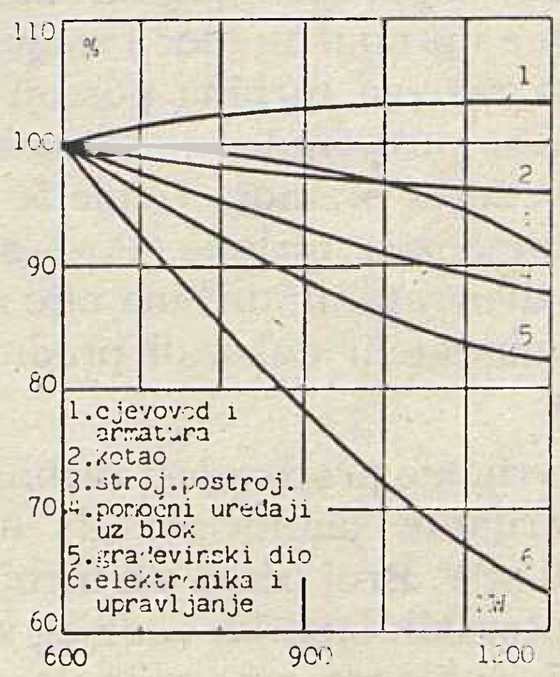


Slika 19. Razvoj jediničnih snaga parnih turbina za klasične i nuklearne elektrane:

1 — klasične turbine; 2 — turbine za nuklearne elektrane; 3 — turbine u našoj elektroprivredi (godina puštanja u pogon)

U tom zastoju skupljaju se proizvodna i eksploatacijska iskustva. Na temelju njih uasvršavaju se konstrukcijska riješenja radi povećanja pouzdanosti rada i korisnosti turbine i cijelog bloka turbopostrojenja. S povećanjem pouzdanosti bloka može se predvidjeti daljnji porast jediničnih snaga parnih turbina naročito u nuklearnim elektranama, čija snaga 2000. godine može dostići 3 000 MW. Treba napomenuti da parna turbina nije limitirajući faktor veličine bloka turbopostrojenja. Limitirajući faktor može biti veličina ukupne instalirane snage u električnoj mreži i veličina generatora. S obzirom na mogućnost ispada, maksimalna snaga bloka može biti 10 % snage mreže.

Na sl. 19. dan je također porast jediničnih snaga parnih turbina instaliranih u našoj zemlji s prognozom daljnjeg razvoja. U nas se sa snage turbina 300 MW prešlo na snage 600 MW. Međutim, smatra se da se preuranilo s gradnjom blokova snage 600 MW s obzirom na kvalitetu našeg goriva i veličinu energetskog sustava, te postoji mišljenje da će se smanjiti raspoloživost bloka. Zbog toga će se osim blokova snage 600 MW još duže vrijeme graditi i blokovi od 300 MW u klasičnim elektranama. Međutim, u nuklearnim će elektranama doći do povećanja snage sa 632 MW na 1 000 MW. Moglo bi se očekivati da će se u naše nuklearne elektrane u 2000. godini ugrađivati parne turbine jedinične snage 1 300 MW.



Slika 20. Relativna cijena komponenata blokova većih snaga u odnosu na blok snage 600 MW

S povećanjem snage bloka raste stupanj korisnosti i efikasnost pretvorbe energije, a smanjuje se specifični potrošak topline i investicijski troškovi po jedinici snage, što dovodi do znatnog sniženja cijene proizvedenog kWh [47]. Na sl. 20 prikazana je ovisnost relativne cijene pojedinih komponenata bloka o snazi [48, 49]. Iz slike se vidi da s povećanjem snage bloka najviše relativno pojeftinjuje elektronička oprema i sustavi upravljanja, te građevinski dio elektrane. Jedino poskupljuju cjevovodi i armature.

6. PRAVCI DALJNJEG RAZVOJA PARNIH TURBINA

Osnovne ideje daljnjeg razvoja parnih turbina jesu povećanje jedinične snage radi povećanja ekonomičnosti pri visokoj pouzdanosti i prilagodljivosti suvremenim potrebama eksploatacije. Rješenje tih ideja zahtijeva velike znanstvene, konstrukcijske i tehnološke napore. Primjena visokih natkritičnih parametara i međupregrijanja pare do početne temperature i povećanje jedinične snage izmijenila je konstrukciju turbina i dovela do povećanja broja kućišta. S povećanjm jedinične snage turbina ulažu se napori za smanjenje broja kućišta niskog tlaka, povećanjem duljine lopatica zadnjeg stupnja. Granična snaga turbine određena je maksimalno mogućim protokom pare kroz zadnji stupanj pri usvojenom tlaku u kondenzatoru. Današnjim turbinama najvećih snaga 1 200 i 1 300 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1} i duljine zadnje rotorske lopatice 1 200 mm, sa 6 izlaza pare moguće je s povećanjem tlaka u kondenzatoru do 11 kPa povećati snagu do 3 000 MW za klasične elektrane, odnosno do 1 850 MW za nuklearne elektrane [50].

Ako se ograniči broj kućišta turbine zbog duljine rotora i problema toplinskih rastezanja, koji se lakše vibraciono uzbudi što je dulji jedini put daljnjeg povećanja snage je povećanje izlazne površine zadnjeg stupnja, tj. povećanje duljine rotorskih lopatica. U posljednje se vrijeme ne odabire odnos srednjeg promjera zadnjeg stupnja i duljine lopatica manji od 2,5. Povećanje duljine lopatice zbog problema čvrstoće zahtijeva smanjenje brzine vrtnje s 50 na 25 s^{-1}. Sa smanjenjem brzine vrtnje pri istim naprezanjima stupnja moguće je povećati duljinu zadnjih rotorskih lopatica, a time i propusnu moć i snagu turbine. Međutim, tokom razvoja turbina postoji stalna težnja da se dostignu postignute maksimalne snage pri nižoj brzini vrtnje s brzinom vrtnje 50 s^{-1} zbog manje mase i dimenzija turbine. Povećanje jedinične snage putem dvovratilnih turbina nije rješenje jer su ekonomski pokazatelji dokazali prednost jednovratilnih turbina.

U posljednje vrijeme proizvođači turbina su razradili projektne varijante jednovratilnih turbina snage 1 800 do 2 500 MW. Broj izlaza tih turbina iznosi 6 i 4 s duljinom rotorskih lopatica zadnjeg stupnja 1 800 i 1 900 mm. S duljinom rotorskih lopatica zadnjeg stupnja 1 900 mm, srednjeg promjera 5 700 mm, izlazne površine 34 m^2 i brzine vrtnje 25 s^{-1} moguće je već pri tlaku 6 kPa dostići s dva izlaza 3 000 MW. Pri projektiranju budućih koncepcija turbina velikih jediničnih snaga morat će se također uzeti u obzir i zaštita okoline, što će dovesti do povratnog hlađenja primjenom rashladnih tornjeva. To će uzrokovati povećanje tlaka u kondenzatoru i prema tome smanjenje korisnosti postrojenja, ali i dati mogućnost povećanja snage pri istim izlaznim površinama.

Za daljnje povećanje jedinične snage klasičnih turbina na 3 000 MW i više potrebna su nova projektna i konstrukcijska rješenja. Potrebno je također povesti zajednička istraživanja razvoja turbine, kotla i generatora. Nužno je istražiti parametre pare i principijelnu strukturu energetskog postrojenja. Zbog porasta cijene goriva, a radi povećanja ekonomičnosti, postoji tendencija povišenja parametara pare na ulazu u turbinu.

U zemljama s perspektivom razvoja nuklearne energetike oslabio je interes za razvoj povećanja snaga klasičnim turbinama visokih parametara na osnovi principijelno novih tehničkih rješenja. Te zemlje su razvoj usmjerile na povećanje snage turbina na zasićenu paru za nuklearne elektrane. Međutim, pitanje povećanja jedinične snage u klasičnim termoelektranama tijesno je povezano s rješenjem tog problema u nuklearnim elektranama.

U posljednje vrijeme došlo je do zastoja daljnjeg povećanja jediničnih snaga kako u klasičnim, tako i nuklearnim elektranama zbog relativno velikih troškova čak i kod kratkih ispada i mišljenja da porastom snage pada raspoloživost bloka. Zbog toga su vodeći proizvođači parnih turbina u svojim razvojnim programima glavnu težnju usmjerili povećanju pouzdanosti i ekonomičnosti dostignutih maksimalnih snaga. Ima još niz neriješenih problema na turbinama velikih snaga na području pouzdanosti, ekonomičnosti, manevarnosti, remonta i eksploatacije [51]. Za rješavanje tih problema potrebno je još mnogo znanstvenih i tehničko-tehnoloških rješenja [52]. Uzimajući sve to u obzir, danas je veoma teško davati pouzdanije prognoze daljnjeg razvoja jediničnih snaga parnih turbina. Prognoze mnogih autora za relativno brz razvoj jediničnih snaga parnih turbina dane sedamdesetih godina nisu se ostvarile. Postoje čak prognoze i mišljenja dana u posljednje vrijeme [53, 54] da do kraja 2000. godine neće doći do povećanja jediničnih snaga parnih turbina.

Međutim, poznato je također da današnje maksimalne snage parnih turbina nisu gornje granične. Zbog toga, rješavanjem pouzdanosti bloka moglo bi se predvidjeti da će zbog povećanja ekonomičnosti s porastom snage i sve veće cijene goriva doći 1988. godine do gradnje parnih turbina snage 1 800 MW, 1995. godine 2 400 MW i 2000. godine 3 000 MW (sl. 19), naročito za nuklearne elektrane. Uvođenje perspektivnih brzih oplodnih reaktora omogućit će i u nuklearnim elektranama primjenu klasičnih turbina velikih snaga visokih parametara pare i prema tome njihov daljnji razvoj. Do kraja ovog stoljeća tehnički je moguće povećati jediničnu snagu parnih turbina na 4 000 do 5 000 MW. Međutim, ekonomska svrsishodnost takvih postrojenja nije još dokazana.

7. ZAKLJUČAK

Parne turbine su se pokazale visoko pouzdane i ekonomične, te su kao pogonski strojevi zauzele vodeće mjesto u proizvodnji električne energije. Razvijene su dvije tehnike gradnje parnih turbina: akcijskog i reakcijskog principa pretvorbe energije. Prve ideje reakcijskog principa djelovanja parne turbine dao je Heron 120. godina p.n.e., a akcijskog Giovani de Branka 1629. godine. Međutim, stvarni razvoj industrijski primjenljivih parnih turbina počinje od 1883. i 1884. godine, kada je Gustav de Laval izradio i patentirao jednostupnu akcijsku, a Charles Parsons višestupnu reakcijsku parnu turbinu. Tako su nastala dva tipa parnih turbina, tj. dvije različite tehnike gradnje, čije su licence dane u svijet i time uvjetovale njihov daljnji razvoj i način proizvodnje.

Potrebno je također spomenuti Charles Curtisa, koji je 1896. godine patentirao jednostupnu akcijsku parnu turbinu sa stupnjevanjem brzine, Augusta Rateaua koji je izradio višestupnu akcijsku parnu turbinu 1898. a patentirao je 1902. godine i Henrich Zoellyja, koji je 1903. godine također konstruirao višestupnu akcijsku parnu turbinu. Za te ličnosti, pored Lavala i Parsonsa, može se reći da su bili pioniri u području stvaranja parnih turbina. Od tog vremena do danas, tj. za 100 godina, parna turbina prešla je velik razvojni put kao ni jedan drugi pogonski stroj, a u odnosu na 1884. godinu povećana joj je snaga za oko 180 000 puta.

Do prvoga svjetskog rata gradile su se uglavnom turbine snage do 6 MW, brzine vrtnje 50 s^{-1} i do 30 MW, brzine vrtnje 12,5 s^{-1}. Parametri pare tih turbina zbog nepostojanja materijala za visoke tlakove i temperature bili su relativno niski i iznosili su: tlak 1,2 do 1,6 MPa i temperatura 573 do 623 K.

U razdoblju između prvoga i drugoga svjetskog rata radi povećanja ekonomičnosti parnih turbina dolazi do naglog razvoja povećanja njihove snage i početnih parametara pare. Dolazi također do povećanja broja stupnjeva i gradnje višekućišnih parnih turbina. Snaga parnih turbina dostiže 100 MW, pri brzini vrtnje 50 s^{-1} i 165 MW pri brzini vrtnje 30 s^{-1}. Također se počinju graditi viševratilne parne turbine čija snaga dostiže 208 MW pri brzini vrtnje 30 s^{-1}. Parametri pare u tom razdoblju dostižu tlak 12 MPa i temperaturu do 773 K, a u posebnim slučajevima 18 MPa i 823 K.

Poslije drugoga svjetskog rata došlo je do veoma brzog razvoja jediničnih snaga višekućišnih parnih turbina, koje danas dostižu snagu 1 200 do 1 400 MW pri brzini vrtnje 50 s^{-1}. Zbog povećanja ekonomičnosti primjenjuju se visoki parametri pare, koji dostižu tlak 25 MPa i temperaturu 853 K, a u posebnim slučajevima 35 MPa i 923 K. Pri tome se primjenjuje međupregrijanje pare do početne temperature nakon ekspanzije u visokotlačnom kućištu. Usavršava se također protočni dio turbina i primjenjuju se visokoekonomični aerodinamički profili lopatica. Usavršava se regulacija turbina od mehaničke, hidrauličke na elektroničku. Također dolazi do naglog razvoja turbina na zasićenu paru za nuklearne elektrane, od gradnje prve turbine 1954. godine snage 5 MW, do današnjih snage 1 400 MW, brzine vrtnje 25 s^{-1}, tlaka pare 5 do 7 MPa, temperature zasićenja. U daljnjem razvoju turbina postoji težnja za smanjenjem broja niskotlačnih kućišta i povećanjem duljine lopatica zadnjeg stupnja.

U posljednje vrijeme nastaje zastoj u povećanju jediničnih snaga parnih turbina, ugrađivanih kako u klasične termoelektrane, tako i u nuklearne elektrane, zbog relativno velikih gubitaka pri zastoju i mišljenja da im pada raspoloživost s porastom snage. Zbog toga je realno očekivati sporiji daljnji razvoj jediničnih snaga turbina. Može se predvidjeti da će se zbog povećanja ekonomičnosti s porastom snage 1988. godine graditi parne turbine snage 1 800 MW, 1995. godine 2 400 i 2000. godine 3 000 MW. Tehnički je moguće do kraja ovog stoljeća povećati jediničnu snagu turbina na 4 000 do 5 000 MW. Međutim, nije još dokazana svrsishodnost takvih turbina. U našoj zemlji, gdje se danas ugrađuju parne turbine snage 600 MW, može se predvidjeti da će se turbina 1 000 MW ugrađivati 1993. godine i 1 300 MW 2000. godine.

LITERATURA

[1] A. STODOLA, »Dampf-und Gas-turbinen«, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1924.

[2] W. TRAUPEL, »Thermische Turbomaschinen«, Erste Band, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1958.

[3] O. MARTIN, »Dampf und Gasturbinen«, Walter de Gruyter, Berlin, New York 1971.

[4] H. DUBBEL, »Entwerfen und Berechnen der Dampfmaschinen«, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1905.

[5] W. J. KEARTON, »Steam Turbine Operation«, Sir Isaac Pitman & Sons, LTD, London, 1945.

[6] A. LOSCHGE, K. SCHNAKIG, »Konstruktionen aus dem Dampfturbinenbau«, Erlag von Julius Springer, Berlin, 1938.

[7] E. A. KRAFT, »Die neuzeitliche Dampfturbine«, Zweite erweiterte Auflage, VDI-Verlag G.M.B.H., Berlin, 1930.

[8] I. I. KIRILOV, S. A. KANTOR, »Teorija i konstrukcii parovih turbin«, Mašgiz, Moskva, Lenjingrad, 1947.

[9] C. ZIETEMANN, »Die Dampfturbinen«, Zweite verbesserte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1955.

[10] B. ČERNIGOJ, »Parne turbine«, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1956.

[11] E. A. KRAFT, »Die neuzeitliche Dampfturbine«, Dritte neubearbeitete und erweiterte Auflage, VEB Berlag Tecnik, Berlin, 1954.

[12] O. ROSENLOCHER, »Die wärmetechnischen Baugrundsätze, AEG Dampfturbinen, AEG-Verlag, Berlin, 1938, 5-12.

[13] F. HARD, »75 Jahre Brown Boveri Damfturbinen«, Brown Boveri Mitt. 63 (1976) 2, 85-93.

[14] A. ROEDER, »BBC-Dampfturbinen bis 1300 MW«, simpozij: Jugoturbina-BBC Kraftwerkstehnik fosil und Nuklear bis 1300 MW, Karlovac, 18. i 19. 5. 1982.

[15] C. CANTUNIAR, »Zwangsabkühlung von Turbinen grosser Leistung«, Brown Boveri Mitt. 63 (1976) 2, 141-147.

[16] O. MARTIN, »Dampf und Gasturbinen«, Walter de Gruyter, Berlin, 1971.

[17] K. REINHARD, F. VEST, E. VOGELSANG, »Erfahrungen mit den grössten Dampfturbinen der Welt«, Brown Boveri Mitt. 63 (1976) 2, 106-114.

[18] F. DIETZEL, »Dampfturbinen«, Carl Hanser Verlag, München, 1980.

[19] D. STOJANOVIĆ, »Toplotne turbomašine«, Građevinska knjiga, Beograd, 1973.

[20] A. HÄUSERMANN, F. RÖLLI, »Studien zu Grosdampfturbinen für die USA mit zweifacher Zwischenüberhitzung, höheren Damptzuständen und einer Leistung bis 1600 MW«, VGB Kraftwerkstechnik 63 (1983) 46-53.

[21] M. LUDEWIG, »Neuzetliche AEG-Kondensations-und zwischenüberhitzungsturbinen mittlerer und grosser Leistung, AEG Dampfturbinen Turbogeneratoren«, AEG-Verlag, Berlin-Grunewald (1963), 17-34.

[22] M. LUDEWIG, »Die Grossturbinenfamilie der AEG«, AEG-Mitteilunge 55 (1965) 2, 65-81.

[23] H. HAAS, »Einwellige Turbosätze mit 25 s^{-1} für grosse Leistungen«, KWU-Fachautesätze, 1976, 267-276.

[24] B. M. TROJANOVSKIJ, A. D. TRUHNIJ, »Nekotorie problemi sozdanija i ekspluatacii parovih turbin«, Teploenergetika (1979) 6, 2-14.

[25] A. V. ŠČEGLJAEV, »Parovye turbiny«, Energija, Moskva, 1976.

[26] A. V. LEVIN, P. S. ČERHYŠEV, »Sostojanie i perspektivi razvitija paroturbostroenija na LMZ im. XXII sezda KPSS«, Teploenergetika (1967) 11, 7-17.

[27] E. E. FRIDMAN, »Razvitie proektirovanija parovyh turbin na HTGZ im S. M. Kirova«, Teploenergetika (1967) 12, 2-5.

[28] I. I. KIRILLOV, V. A. IVANOV, A. I. KIRILLOV, »Parovie turbini i paroturbinie ustanovki«, Mašinostroenie, Lenjingrad, 1978.

[29] V. K. RYŽKOV, N. A. SOROKIN, M. F. MIHAJLOV, »Parovaja turbina K-1200-240-3 LMZ«, Teploenergetika (1976) 3, 2-12.

[30] B. M. TROJANOVSKIJ, G. G. OLHOVSKIJ, »Parovie i gazovie turbini zavodov SSSR včera, segodnja i zavtra, Teploenergetika (1977) 11, 23-37.

[31] I. K. TERENTEV, G. O. GRODSKIJ, »Razrabotka odnovalnogo paroturbinnogo agregata močnostju 2000 MW na 3000 ob/min, Energomašinostroenie (1974) 7, 1-4.

[32] J. B. DANILEVIČ, G. M HUTORECKIJ, »O predelnoj moščnosti perspektivnyh turbogeneratorov«, Električe: kie stanci (1978) 11, 36-38.

[33] B. STANIŠA,: »Dosadašnji razvoj i daljnje mogućnosti proizvodnje parnih turbina za potrebe industrijskih energana i javnih toplana«, jugoslavensko savetovanje »Izvori energije i tehničko-tehnološki razvoj opreme za energetiku«, knjiga 3, 238-255, Beograd 12-14. 1. 1983.

[34] Z. ELČIĆ, »Parne turbine male i srednje jedinične snage i njihova uloga pri proizvodnji energije« Tehničke informacije Jugoturbina i TPK 10 (1976) 11/12, 83-94.

[35] B. STANIŠA, »Dosadašnji i daljnji razvoj toplinskih turbina«, Tehnički fakultet Rijeka, Zbornik radova VII (1983), 195-223.

[36] W. HOSSLI, »The 1160 MW Turbine for Doneld E. Cook Nuclear Power Plant of AEP«, Brown Boveri Rev. (1972) 1, 4-19.

[37] F. PETER, »Die Gesamtanläge des RWE-KKW Mülheim-Kärlich«, Atomwirtschaft 20 (1975) 5, 246-254.

[38] A. BALD, »Turbosätze in konventionellen und nuklearen Kraftwerken«, Technische Mitteilungen 68 (1975) 1/2, 22-36.

[39] V. V. UGOLNIKOV, J. F. KOSJAK, B. A. ARKADEV, »Parovie turbini HGTZ«, Teploenergetika (1978) 5, 2-10.

[40] B. M. TROJANOVSKIJ, »Turbini dlja tomnih elektrostancij«, Energija, Moskva, 1978.

[41] J. F. KOSJAK, »Paroturbinnie ustanovki atomnih elektrostancij« Energija, Moskva, 1978.

[42] L. P SATONOV, V. I. NIŠNEVIĆ, M. V. BAKYRADZE, J. F. KOSJAK, »Perspektivnij turboagregat moščnostju 2000 MW dlja AES«, Teploenergetika (1981) 9, 9-12.

[43] B. STANIŠA, »Turbinska postrojenja za nuklearne elektrane«, Strojarstvo 20 (1978) 5, 301-313.

[44] H. SCHEFFCZYK, »Dampfturbinen«, Elektrizitätswirtschaft 75 (1976) 20, 691-704.

[45] H. R. PINK, »Die Zukunft def Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen«, VDI-Berichte (1974) 208, 17-28.

[46 E. HÖXTERMANN, »100 Jahre Dampfturbinen«, VGB Kraftwerkstechnik 63 (1983) 7, 569-576.

[47] W. HLUBEK, »Betriebserfahrung mit grossen Dampfturbinen«, Brennst. - Wärme-Kraft 35 (1983) 1/2, 36-39.

[48] H. FREWER, »Grenzleistungs probleme bei Wäarmekraftwerken mit fossilen Brennstoffen«, VDI-Beriche Nr. 236 (1975), 55-65.

[49] M. BUTKOVIĆ, »Razvoj proizvodnje turbina crpki i dizelskih motora za energetiku u SOUR-u Jugoturbina do 2000. godine«, Simpozij »Materijalni i društveni razvoj SR Hrvatske do 2000. godine«, Zagreb, 27-29. 3. 1980, 327-373.

[50] A. ROEDER, »Die Endschaufel der grössten volltourigen Norm Niederdruckturbine«, Brown Boveri Mitt. 63 (1976) 2, 115-122.

[51] B. M. TROJANOVSKIJ, »Parovie turbini. Uspehi, nerešennie problemi«, Teploenergetika (1983) 1,6-11.

[52] J. F. KOSJAK, M. A. VIRČENKO, B. A. ARKADEV, V. P. SUHININ, »Naučnie, tehniko-ekonomičeskie i tehnologičeskie problemi sozdanija krupnih parovih turbin«, Teploenergetika (1979) 4, 11-15.

[53] F. VEST, »BBC als Kraftwerksliferant«, Simpozij: Jugoturbina-BBC Kraftwerkstechnik fosil ind Nuklear bis 1300 MW, Karlovac, 18. i 19. 5. 1982.

[54] N. ČUK, »Razvoj parnik turbina velike snage«, Naučno stručni skup »Dvadeset godina nastave nuklearne energetike na mašinskom fakultetu u Beogradu«, Beograd, 28. i 29. 10. 1982.

100 YEARS OF STEAM TURBINES PRODUCTION AND DEVELOPMENT

In the article is given a review of steam turbine development from begining till to day. Examples of turbine designs with elementary parameters in particular stages of their development are shown. Furthermore, the prospective possibilities and directions of their further development are presented.

100 JÄHRIGE ERZEUGUNG UND ENTWICKLUNG DER DAMPFTURBINEN

In der Arbeit wurde die Übersicht der Entwicklung der Dampfturbinen von den ersten Anfängen bis heute geschildert. Erörtert wurden die Konstruktionen der Turbinen mit den Grundcharakteristiken und Parametren des Dampfes in einzelnen Etappen ihrer Entwicklung. Ebenso wurden die Möglichkeiten und Richtlinien der weiteren Entwicklung der Turbinen dargelegt.

СТОЛЕТИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН

В работе дается обзор развития паровых турбин с самого начала и до наших дней. Приводятся конструкции паровых турбин с основными характеристиками и параметрами пара на отдельных этапах их развития. Показаны возможности и направление дальнейшего развития турбин.

Naslov pisca:

Mr Branko Staniša, dipl. ing.
Jugoturbina, 47000 Karlovac

Uredništvo primilo rukopis 1984-02-28.

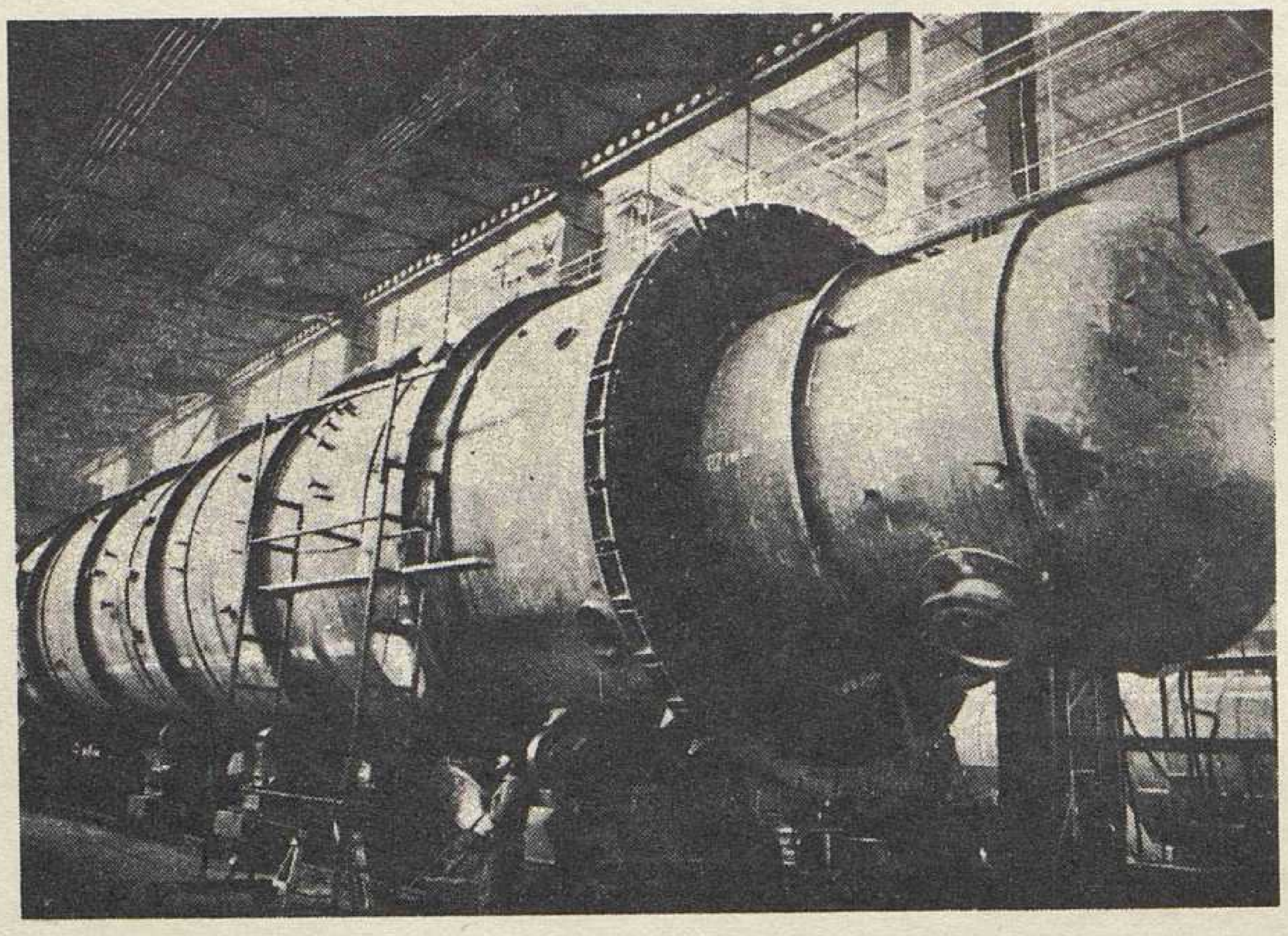
ĐURO ĐAKOVIĆ

SLAVONSKI BROD – JUGOSLAVIJA

TELEFON: (055) 231-011
TELEX: 28521 YU LOKOM

PROIZVODNI PROGRAM SOUR-a

Kompletna industrijska postrojenja — šećerane, cementare, krečane, ekspandirana glina.
Oprema i uređaji za procesnu industriju.
Postrojenja za prehrambenu industriju.
Oprema za petrokemiju i pridobivanje nafte.
Oprema za rudarstvo i metalurška postrojenja.
Kolovska i energetska postrojenja i oprema za nuklearne elektrane.
Uređaji za prečišćavanje zraka, vode i dimnih plinova.
Kompletne prenosne i kontejnerske kotlovnice.
Cjevovodi svih namjena i kompenzatori za cjevovode.
Mostne, portalne i auto-dizalice.
Bočni i čeoni viličari i uređaju diskontinuiranog i kontinuiranog transporta.
Lokomotive-dizel s električnim, hidrauličnim i mehaničkim prijenosom snage.
Vagoni.
Motorni vlakovi.
Tramvajska motorna kola i prikolice.
Poljoprivredni strojevi.
Građeviski strojevi — vibracioni valjci i motorni utovarivači, točkaši, bageri.
Mehanički i hidrostatski prenosnici snage, pumpe i razvodnici.
Bešavne čelične boce.
Sve vrste i tipovi ventila.
Butan-propan boce od 10 kg.
Kamp oprema.
Sve vrste i tipovi priključaka za butan-propan.
Ronilačka oprema.
Dišni aparati za zatrovane prostore.
Stabilni protupožarni uređaji.
Uređaji za plinsko zavarivanje, lemljenje i rezanje.
Baterije boca za različite plinove i svrhe.



RO PROIZVODNJA ENERGETSKIH POSTROJENJA

PROIZVODNI PROGRAM:

Industrijski kotlovi i kotlovi za toplane
Strmocijevni kotlovi
Kutnocijevni kotlovi (parni i vrelovodni)
Paketni kotlovi loženi krutim gorivom — ugljenom
Integral (paketni) kotlovi loženi tekućim i plinovitim gorivom
Steambloc kotlovi (parni i vrelovodni)
Kotlovi C-12 za centralna grijanja
Kotlovi i oprema za potrebe elektroprivrede
Visokotlačni kotlovi i dijelovi kotlova za TE
Ložišni uređaji za plin, ulje i ugljen
Regenerativni zagrijači zraka (LJUNGSTROEM), uređaji za odšljakivanje i ostala pomoćna oprema za konvencionalne i nuklearne elektrane
Brodski pogonski i pomoćni kotlovi
Kotlovi za iskorištenje otpadne topline
Kotlovi za spaljivanje gradskog i industrijskog otpada
Kotlovi za spaljivanje drveta i drvnog otpada
Uređaji za kemijsku i termičku pripremu napojne vode
Uređaji za pripremu tehnološke vode
Pomoćni uređaji za industrijske kotlovnice
Uređaji za pripremu otpadnih voda

PRILIKE PRI UKLAPANJU KONDENZATORSKIH BATERIJA I IZBOR PRIKLADNIH SKLOPNIH APARATA

Ivan Naumovski, Zagreb

UDK 621.310.4

PREGLEDNI RAD

Daje se osvrt na pojave i njihove osnovne odnose pri uklapanju kondenzatorskih baterija, kao i na naprezanja sklopnih aparata pri uklapanju razdjelnih kondenzatorskih baterija. Ukazano je na prednost i ekonomičnost primjene vakuumskih aparata za sklapanje razdjelnih kondenzatorskih baterija.

Ključne riječi: kondenzatori, sklopni aparati, vakuumski prekidači, prelazne pojave pri uklapanju.

1. UVOD

Dopunom standarda IEC 56 za prekidače visokog napona [1], koja uskoro stupa na snagu, za prekidače namijenjene za sklapanje kondenzatorskih baterija uvodi se obavezno definiranje sljedećih dodatnih nazivnih karakteristika:

a) nazivna prekidna kapacitivna struja nerazdjelne kondenzatorske baterije,

b) nazivna prekidna kapacitivna struja razdjelne kondenzatorske baterije,

c) nazivna struja uklapanja kondenzatorske baterije.

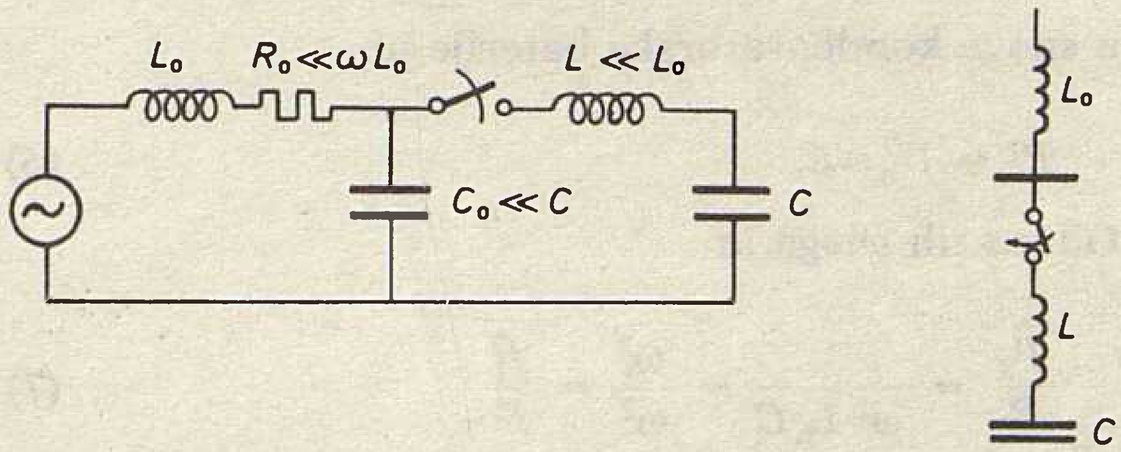
U pobližem objašnjenju nazivne karakteristike pod c) u spomenutom amandmanu kaže se da je to vršna vrijednost struje koju prekidač može uklopiti kod nazivnog napona, te uz frekvenciju koja odgovara pogonskim prilikama. Na temu prekidanja kapacitivnih struja je već dosta toga napisano [2], [3], [4]. Opći je stav korisnika da moderni prekidači namijenjeni za sklapanje kondenzatorskih baterija pri isklapanju ne smiju imati ponovna paljenja luka jer ona mogu dovesti do prenapona koji mogu ugroziti ugrađenu opremu.

Dosada je, međutim, malo napisano o ostalim specifičnostima kojima moraju udovoljavati sklopni aparati (prekidači, rastavne sklopke, klopnici) za sklapanje kondenzatorskih baterija. Prikazujući te specifičnosti rad daje preporuke za izbor sklopnih aparata za sklapanje kondenzatorskih baterija, a osobito razdjelnih kondenzatorskih baterija, kod kojih se javljaju visoke amplitude i frekvencije uklopnih struja.

Sve veća tendencija primjene razdjelnih kondenzatorskih baterija [5] upućuje na aktualnost ovih razmatranja.

2. POJAVE PRI UKLAPANJU NERAZDJELNE KONDENZATORSKE BATERIJE

Pojave pri uklapanju kondenzatora na mrežu najlakše možemo sagledati pomoću pojednostavnjenih shema strujnog kruga prikazanih na slici 1.



Slika 1. Pojednostavnjene sheme strujnog kruga s kondenzatorskom baterijom

L_0, R_0 — parametri kruga na strani mreže
L, C — parametri kruga na strani kondenzatorske baterije

Kako je poznato iz teorije strujnih krugova, nakon uklapanja izmjeničnog strujnog kruga s omskim otporom, induktivitetom i kapacitetom u seriji, za vrijeme prijelazne pojave struja ima dvije komponente — stacionarnu komponentu i struju izjednačenja.

Također je poznato da struja izjednačenja ima najveću amplitudu («strujni udar«) onda kada do uklapanja dolazi kod maksimalne vrijednosti izmjeničnog napona. U periodskom slučaju za struju izjednačenja vrijedi relacija:

$$i_i = \hat{\imath}\, e^{-\frac{R_0}{2L_0}t} \sin \omega_i t \qquad (1)$$

U relaciji (1) je $\hat{\imath}$ — vršna vrijednost struje izjednačenja, a $\omega_i = 2\pi f_i = \frac{1}{L_0 C}$ je vlastita frekvencija

kruga. Kako je omski otpor kruga relativno malen, amplituda uklopne struje je određena valnim otporom kruga Z_V[3]

$$\hat{\imath} = \frac{u}{Z_V} = \hat{u}\sqrt{\frac{C}{L_o}} = U_n\sqrt{\frac{2}{3}\frac{C}{L_o}} \qquad (2)$$

gdje je

U_n — nazivni napon mreže.

Kao što znamo, za vršnu vrijednost stacionarne kapacitivne struje I_C vrijedi

$$\sqrt{2}\ I_C = \sqrt{\frac{2}{3}}\ U_n \omega C \qquad (3)$$

gdje je

ω — frekvencija mreže.

Odnos vršnih struja iz (2) i (3) prema tome iznosi

$$\frac{\hat{\imath}}{\sqrt{2}\ I_C} = \frac{1}{\omega\sqrt{L_o C}} = \frac{\omega_i}{\omega} = \frac{f_i}{f}. \qquad (4)$$

S druge strane, snaga kratkog spoja na sabirnicama kondenzatorske baterije (slika 1 — desno) iznosi

$$P_K = \frac{U_n^2}{\omega L_o} \qquad (5)$$

a snaga kondenzatorske baterije je

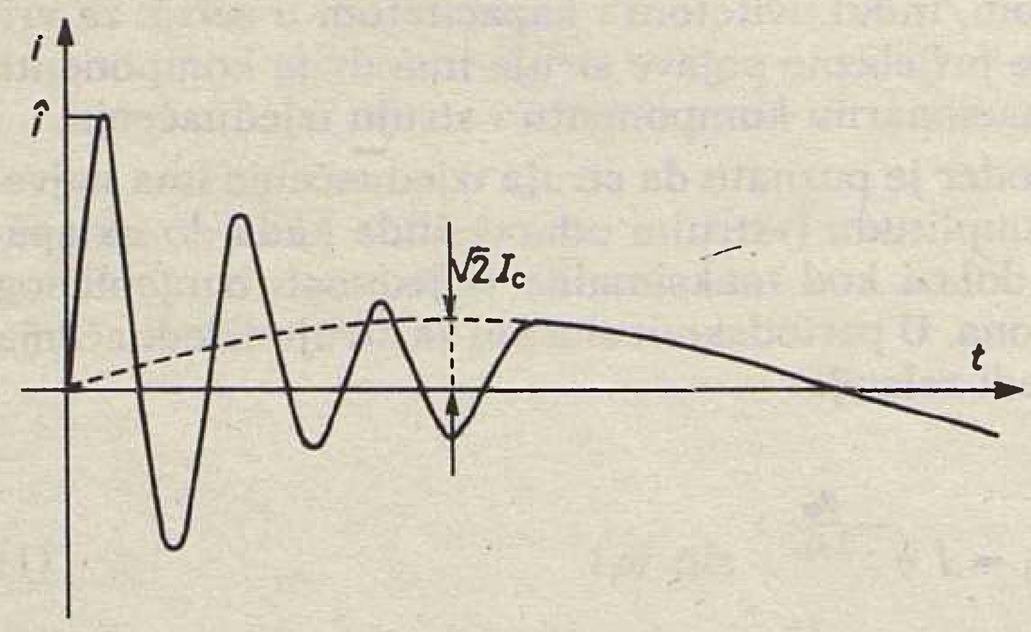
$$P_C = U_n^2 \omega C. \qquad (6)$$

Odnos tih snaga je

$$\frac{P_K}{P_C} = \frac{1}{\omega^2 L_o C} = \frac{\omega_i^2}{\omega^2} = \frac{f_i^2}{f^2}. \qquad (7)$$

Jednadžbu (4) sada možemo napisati u sljedećem obliku:

$$\frac{\hat{\imath}}{\sqrt{2}\ I_C} = \sqrt{\frac{P_K}{P_C}}. \qquad (8)$$



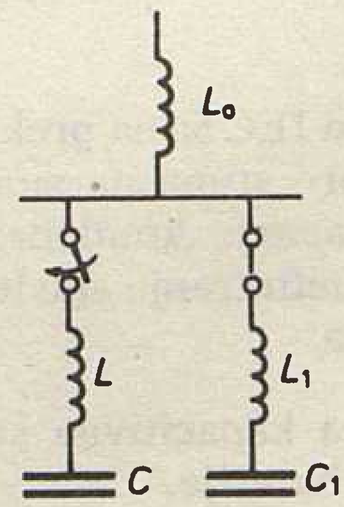
Slika 2. Struja pri uklapanju nenabijene kondenzatorske baterije (uklapanje u trenutku vršne vrijednosti napona mreže)

Izrazi (7) i (8) se u praksi koriste za izračunavanje uklopne struje i vlastite frekvencije kondenzatorske baterije (pri izradi projekata postrojenja za kompenzaciju jalove snage).

I izraz (4) i izraz (8) pokazuju da vršna vrijednost struje izjednačenja najčešće znatno nadmašuje vršnu vrijednost stacionarne struje. Stoga možemo uzeti da je početni oblik uklopne struje definiran strujom izjednačenja prema izrazu (1), što je i prikazano na slici 1.

3. POJAVE PRI UKLAPANJU RAZDJELNIH KONDENZATORSKIH BATERIJA

U slučaju kada imamo kondenzatorsku bateriju razdijeljenu u 2 grupe (slika 3), vršna vrijednost struje izjednačenja definirana je serijskim spojem razdijeljenih grana (pražnjenje jedne grupe kondenzatora u drugu), dok se doprinos mreže zanemaruje.



Slika 3. Shema kondenzatorske baterije razdijeljene u dvije grane

Uvrštavanje vrijednosti serijskih vezanih kapaciteta i induktiviteta iz sl. 3 u (2), dobijemo

$$\hat{\imath} = U_n\sqrt{\frac{2}{3}\frac{C_1 C}{C_1 + C}\frac{1}{L_1 + L}} \qquad (9)$$

$$f_i = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C_1 C}{C_1 + C}(L_1 + L)}}. \qquad (10)$$

Uzmimo za primjer kombinaciju od dvije grupe baterija za koje vrijedi $C_1 = aC$ ($a \geq 1$, čime uzimamo da je C_1 onaj kondenzator koji je veći). Ako je $L = L_1$ (što je i najčešće), onda iz (9) i (10) slijedi

$$\hat{\imath} = \sqrt{\frac{2}{3}}\ U_n\sqrt{\frac{a}{a+1}}\sqrt{\frac{C}{2L}} \qquad (11)$$

$$f_i = \frac{1}{2\pi\sqrt{2}}\sqrt{\frac{a+1}{a}}\ \frac{1}{\sqrt{LC}}. \qquad (12)$$

Usporedbom relacija (3) i (11) možemo vidjeti da uklopnu struju razdjelne baterije (11) možemo izraziti i pomoću stacionarne struje prve grane baterije:

$$\hat{\imath} = \frac{a}{a+1}\,\frac{f_i}{f}\,\sqrt{2}\,I_c. \qquad (13)$$

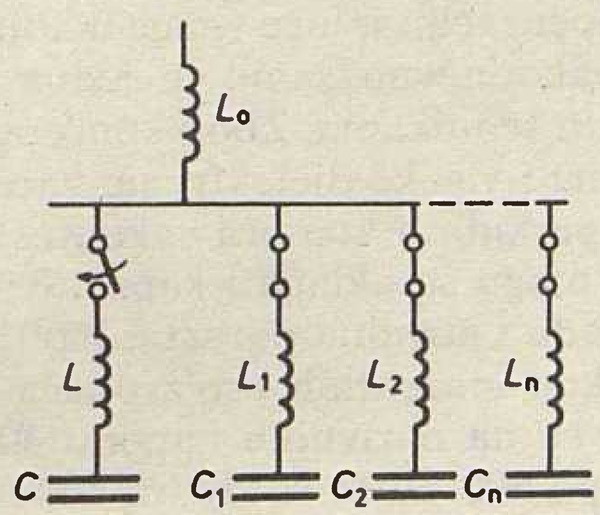
Pri formuliranju relacije (13) poslužili smo se i relacijom (12) pomoću koje smo u relaciji (11) uvrstili vrijednost za $\frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Relacija (13) još je jedan izraz koji se u praksi koristi pri izradi projekata za izračunavanje vršne vrijednosti uklopne struje kondenzatorske baterije s dvije ili više grana.

Kondenzatorske baterije razdijeljene u n grana (slika 4) mogu se promatrati kao kondenzatorske baterije s dvije grane, s time da se L_1 i C_1 sa slike 3 nadomijeste sljedećim parametrima [1]:

$$L' = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots + \frac{1}{L_n}} \qquad (14)$$

$$C' = C_1 + C_2 + \ldots + C_n \qquad (15)$$



Slika 4. Shema kondenzatorske baterije razdijeljene u n grana

4. NAPREZANJA KONDENZATORSKE BATERIJE PRI PORASTU UKLOPNE STRUJE)

Naponska naprezanja kondenzatorskih baterija pri uklapanju nisu značajna jer je faktor prenapona pri uklapanju nenabijene baterije manji od 2 [3] (baterije se nakon svakog isklapanja izbijaju preko otpornika ili naponskih transformatora).

Maksimalna strujna naprezanja kondenzatorskih baterija definirana su standardom IEC za kondenzatore [6], koji preporučuje da trenutna vršna vrijednost struje nabijanja baterije (uklopne struje) ne bude veća od 100 struke efektivne vrijednosti nazivne struje baterije kako ne bi došlo do prevelikih naprezanja baterije zbog brzog porasta naboja. Prenaponi koji pri uklapanju nastaju u sekundarnim krugovima [5] također mogu biti razlog za limitiranje struje uklapanja kondenzatorske baterije.

Polazeći od prije navedenog uvjeta

$$\hat{\imath} \leq 100\, I_C, \qquad (16)$$

uvrštavanjem vrijednosti iz (11) i (3) dobijemo

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\,U_n\,\sqrt{\frac{a}{a+1}}\,\sqrt{\frac{C}{2L}} \leq$$

$$\leq 100\,\frac{1}{\sqrt{3}}\,U_n\,2\pi f C \qquad (17)$$

odnosno nakon sređivanja

$$\frac{1}{\sqrt{LC}} \leq 100\,\sqrt{\frac{a+1}{a}}\,2\pi f. \qquad (18)$$

Ako u taj izraz uvrstimo vrijednost za $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ koju dobijemo iz (12), slijedi

$$f_i \leq \frac{100}{\sqrt{2}}\,\frac{a+1}{a}\,f. \qquad (19)$$

Budući da $\frac{a+1}{a}$ ima najveću vrijednost kad je a najmanji, tj. a = 1 (jednake baterije u svim granama), dalje vrijedi

$$f_i \leq 100\,\sqrt{2}\,f \qquad (20)$$

Ako u (20) uvrstimo $f = 50$ Hz, dobijemo da frekvencija struje uklapanja razdjelne baterije može postići vrijednost do 7 kHz.

Za nerazdjelne baterije, pri oraničenju amplitude uklopne struje prema (16), maksimalnu frekvenciju te struje dobijemo direktno pomoću relacije (4)

$$\frac{f_i}{f}\,\sqrt{2}\;I_C \leq 100\,I_C \qquad (21)$$

odnosno

$$f_i \leq \frac{100}{\sqrt{2}}\,f. \qquad (22)$$

Uvrštavanjem $f = 50$ Hz dobijemo maksimalnu vrijednost $f_i = 3{,}5$ kHz.

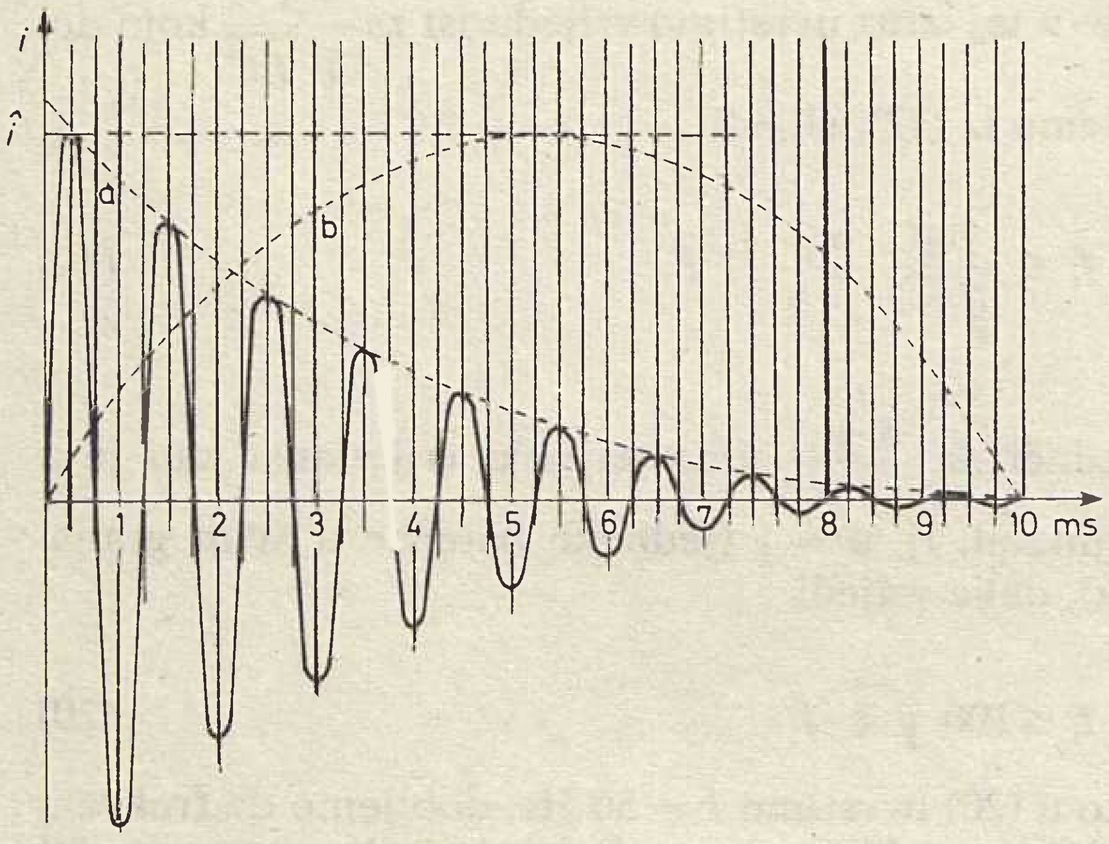
5. NAPREZANJA SKLOPNIH APARATA PRI UKLAPANJU KONDENZATORSKIH BATERIJA

Proces uklapanja visokonaponskih kondenzatorskih baterija započinje pretpaljenjem luka između kontakata sklopnog aparata kojim se to uklapanje obavlja (prije nego dođe do dodira kontakata). Pri tome zbog visoke frekvencije i amplitude uklopne struje (brzog porasta struje) ona može postići svoju vršnu vrijednost prije nego dođe do ostvarivanja pune vrijednosti kontaktnog pritiska zatvorenih kontakata. Stoga je nazivna struja uklapanja kondenzatorske baterije (vidjeti točku 1) prekidača visokog napona najčešće znatno niža nego njihova uklopna moć pri kratkom spoju.

Na slici 5. prikazan je usporedni prikaz oblika struje uklapanja razdjelne kondenzatorske baterije frekvencije 1 kHz (a) i uklopne struje pri kratkom spoju (b).

Početnu strminu porasta struje (s) dobijemo najjednostavnije tako da pretpostavimo da je oblik struje prema (1) neprigušeno sinusidalan (omski otpor je realno malen). Derivacijom slijedi

$$\left(\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right)_{t=0} = s = \omega \hat{\imath} = 2\pi f \hat{\imath} \qquad (23)$$



Slika 5. a. Struja uklapanja razdijeljene kondenzatorske baterije uz $f_i = 1$ kHz

b. Uklopna struja pri kratkom spoju u mreži 50 Hz

Vidimo da na visoku strminu struje uklapanja kondenzatorske baterije podjednako utječu i visoka amplituda i visoka frekvencija te sruje. Amplituda uklopne struje uz ograničenja prema (16) može iznositi i do nekoliko desetaka kiloampera, a za frekvenciu smo već izračunali maksimalnu vrijednost 7 kHz. Prema tome, početna strmina porasta struje uklapanja razdjelne kondenzatorske baterije može iznositi i preko 1 000 A/μs, što može dovesti do zavarivanja kontakata sklopnog aparata ili do drugih neželjenih pojava. Na primjer, kod malouljnih prekidača energija luka kod njegova pretplaljenja može zbog vrlo brzog porasta struje tako brzo porasti da tlak može zaustaviti pomične kontakte. Neki proizvođači malouljnih prekidača stoga daju relativno niske dozvoljene vrijednosti amplitude uklopne struje i njezine brzine porasta, na primjer [5]:

za 10 kV $\hat{\imath} < 5$ kA $s < 63$ A/μs
za 20 kV $\hat{\imath} < 5$ kA $s < 31{,}5$ A/μs
za 30 kV $\hat{\imath} < 5$ kA $s < 16$ A/μs.

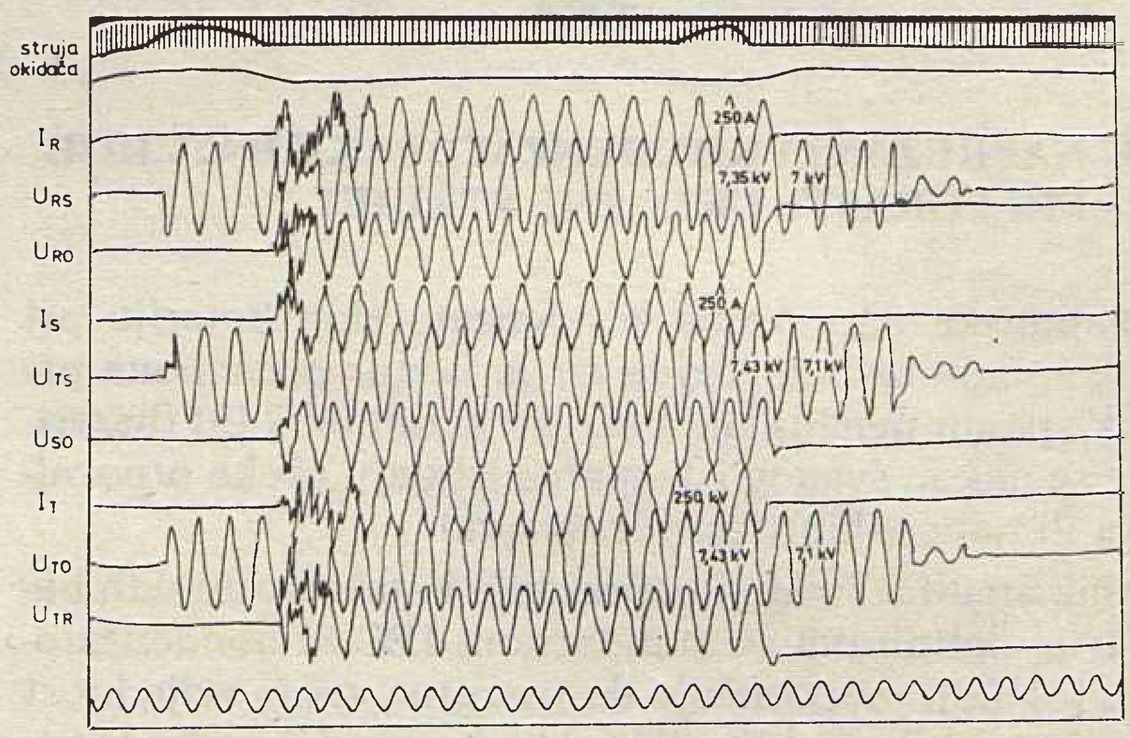
»Rade Končar« je do sada vršio samo ispitivanja sklapanja nerazdjelnih kondenzatorskih baterija nazivnih napona 7,2, 12, 24 i 38 kV s nazivnim strujama do 300 A. Pri tome su s malouljnim prekidačima iz serije M uspješno uklapane struje čija je amplituda i strmina porasta ponekad premašivala vrijednosti iz prije navedenih primjera. Točne vrijednosti teško se mogu otčitati (vidjeti za ilustraciju sliku 6) zbog toga što su oscilogrami podešeni prema nazivnoj kapacitivnoj struji kako bi se registrirala eventualna ponovna paljenja luka pri isklapanju.

U nedostatku ispitnih podataka za dozvoljene vrijednosti uklopnih struja malouljnih prekidača većih od $\hat{\imath} = 5$ kA i $s = 63$ A/μs projektanti su prisiljeni reducirati veće vrijednosti koje se redovito pojavljuju kod razdjelnih kondenzatorskih baterija ugradnjom odgovarajućih serijskih prigušnica kojima se smanjuje i amplituda i strmina porasta uklopne struje.

Prigušnice, međutim, poskupljuju postrojenje za kompenzaciju jalove snage ne samo s vlastitom cijenom, koja je značajna, već i s prostorom potrebnim za njihov smještaj.

6. SKLAPANJE KONDENZATORSKIH BATERIJA S VAKUUMSKIM SKLOPNIM APARATIMA

O prednostima primjene vakuumskih sklopnih aparata, osobito na mjestima gdje je nužna velika pouzdanost i trajnost, uz malo održavanje, bilo je dosada često pisano [7], [8], [9]. Visoka električna trajnost vakuumskih prekidača primijenjenih u postrojenjima za kompenzaciju jalove snage u kojima se sklapanje vrši svakodnevno samo je jedna od prednosti pred ostalim tehnikama. Zbog koncepcije kontakata (čeoni dodir) i visoke dielektrične karakteristike vakuumskih prekidnih komora vakuumskim sklopnim aparatima mogu se uklapati kapacitivne struje visokih amplituda i strmina porasta. Ispitivanja koja su obavljena kod inozemnih proizvođača [10] pokazala su npr. da su na nazivnom naponu 30 kV uspješno uklapane (po 500 puta) razdjelne baterije uz $f_j = 4{,}2$ kHz i $\hat{\imath} = 40$ kA ($s = 1\,000$ A/μs).



Slika 6. Oscilogram ciklusa sklapanja CO (uklop-isklop) nerazdjelne kondenzatorske baterije 12 kV, 250 A, s malouljnim prekidačem M12-20-8

Stoga je i »Rade Končar« u studiji [11] predložio da se sklapanje kondenzatorskih baterija na srednjonaponskoj strani provodi vakuumskim prekidačima. Razvojem vakuumskih sklopnih aparata u »Rade Končaru« zasada su riješeni sklopnici nazivnog napona 7,2 kV i prekidači nazivnog napona do 12 kV, a

dovršava se razvoj i vakuumskih prekidača nazivnog napona 38 kV. O rezultatima izvršenih ispitivanja ovih aparata bit će govora u posebnom radu.

7. ZAKLJUČCI

a) Osnovni izrazi za proračun amplitude i strmine porasta struje uklapanja razdjelne kondenzatorske baterije mogu se izvesti iz izraza koji vrijede za nerazdjelne baterije.

b) Kada se uzme u obzir da amplituda struje nabijanja kondenzatorske baterije mora biti ograničena na 100-struku vrijednost nazivne struje baterije, visina te amplitude kod razdjelnih baterija u praksi može biti nekoliko desetaka kiloampera, a frekvencija struje do 7 kHz. Ove vrijednosti mogu dovesti do značajnog naprezanja pojedinih prekidača (na primjer malouljnih prekidača), s kojima se vrši uklapanje kondenzatorskih baterija.

c) Dodatni troškovi za serijske prigušnice potrebne za smanjenje amplitude i strmine porasta uklopne struje u izgradnji postrojenja za kompenzaciju jalove snage s malouljnim prekidačima mogu se bitno reducirati primjenom vakuumskih sklopnih aparata.

d) Visoka električna trajnost vakuumskih sklopnih aparata, pouzdane karakteristike pri isklapanju kapacitivnih struja bez ponovnih paljenja luka, te malo potrebno održavanje aparata dodatni su argumenti koji idu u prilog vakuumskim sklopnim aparatima pri izboru opreme za sklapanje kondenzatorskih baterija.

LITERATURA

[1] Amendment to IEC Publication 56: High-voltage alternating current cirucit-breakers, in respect of capacitive current switching — 17A (Central Office) 156/1982.

[2] B. BELIN: »Uvod u teoriju električnih sklopnih aparata« Školska knjiga, Zagreb, 1978.

[3] T. NAUMOVSKI: »Sklopni prenaponi u električnim sistemima s raspodjeljenim parametrima«, JNK CIGRE, 1972, Referat 13. 3.

[4] I. NAUMOVSKI: »Izbor tehničkih karakteristika prekidača i rastavljača visokog napona u svjetlu novih IEC standarda i novih iskustava«, INK CIGRE, 1977, Referat 13. 1.

[5] R. ERIKSSON and R. KEARSLEY: »Circuit-breakers stresses when switching back-to-back capacitor banks«, Electra No 62, 1979.

[6] IEC 33 (Secretariat) 66, Third Draft-Revision of IEC Publication 70; Shunt capacitors for power systems

[7] I. ŠTAHAN, I. NAUMOVSKI: »Razvoj električnih sklopnih aparata s gašenjem luka u vakuumu«, Končar-Stručne informacije, 2-3, 1981.

[8] I. NAUMOVSKI: »Prekidne komore vakuumskih prekidača 7,2-38 kV — aspekti razvoja i konstrukcije«, JNK CIGRE 1983, Referat 13. 13.

[9] I. NAUMOVSKI: »Verifikacija pouzdanosti vakuumskih prekidnih komora«, Elektotehnika, Zagreb, 4-1983.

[10] P. HUHSE und E. ZIELKE: »Einschalten von Kondensatorbatterien mit Vakuum-Leisfungsschaltern 3AF«, Siemens-Energietechnik 3-1981.

[11] Studija — Transformatorska stanica 110/x kV Elektroprivrede Hrvatske, Knjiga I. Elektrotehnički institut »Rade Končar«, Zagreb, 1982.

CONDENSER SWITCHING ON CONDITIONS AND APPLICABLE SWITCHING APPARATUS CHOICE

In the article is given a review of condenser switching on conditions and their relations as well as electrical tension in case of separated condensers. Advantage and economic benefit for vacuum apparatus use for switching separated condensers is highlighted.

VERHÄLTNISSE BEIM EINSCHALTEN DER KONDENSATORBATERIEN UND DIE AUSWAHL GEEIGNETER SCHALTVORRICHTUNGEN

Es werden die Erscheinungen und ihre wichtigsten Verhältnisse beim Einschalten von Kondensatorbaterien sowie auch bei der Belastung der Schaltvorrichtungen beim Einschalten geteilter Kondensatorbaterien betrachtet.
Es wird auf die Vorteile und die Wirtschaftlichkeit der Anwendung der Vakuumapparate beim Einschalten geteilter Kondensatorbaterien hingewiesen.

ЯВЛЕНИЯ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ И ВЫБОР СПОДРУЧНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Приводится обзор явлений и их основных соотношений, сопутствующих включения конденсаторских батарей, а также нагрузок, сопутствующих коммутационными устройствами при включении многоступенчатых конденсаторных батарей. Указывается на преимущества и экономичност применения вакуумных устройств для переключений многоступенчатых конденсаторных батарей.

Naslov pisca:

Ivan Naumovski, dipl. ing.
Elektrotehnički institut »Rade Končar«, 41000 Zagreb
Baštijanova bb

Uredništvo primilo rukopis 1984-05-05.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

ELEKTRIČNO GRIJANJE STANOVA U FRANCUSKOJ

Prema statistikama EDF-a ukupni broj novih stanova porastao je u Francuskoj 1983. sa 364 870, prema 378 365 u 1982. Od toga je opremljeno električnim grijanjem u 1983. 219 006 stanova (60 %), prema 196 927 (52 %) u 1982.

Od postojećih pak stanova dobilo je električno grijanje 101 258 stanova od čega je u 77 781 od njih pojačana termička izolacija. To je 4,4 % više nego prethodne godine.

Treba dodati da je 34 321 stan opremljen uređajima za grijanje termopumpama.

R. G. E. 1984. br. 5 B.M.

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U EDF

Maksimalnį rok opterećenja u elektranama EDF u Francuskoj iznosio je 14. 12. 1983. 48 300 MW i nije prijeđen ni tokom prvih mjeseci 1984. Udio proizvodnje nuklearnih elektrana bio je 38,7 % u 1982, 48,3 % u 1983, a očekuje se da će biti 56 % u 1984. godini.

Ukupna je proizvodnja 1983. iznosila 126 000 GWh. Raspoloživost 27 agregata u nuklearnim elektranama u pogonu iznosila je 68 %. Neraspoloživost od 32 % imala je 20 % planiranih obustava i 12 % zbog kvarova.

R. G. E. 1984. br. 5 B. M.

SELO NA KORZICI OPSKRBLJENO SOLARNOM ENERGIJOM

Malo selo Cargese u brdima Korzike oko 5o km od Ajaccija ima odnedavna izgrađenu elektranu snage 44 kW. Električna se energija dobiva iz silicijske solarne baterije površine 3 000 m³. Za akumulaciju električne energije služe akumulatorske baterije. U slučaju slabe izolacije mreža se napaja iz uređaja na propan. Takve su instalacije predviđene za napajanje malih pastirskih naselja koja još nisu dobila električnu energiju

R. G. E. 1984. br. 5 B. M.

ENERGIJA U SSSR-u

Instalirana snaga sovjetskih elektrana iznosila je 1. siječnja 1984. 295 000 MW, a ukupna proizvodnja u 1983. 1 416 000 GWh. Za 1984. predviđen je porast proizvodnje za 3,5 %. Od toga će 136 500 GWh biti proizvedeno u nuklearnim elektranama. Snaga takvih elektrana povećava se godišnje za 6 000 MW, brojka koja će biti povećana na 10 000 MW godišnje. Krajem stoljeća nuklearne elektrane trebale bi proizvesti $1o^{12}$ kWh, što je 1975. bila ukupna sovjetska proizvodnja električne energije. Za sada je dominantna proizvodnja u klasičnim termoelektranama. Ona će se također povećati realizacijom velikih projekata izgradnje termoelektrana na bogatim ugljenim nalazištima Kazakstana (Ekibastus) i Sibirije, gdje rezerve prelaze 400 milijardi tona. Osim toga, u obzir dolazi i nafta i plin iz tjumenskog sibirskog područja. Uzimajući u obzir i gradnju hidroelektrana, godišnje investicije za energetiku doseći će enormnu svotu od 50 milijardi rubalja.

UDK 621.31

ENJAAC 33 (6)-(1984) 453-548

YU ISSN 0013-7448

energija

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

Godište 33 (1984) Zagreb 1984 Br. 6

Izdavači:

»Elektroprivreda«, Rijeka

»Elektroprivreda Dalmacije«, Split

SIZ za znanstveni rad SR Hrvatske

Elektra, Karlovac

Elektroslavonija, Osijek

Elektroistra, Pula

Elektroprimorje, Rijeka

Elektrodalmacija, Split

Elektra, Zagreb

Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos

Institut za elektroprivredu, Zagreb

IZDAVAČKI SAVJET

Dragutin *Stanić,* dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Združeno poduzeće, Split — Enco *Tirelli* i Boris *Simončić,* dipl ing. »Elektroprivreda« Rijeka — Josip *Brkljačić,* dipl. ing., HE Senj — Petar *Kuzele,* dipl. ing., »Elektra«, Zagreb — Ivo *Božin,* dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb — dr. Zorko *Cvetković,* Elektroprenos, Zagreb — Šimun *Šimundža,* dipl. ing., »Elektrodalmacija«, Split — Anđelko *Dujmović,* dipl. ing., »Elektroslavonija«, Osijek — »Elektroistra«, Pula — Branko *Mrakovčić,* dipl. ing., »Elektroprimorje«, Rijeka — Marko *Šimunović,* dipl. ing., »Elektra«, Karlovac

GLAVNI UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: Boris *Markovčić,* dipl. ing. — Urednik: Zdenka *Jelić,* dipl. fil. — Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar,* dipl. ing. — »Hidroelektrane«, Đuro *Hatić,* dipl. ing. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić,* dipl. ing. — Prijenos električne energije, Zorko *Cvetković,* dipl. ing., Zagreb — Josip *Nevešćanin,* dipl. ing., Split — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Tomislav *Balen,* dipl. ec., Jure *Šimović,* dipl. ec., Petar *Kuzele,* dipl. ing. — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«. — Tehnički urednik: Branko *Mališ.*

Redakcija završena 1984 — 11 — 01

SADRŽAJ

Granić G. — Alerić S.: Metoda valorizacije doprinosa konstantnih potrošača elektroenergetskom sistemu koji proizlazi iz njihove mogućnosti prilagođavanja potrebama sistema (Originalni znanstveni rad) 455

Vujević D. — Markovinović D.: Viši harmonički članovi u mreži SR Hrvatske (Originalni znanstveni rad) 465

Žutobradić S.: Uzemljenje zvjezdišta 10/20/kV mreža (Originalni znanstveni rad) 469

Krulc Z.: Specifični otpor tla. Geološko-geoelektrični presjeci tla (Originalni znanstveni rad) 477

Ćurković J. — Bradač V.: Radioaktivna tekuća ispuštanja iz nuklearnih elektrana PWR Tipa (Prethodno priopćenje) 483

Matanić D.: Tendencije razvoja svjetske kotlogradnje i odraz na izgradnju termoelektrana kod nas (Pregledni rad) 493

Tropin K. A.: Napajanje industrijskih preduzeća električnom energijom putem dubokog uvođenja vodova viših napona (Pregledni rad) 499

Markovčić B.: Razvoj i stanje kabelske tehnike visokog napona danas u svijetu (Pregledni rad) 505

Vijesti iz elektroprivrede 509

Nove knjige 513

Statistički pregled elektroprivrede SR Hrvatske 515

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 500 dinara, a za poduzeća i ustanove 2000 dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 200 dinara.

Za inozemstvo $ 80 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji. RO »Zrinski« TIZ Čakovec

SOUR

MONTING

ZAGREB n.sol.o.

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

METODA VALORIZACIJE DOPRINOSA KONSTANTNIH POTROŠAČA ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU KOJI PROIZLAZI IZ NJIHOVE MOGUĆNOSTI PRILAGOĐAVANJA POTREBAMA SISTEMA

dr Goran Granić — mr Slavko Alerić, Zagreb

UDK 621.311.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je opisana metoda koja omogućuje valorizaciju mogućnosti prilagođavanja rada konstantnih potrošača potrebama elektroenergetskog sistema. Prilagođavanje rada konstantnih potrošača potrebama sistema znači za konstantne potrošače rad s manjom sigurnošću snabdijevanja, odnosno za ostale potrošače rad s većom sigurnošću. Iz razlike pouzdanosti opskrbljivanja proizlazi i razlika u nadoknadama koje pojedine grupe potrošača trebaju platiti za preuzetu energiju.

Ključne riječi: konstantni potrošači, sigurnost napajanja, redukcije električne energije.

1. UVOD

Svaki potrošač preuzima energiju prema svojim potrebama, u količini i vremenskom rasporedu kako zahtijeva njegova tehnologija i organizacija rada. Direktna posljedica takvog rada, bez obzira na uvjetovanost i opravdanost vremenskog rasporeda preuzimanja energije od strane bilo kojeg potrošača, jesu troškovi u elektroenergetskom sistemu koji svaki potrošač treba nadoknaditi. Iz toga bi se moglo odrediti i osnovno pravilo tarifnog sistema: da svaki potrošač treba snositi troškove koje svojim načinom rada i mjestom preuzimanja energije izaziva u elektroenergetskom sistemu.

Troškovi rada sistema razlikuju se od sistema do sistema, jer ne postoje dva jednaka sistema po karakteristikama potrošnje električne energije, strukturi izvora, karakteristikama i potencijalnim mogućnostima izvora i ostalim specifičnostima sistema. Zbog toga se ne mogu preslikati odnosi iz jednog sistema u drugi sistem bez posebnih proračuna i kritičke analize. Za objektiviziranje utjecaja ponašanja pri korištenju preuzete energije korištena je metoda marginalne potrošnje i troškova, koja omogućuje da se simulira rad svakog potrošača i odrede posljedice takvog rada na potrebnu izgradnju i troškove proizvodnje sistema.

Izgradnja elektroenergetskog sistema ovisi o zahtjevima potrošača u pogledu sigurnosti opskrbe potrošača itd. i o mogućnostima društva. Sigurnost, a prema tome i izgradnja ovisi o spremnosti potrošača da udružuju sredstva za razvoj elektroenergetskog sistema, jer povećanje sigurnosti izaziva dodatne troškove u sistemu i dodatno opterećen preuzeti kWh. Ta zavisnost sigurnosti i troškova mogla bi se jednostavno izreći: veća sigurnost — skuplji kWh, odnosno manja sigurnost — jeftiniji kWh.

Diferenciranje sigurnosti opskrbe potrošača moguće je provesti u jednom elektroenergetskom sistemu tako da se u slučajevima kada se ne može zadovoljiti predviđena potrošnja svih potrošača reduciraju određene grupe potrošača i na taj način osigura sigurna dobava energije ostalim potrošačima. Kao što je već prije navedeno, diferenciranje u sigurnosti ima za posljedicu i diferenciranje u troškovima (naknadama) za preuzetu energiju.

Potrebe za diferenciranjem potrošača po sigurnosti opskrbe u funkciji je izgradnje sistema (ili potrebne izgradnje sistema). Budući se elektroenergetski sistem ne gradi za 100 % sigurnost, postoji određena vjerojatnost da se u određenim slučajevima potrošača neće u potpunosti osigurati dovoljna količina električne energije.

Najmanje dva razloga postoje da konstantni potrošači (karbid, ferolegure i elektroliza aluminija) imaju manju sigurnost opskrbe nego ostali potrošači. Prvi, što je potrošnja električne energije po jedinici proizvoda visoka i drugo što se radi o velikim potrošačima, pa je sama provedba redukcije vrlo jednostavna i efikasna.

Doprinos povećanju sigurnosti ostalim potrošačima računat je za slučaj kada u sistemu nedostaje snage i energije ili kada u sistemu nedostaje samo snaga. U prvom slučaju radi se o situaciji u sistemu kada zbog hidroloških prilika ili drugih nepredviđenih događaja u sistemu u dužem vremenskom razdoblju nedostaje snage i energije u sistemu, što se za ostale potrošače dijelom može nadomjestiti smanjenjem dobave energije konstantnim potrošačima.

Izlaz iz pogona konstantnih potrošača zbog nedostatka snage može biti planska ili nepredviđena ak-

tivnost. I jedna i druga aktivnost je u funkciji racionalnijeg pogona ili ostvarenja sigurnije opskrbe ostalih potrošača.

Prilagođavanjem rada konstantnih potrošača potrebama sistema povećava se sigurnost ostalim potrošačima, koja bi se mogla također osigurati dodatnom izgradnjom sistema. Ekvivalentiranjem energetskog doprinosa prilagođavanja rada konstantnih potrošača potrebama sistema s mogućim uštedama u izgradnji sistema za povećanu sigurnost opskrbe te valoriziranjem tog doprinosa u cjelokupnom sistemu troškova i naknada određeni su novi odnosi u naknadama koje trebaju pojedine kategorije potrošača snositi ovisno o načinu korištenja preuzete energije, mjestu preuzimanja i sigurnosti opskrbe.

2. VALORIZACIJA EFEKATA PRILAGOĐAVANJA KONSTANTNIH POTROŠAČA

Prilagođavanjem konstantnih potrošača, u okviru svojih mogućnosti, potrebama elektroenergetskog sistema ostvaruju se uštede u izgradnji sistema. Visina ušteda ovisi o karakteristikama elektroenergetskog sistema i samih konstantnih potrošača. Kroz uštede u izgradnji elektroenergetskog sistema određuje se doprinos konstantnih potrošača povećanjem sigurnosti opskrbe ostalih potrošača bez dodatne izgradnje elektroenergetskog sistema.

Po karakteru prilagođavanja, odnosno po efektima koji se žele ostvariti, mogu se razlikovati:

— prilagođavanje potrebama elektroenergetskog sistema zbog nedostatka snage
— prilagođavanje potrebama elektroenergetskog sistema zbog nedostatka snage i energije.

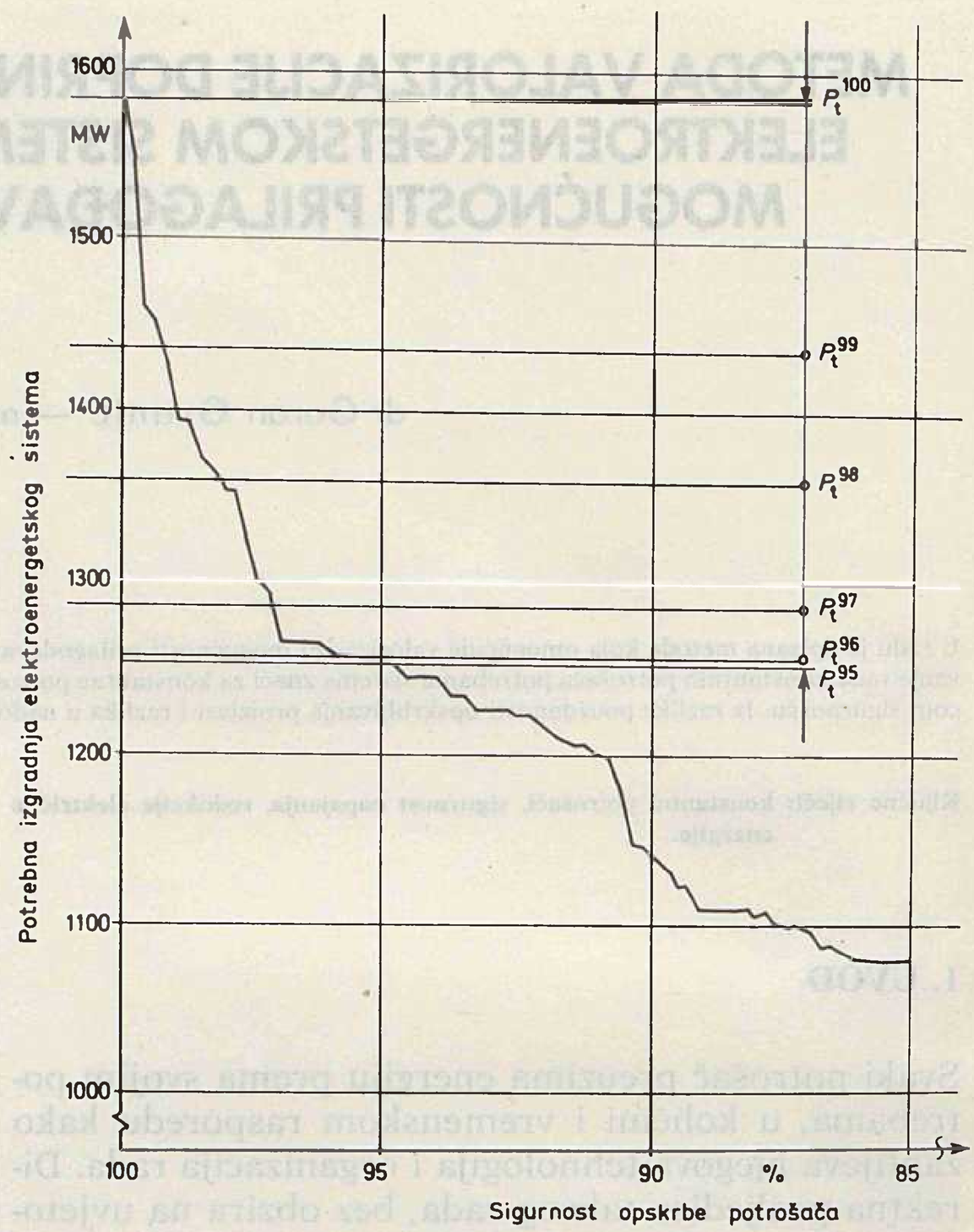
U prvom slučaju radi se o mogućnosti izlaska iz pogona kraće vrijeme (npr. 4 h) ako u špici opterećenja nedostaje snage.

Kod drugog slučaja riječ je o situacijama kada se zbog nepovoljnih hidroloških prilika ne može duže vrijeme zadovoljiti predviđena potrošnja, pa se izlaskom iz pogona konstantnih potrošača uspostavlja potrebna ravnoteža između potrošnje i proizvodnje.

2.1. Valorizacija prilagođavanja konstantnih potrošača zbog manjka snage i energije

Valorizacija efekata prilagođavanja konstantnih potrošača mogućnostima zadovoljenja predviđene potrošnje električne energije svodi se na izjednačavanje efekata prilagođavanja s jednakim energetskim doprinosom (efektima), koji bi se ostvario dodatnom izgradnjom elektroenergetskog sistema. Tako formulirane osnove metode detaljnije će se opisati u nastavku.

Da bi se utvrdile potrebe ostalih potrošača i zavisnost njihove sigurnosti o veličini izgradnje, potrebno je sagledati mogućnost zadovoljenja potrošnje i odrediti krivulju trajanja potrebnih snaga iz termoelektrana (sl. 1).



Slika 1.

Potrebna izgradnja za 95 % sigurnosti označena je sa P_t^{95}. Ako se promatra hidrološki model s 40 godina i 12 mjeseci, ukupno 480 mogućih slučajeva, onda kod 95 % sigurnosti opskrbe potrošača u 5 % slučajeva izgradnje elektroenergetskog sistema neće biti dovoljna da potpuno zadovolji predviđenu potrošnju.

Trajanje razdoblja smanjene isporuke ovisi o oscilacijama moguće proizvodnje hidroelektrana kako unutar 40-godišnjeg razdoblja, tako i unutar svake godine od promatranog 40-godišnjeg razdoblja. Granične vrijednosti su:

— trajanje od mjesec dana, i pojavljuje se u 24 godine
— trajanje od 12 mjeseci, i pojavljuje se u dvije godine koje su ekstremno nepovoljne u odnosu na ostale hidrološke godine.

U realnom sistemu broj godina u kojima se mogu pojaviti situacije kada se ne može zadovoljiti potrošnja najčešće ne prelazi broj 10, dok se situacija s trajanjem od 12 mjeseci pojavljuje jednom u 40 godina.

Za povećanje sigurnosti opskrbe ostalih potrošača potrebno je dodatno izgraditi sistem. Na primjer, za osiguranje 96 % sigurnosti potrebno je sistem izgraditi do snage označene s P_t^{96} (sl. 1). Razlika između snaga P_t^{95} i P_t^{96} predstavlja dodatnu izgradnju sistema kojom se osigurava povećana sigurnost opskrbe ostalih potrošača električnom energijom (96 %).

Ta dodatna izgradnja angažirat će se samo u onim razdobljima kada su potrebe za snagom veće od P_t^{95}, što znači u 24 slučaja.

Primjer reduciranih snaga za sigurnost 95 % i 96 % i dodatna izgradnja

	Reducirane snage MW		Dodatna izgradnja MW
	95 %	96 %	
1	331,7	327,5	4,2
2	295,5	291,3	4,2
3	209,3	205,1	4,2
4	197,4	193,2	4,2
5	174,6	170,4	4,2
6	141,5	137,3	4,2
7	141,3	137,1	4,2
8	119,9	115,7	4,2
9	114,0	109,7	4,2
10	103,1	98,9	4,2
11	102,2	98,0	4,2
12	66,1	61,9	4,2
13	49,9	45,7	4,2
14	39,9	35,7	4,2
15	12,4	8,2	4,2
16	12,0	7,8	4,2
17	12,0	7,7	4,2
18	10,1	5,9	4,2
19	7,9	3,7	4,2
20	5,5	1,3	4,2
21	3,8	—	3,8
22	3,5	—	3,5
23	2,1	—	2,1
24	0,0	—	0,0

U primjeru koji je naveden u prethodnoj tablici, da bi se povećala sigurnost opskrbe s 95 % na 96 %, potrebno je osigurati dodatnu izgradnju od 4,2 MW.

Jednaki takav efekt može se postići ako se u slučajevima kada nedostaje snage i energije u elektroenergetskom sistemu, umjesto dodatne izgradnje smanji isporuka energije u trajanju i iznosu koji odgovara potrebama za dodatnom izgradnjom sistema. Za ostale potrošače raspolaganje s energijom u kritičnim trenucima iz raspoloživih kapaciteta na teret smanjivanja potrošnje određene grupe potrošača, ili kroz osiguranje dodatne izgradnje, jednako je energetski prihvatljivo i pouzdano. Drugo je pitanje da li se konstantni potrošači i u kojoj mjeri mogu prilagoditi potrebama da njihovo relativno reduciranje može u potpunosti nadomjestiti dodatnu izgradnju elektroenergetskog sistema.

Svaki konstantni potrošač razlikuje se po tehnologiji, pa prema tome i prema mogućnostima prilagođavanja potrebama sistema. Ako pretpostavimo da je konstantni potrošač u potpunosti prilagodiv, što znači da se može reducirati u rasponu od 0 do njegove instalirane snage, onda on može jednako vrijedno nadomjestiti dodatnu izgradnju. Ograničenja u brzini izlaženja iz pogona, kao i tehnološki minimum koji postoji, ili neka druga ograničenja u pogledu izlaska samo mogu djelomično nadomjestiti dodatnu izgradnju, pa se kod takvih potrošača kvantificiraju samo stvarni efekti supstitucije dodatne izgradnje.

Daljnje pitanje je trajanje smanjene isporuke električne energije konstantnim potrošačima. Već je rečeno da trajanje može biti od mjesec dana do 12 mjeseci, već prema tome kakvi su odnosi u mogućoj proizvodnji unutar 40-godišnjeg hidrološkog razdoblja. Ako bi bila spremnost konstantnih potrošača da po potrebi obustave svoj rad i do godinu dana, onda bi ušteda u dodatnoj izgradnji sistema odgovarala njihovoj instaliranoj snazi. U slučaju ograničenog trajanja smanjene isporuke (kao što je bilo do sada u trajanju od 75 dana) efekti su znatno manji, odnosno primjerni trajanju ograničenja.

Kod ograničenog trajanja, ako bi se striktno primjenjivalo ograničenje trajanja da se unutar jedne godine potrošači mogu reducirati od 0 do x dana, uštede u izradnji (odnosno mogućnost supstitucije dodatne izgradnje prilagođavanjem potrebama) ne bi bile velike jer bi u određenim mjesecima ostali potrošači imali povećanu sigurnost, a ostali dio godine to ne bi imali. Zbog toga je bolje govoriti o godišnjem iznosu energije koja se može reducirati kod konstantnih potrošača u trajanju od 0 do 8 760 sati. U tom slučaju reducirat će se onaj dio snage koji je potreban, znatno manji od instaliranih kapaciteta, ali u dužem trajanju od ograničenja kojim je određena granična vrijednost energije koja se može reducirati u jednoj godini.

Ako je C kapacitet u MW konstantnih potrošača, a T_R trajanje redukcije s maksimalnom snagom u danima, onda se granična vrijednost reducirane energije može izračunati prema relaciji:

$$W_g = C \cdot T_R \cdot 24 \cdot 10^{-3} \text{ (GWh)}$$

Ista energija može se ostvariti sa smanjenom reduciranom snagom konstantnih potrošača C' i s dužim trajanjem razdoblja redukcija T'_R

$$W_g = C' \cdot T'_R \cdot 24 \cdot 10^{-3} \text{ (GWh)}$$

U krajnjem slučaju, ako bi redukcije trajale cijelu godinu (365 dana), onda bi se maksimalno mogla reducirati snaga konstantnih potrošača u iznosu

$$C \cdot \frac{T_R}{365}$$

Na primjer, za slučaj snage konstantnih potrošača od $C = 100$ MW i trajanja redukcije $T_R = 75$ dana, granična vrijednost reducirane energije iznosi $W_g = 180$ GWh. Kod trajanja redukcije od godinu dana može se reducirati kod konstantnih potrošača prosječna snaga od 20,5 MW (oko 1/5 snage).

U prethodnom primjeru za osiguranje 95 % sigurnosti potrebno je reducirati snagu konstantnih potrošača u trajanju od 4,2 MW. S ograničenjem redukcija maksimalne snage u trajanju od 75 dana, 96 % sigurnost opskrbe ostalih potrošača može osigurati konstantni potrošač od 20,4 MW.

2.2. Valorizacija konstantnih potrošača zbog manjka snage

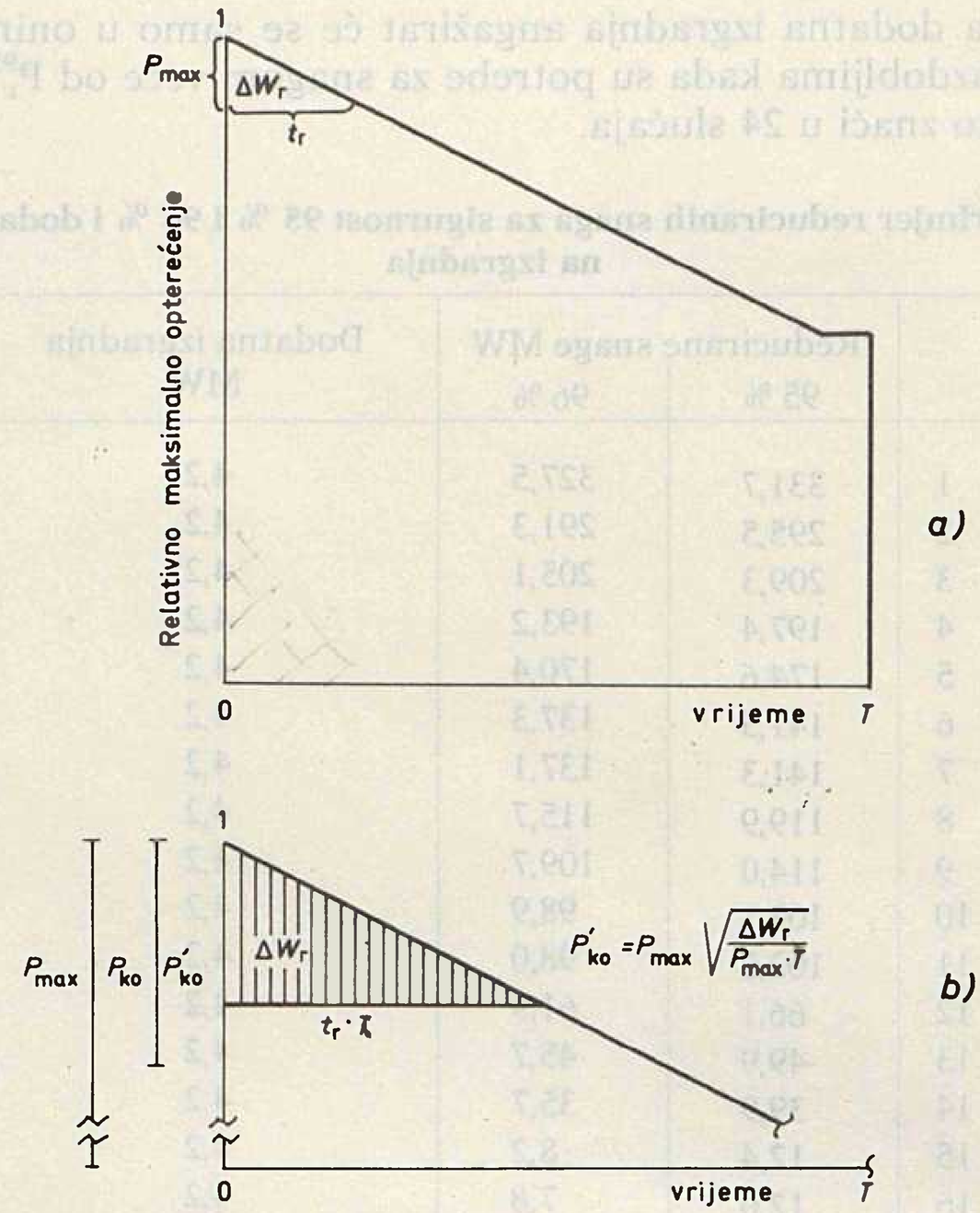
Nepovoljne hidrološke situacije izazivaju poremećaje u opskrbi potrošača električnom energijom, koji mogu, kako je već prije rečeno, trajati od mjesec do 12 mjeseci u godini. Prilagođavanjem rada konstantnih potrošača mogu se djelomično ili u potpunosti kompenzirati posljedice nepovoljne hidrologije i osigurati ostalim potrošačima veću sigurnost. Osim ovakvih poremećaja u proizvodnji mogu se pojaviti i neki drugi (npr. ispad velikog agregata, nagli porast potrošnje iznad predviđenih iznosa, problemi u prijenosu itd.) koji mogu na kratko vrijeme ugroziti stabilnost elektroenergetskog sistema i opskrbu potrošača. U takvim situacijama reduciranjem konstantnih potrošača može se uspostaviti tražena ravnoteža između proizvodnje i potrošnje, a da se pri tome ne izazovu štete u proizvodnji. Važno je pri tome da trajanje prekida bude u granicama koje dozvoljava tehnologija proizvodnje konstantnih potrošača.

Osim korištenja mogućnosti prilagođavanja konstantnih potrošača potrebama elektroenergetskog sistema u trenucima poremećaja u proizvodnji ili dobavi električne energije, mogu se također takve mogućnosti koristiti u razdoblju planiranja zadovoljenja potrošnje kako bi se utjecalo na visinu maksimalnog opterećenja i na način zadovoljenja predviđene potrošnje električne energije. Upravo ta karakteristika konstantnih potrošača, odnosno mogućnost racionalnijeg korištenja elektroenergetskog sistema, iskorištena je pri određivanju doprinosa prilagođavanja rada konstantnih potrošača potrebama sistema.

Potrošnja električne energije u toku dana ima vrlo čvrstu zakonitost potrošnje. Razlike u dijagramu opterećenja postoje po sezonama, ali unutar jedne sezone ili unutar jednog mjeseca te promjene u općoj zakonitosti dijagrama opterećenja ne postoje. Velika opterećenja pojavljuju se u očekivanim razdobljima dana (a njihovo trajanje oscilira od 2,4 pa i 6 sati dnevno, ovisno o sezonskom utjecaju ili nekim specifičnostima svakodnevne potrošnje. Da bi se u potpunosti razjasnila karakteristika pojave i trajanja velikih opterećenja, potrebno je napomenuti da se unutar jednog tjedna razlikuju maksimalna dnevna opterećenja, kako između samih radnih dana, tako između radnih i neradnih dana.

Spomenute karakteristike utječu na to da u mjesečnoj krivulji trajanja sama špica opterećenja kratko traje. Za analize je promatran oblik krivulje trajanja opterećenja kao na sl. 2. Krivulja trajanja opterećenja prikazana je u relativnom mjerilu, tako da se može primijeniti za bilo koji nivo potrošnje. U samoj špici na 10 % opterećenja (relativno maksimalno opterećenje $P_{max}=0{,}1$) otpada samo 1,5 % energije, tako da bi, ako bi se krivulja trajanja opterećenja podijelila na dva dijela, ovaj dio krivulje trajanja bio karakterističan po snazi, a drugi dio po energiji.

Prema tome, ako bi se u razdoblju velikih opterećenja reducirali konstantni potrošači na kratko vrijeme, smanjilo bi se maksimalno opterećenje koje trebaju zadovoljiti elektrane u sistemu. Manje maksimalno opterećenje omogućilo bi povoljniju raspodjelu opterećenja i manje angažiranje elektrane s visokim specifičnim troškovima.



Slika 2.

Ako bi se u postupku planiranja računalo s tim da se konstantni potrošači mogu reducirati određeni broj puta i u trajanju koje odgovara njihovim tehnološkim mogućnostima, potrebna izgradnja sistema bila bi manja nego kod nekorigirane potrošnje električne energije. Prilagođavanjem rada konstantnih potrošača potrebama sistema ostvaruju se uštede u izgradnji sistema, a visina ušteda ovisi o svim karakteristikama elektroenergetskog sistema (strukturi izvora, karakteristikama hidropotencijala, karakteristikama krivulje trajanja opterećenja, itd.).

U krivulji trajanja opterećenja postoji zakonitost između opterećenja (snage) i potrošnje (energije) tako da je, za reduciranje određene snage, potrebno reducirati i odgovarajuću energiju i obratno. Trajanjem prekida određena je energija koja će se reducirati. Korekcija opterećenja koje prema krivulji trajanja opterećenja odgovara reduciranoj energiji manja je ili jednaka instaliranoj snazi konstantnih potrošača.

Prema sl. 2. u razdoblju velikih opterećenja između relativnih vrijednosti maksimalnog opterećenja (dijela u samom vrhu) i trajanja opterećenja vrijedi odnos:

$$\frac{\Delta p_{max}}{t_r} \cong \frac{1}{2}$$

gdje je

Δp_{max} — dio maksimalnog opterećenja iskazan kao relativan broj

t_r — relativno trajanje opterećenja

Energija određena opterećenjem Δp_{max} i trajanjem t_r iznosi

$$\Delta w_r = \frac{1}{2} \cdot \Delta p_{max} \cdot t_r$$

i u apsolutnom iznosu:

$$\Delta W_r = \frac{1}{2} \cdot \Delta p_{max} \cdot t_r \cdot P_{max} \cdot T$$

gdje je

P_{max} — maksimalno opterećenje u odgovarajućem mjesecu,

T — trajanje vremenske jedinice (mjesec, 730 h).

Korigirana snaga, koja po krivulji trajanja odgovara reduciranoj energiji ΔW_r iz gornje relacije, može se izračunati:

$$p'_{ko} = \frac{2 \cdot \Delta W_r}{t_r \cdot T}$$

Ako se gornji izraz dopuni s omjerom relativnih opterećenja Δp_{max} i trajanja opterećenja t_r, dobije se konačno:

$$P'_{ko} = P_{max} \cdot \sqrt{\frac{\Delta W_r}{P_{max} \cdot T}}$$

Kako je vrijednost P_{max} od mjeseca do mjeseca različita, kao i od godine do godine, bez obzira na to što su vrijednosti T u svim varijantama jednake, a ΔW_r samo u nekim, korigirana vrijednost snage konstantnih potrošača razlikovat će se u svim slučajevima.

3. PRIMJER PRORAČUNA

Proračun je proveden za četiri nivoa potrošnje koje će se prema očekivanjima ostvariti: 1985, 1986, 1988. i 1990. godine. Kod simulacije prilika u elektroenergetskom sistemu računato je s elektranama koje su izgrađene, kao i s onim koje će u razdoblju do 1990. godine ući u pogon prema planiranom razvoju elektroprivrede Hrvatske (L6).

Od konstantnih potrošača promatrane su dvije grupe potrošača:

— potrošač A (elektroliza aluminija) kapaciteta 144 MW kojemu tehnologija omogućava da se brzo prilagodi potrebama sistema, pa je kao ograničenje potrebno uzeti brzinu izlaska iz pogona od 15,4 MW/mjesec
— potrošač B (karbid i ferolegure) kapaciteta 85 MW, koji nema nikakvih ograničenja u brzini izlaska iz pogona.

3.1. Analiza prilika u sistemu u slučaju manjka snage i energije

Doprinos konstantnih potrošača računat je da ograničenja isporuke električne energije mogu najviše trajati 75 dana sa 100 % kapaciteta kod potrošača B i 50 % kapaciteta kod potrošača A. Granična vrijednost reducirane energije iznosila bi za:

potrošača A	129,960 GWh
potrošača B	153,000 GWh

Manjak snage i energije za 95 % sigurnost opskrbe potrošača pojavljuje se u 24 hidrološka slučaja. U ovom primjeru to se događa u 6 ili 10 godina s trajanjem od 1 do 12 mjeseci. Frekvencija pojave prilika u sistemu kada se ne može zadovoljiti ukupna potrošnja sistema navedeno je u sljedećoj tablici:

Trajanje manjka	Frekvencija pojave manjka snage i energije u elektroenergetskom sistemu				
mjeseci	1985.	1986.	1988.	1990.	Prosjek
1	5	6	3	5	4,75
2	1	1			0,5
3	2	1	1	1	1,25
4		1		1	0,5
5			1		0,25
6					
7					
8					
9		1			0,25
10	1				0,25
11					
12			1	1	0,5

Najčešće se manjak snage pojavljuje u trajanju od 1 mjeseca. U svim promatranim godinama pojavio se je slučaj da u sistemu nedostaje snage i energije u trajanju od 9 i više mjeseci, što pokazuje da je i takva situacija moguća jednom u 40 godina.

Analiza provedena za četiri različita nivoa potrošnje je pokazala da se prilagođavanjem rada konstantnih potrošača potrebama sistema može osigurati veća sigurnost u opskrbi ostalih potrošača električnom energijom. U prosjeku se ta sigurnost kreće između 97 % i 98 %.

Uvažavajući sva ograničenja, redukcijom konstantnih potrošača moguće je ostvariti uštedu u izgradnji sistema u iznosu:

u 1985.	76,7 MW
u 1986.	74,8 MW
u 1988.	35,5 MW
u 1990.	54,2 MW

Prosječno to iznosi 60,3 MW (ušteda je izračunata prema raspoloživoj snazi termoelektrana).

Uštede u izgradnji ekvivalent su doprinosa prilagođavanja konstantnih potrošača potrebama ostalih potrošača u elektroenergetskom sistemu. Od godine do godine, pri tome se misli na hidrološke godine, smanjenje isporuke električne energije konstantnim potrošačima kreće se od 0 do graničnih vrijednosti određenih ograničenjem u trajanju redukcije maksimalne snage (75 dana). Kako je vjerojatnost da konstantni potrošači neće biti reducirani veća od vjerojatnosti da će biti reducirani, prosječna reducirana

energija znatno je manja od maksimalnih mogućih vrijednost reduciranih energija. Po promatranim godinama prosječna reducirana energija iznosi:

Godina	Prosječna redukcija GWh
1985.	24,9
1986.	24,2
1988.	19,6
1990.	19,4
Prosjek	22,0

U prosjek se za 40-godišnje razdoblje treba računati s redukcijama konstantnih potrošača oko 22,0 GWh, što u odnosu na graničnu vrijednost redukcija (282,960 GWh) iznosi oko 7,8 %, ili u trajanju oko 5,8 dana.

Zbog veće prilagodljivosti potrebama sistema potrošač B reduciran je više od potrošača A, tako da i uštede u izgradnji sistema, koje se mogu postići prilagođavanjem, većim dijelom pripadaju njemu, manjim djelom potrošaču A. U prosjeku po godinama konstantni potrošači su reducirani:

Godina	Prosječne godišnje redukcije					
	Potrošač B		Potrošač A		Ukupno	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%
1985.	16,3	65,5	8,6	34,5	24,9	100,0
1986.	15,8	65,3	8,4	34,7	24,2	100,0
1988.	13,1	66,8	6,5	33,2	19,6	100,0
1990.	13,2	68,0	6,2	32,0	19,4	100,0
Prosjek	14,6	66,4	7,4	33,6	22,0	100,0

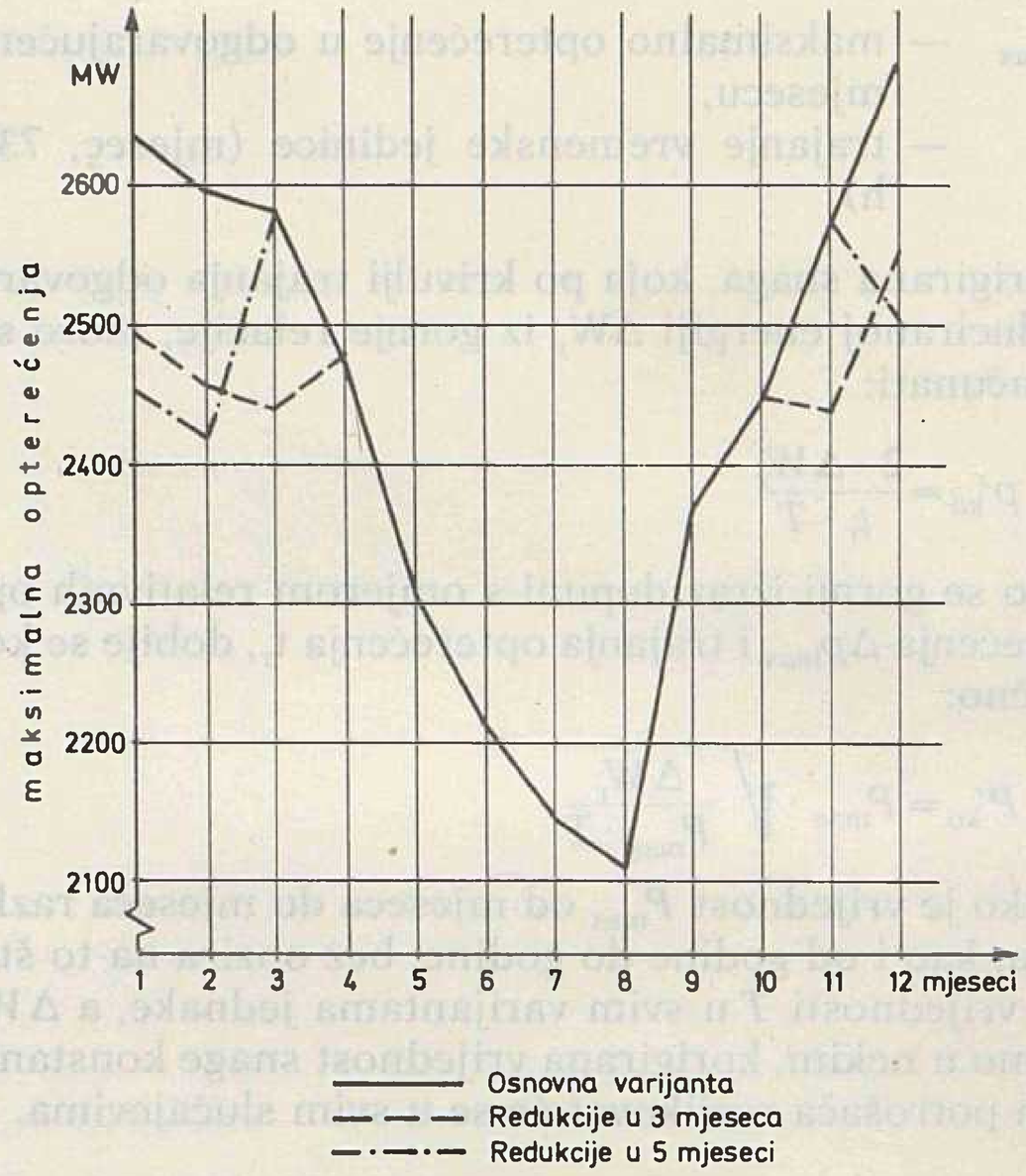
Od 22,0 GWh, koliko iznosi prosjek ukupno reducirane energije za 4 godine, 14,6 GWh otpada na potrošača B, a 7,4 na potrošača A. U postotku to za potrošača B iznosi 66,4 %, odnosno za potrošača A 33,6 %.

Ako bi se prosječne redukcije postavile u odnos s graničnim vrijednostima reducirane energije, onda za potrošača B to iznosi 0,5 %, a za potrošača A 5,7 %.

Uštede u izgradnji sistema rezultat su prilagođavanja potrebama, što znači da na potrošača B, zato što su više reducirani, otpada i veći dio ušteda. Promjenom postotaka za reduciranu energiju uštede u izgradnji sistema ostvarene redukcijom potrošača B iznosi 40,0 MW (60,3 MW × 66,4 %), a potrošač A 20,3 MW (60,3 MW × 33,6 %).

3.2. Analiza prilika u sistemu u slučaju manjka snage

Analiza prilika rađena je na temelju ograničenja da broj izlazaka u godini iznosi 30 puta. Da bi se mogla izvršiti valorizacija efekata izlazaka iz pogona, pretpostavljeni su mjeseci kada će se dogoditi ti izlasci iz pogona. Kriterij za odabiranje mjeseci bio je visina maksimalnog opterećenja. Tako su promatrane dvije varijante koje se međusobno razlikuju po broju mjeseci u kojima će se dogoditi izlasci iz pogona. U jednoj varijanti redukcije konstantnih potrošača skoncentrirane su u 3 mjeseca (I, II i XII) sa 10 izlazaka iz pogona po mjesecu, a u drugoj varijanti obuhvaćeno je 5 mjeseci (I, II, III, XI i XII7 sa 6 izlazaka iz pogona mjesečno (slika 3).



Slika 3.

Za varijantu sa 2 h trajanja prekida po jednom izlasku iz pogona i sa 10 izlazaka po mjesecu, mjesečno reducirana energija iznosi 4 588 GWh, a sa 6 izlazaka po mjesecu 2 753 GWh.

S dužim trajanjem prekida, dvostruko dužim trajanjem, reducirana energija se povećava, pa za 4 h trajanja prekida po izlasku i za 10 izlazaka iznosi 9 176 GWh, a za 6 izlazaka po mjesecu 5 306 GWh.

Ukupno instalirana snaga konstantnih potrošača iznosi 229,4 MW. S dva sata izlaska iz pogona skoncentrirana u tri mjeseca u 1985. godini smanjuje se opterećenje u prosjeku oko 121,3 MW (52,9 % od kapaciteta konstantnih potrošača), a u 1990. oko 133,9 MW (58,4 %). Porast je rezultat očekivanog većeg maksimalnog opterećenja u 1990. godini. Sa 4 sata izlaska iz pogona korekcija maksimalnog opterećenja nije proporcionalna trajanju. Tako da se za dvostruko trajanje prekida korigira snaga P'_{ko} povećava za 50,2 MW ili 41,4 % u 1985. godini. U 1990. godini povećanje iznosi 55,5 MW.

Veći broj mjeseci u kojima se pretpostavlja da će se koristiti mogućnost reduciranja konstantnih potrošača ima za posljedicu manji broj slučajeva izlaska iz pogona, pa je energija koja se reducira (W_r) manja. Rezultat toga su manje korekcije snage, tako da za 2 sata trajanja prekida u 1985. godini korekcija snage iznosi 93,5 MW, a u 1990. 103,2 MW. S 4 sata

trajanja prekida korekcija snage je nešto veća i u 1985. iznosi 132,2 MW, a u 1990. godini 146,0 MW.

Redukcijom konstantnih potrošača 30 puta godišnje u trajanju svaki put 2 h smanjuje se potrošnja za 13 764 GWh, odnosno za 4 sata prekida 27 528 GWh.

Varijanta s tri mjeseca

Potrebna izgradnja sistema, za jednaku strukturu izvora i traženu sigurnost opskrbe potrošača (95 %), u funkciji je karakteristika potrošnje. Niže maksimalno opterećenje, korigirano za efekte redukcije konstantnih potrošača, i donekle manja potrošnja povoljnije su okolnosti za zadovoljenje predviđene potrošnje. Rezultat toga je da je uz takve pretpostavke a uz istu sigurnost potrebno manje izgraditi sistem. Drugim riječima, prilagođavanjem rada konstantnih potrošača potrebama sistema ostvaruju se uštede u izgradnji sistema, odnosno s nižom izgradnjom sistema ostalim potrošačima osigurava se jednaka sigurnost opskrbe. Uštede u izgradnji sistema u varijanti s planiranim izlascima iz pogona u 1, 2. i 12. mjesecu iznose:

Godina	Uštede u izgradnji MW	
	2 h	4 h
1985.	7,4	10,4
1986.	13,8	20,0
1988.	4,0	6,0
1990.	6,8	8,3
Prosjek	8,0	11,1

Korekcija maksimalnih opterećenja po godinama različito se reflektira na ostvarene uštede u sistemu. Iako se korekcija snage od 1985. na 1990. godinu povećava, iz rezultata uštede takva zakonitost se ne može utvrditi, što znači da su odnosi u sistemu imali veći utjecaj od same korekcije maksimalnih opterećenja.

Od prosječne uštede od 11,1 MW (izražena u raspoloživoj snazi termoelektrana) s trajanjem prekida od 4 h, s dvostruko kraćim trajanjem prekida ostvaruje se 72,1 % ušteda. Iz toga bi se moglo zaključiti da je djelotvornost izlazaka s trajanjem od 2 h znatno veća nego s trajanjem prekida od 4 sata.

Ušteda od 11,1 MW svega je oko 6,2 % prosječne korekcije maksimalnih opterećenja, a 4,8 % instalirane snage konstantnih potrošača. Takva relativno mala ušteda u izgradnji sistema posljedica je strukture izvora u elektroenergetskom sistemu SRH. Budući da glavninu potencijala hidroelektrana čine hidroelektrane snage (elektrane visoke instalirane snage i velike mogućnosti prilagođavanja svoga rada potrebama sistema), problem zadovoljenja potrošnje u pitanju snage nije velik. U prosjeku ima neiskorištene snage od 300 do 500 MW, pa uz takve karakteristike sistema uštede u izgradnji kod samog reduciranja snage ne mogu biti velike.

Manja izgradnja sistema ima za posljedicu promjene u raspodjeli opterećenja i bolje iskorištenje hidropotencijala. Rezultat toga je smanjenje proizvodnje termoelektrana u većem iznosu nego što su to redukcije.

Godine	Smanjenje proiz. TE – GWh	
	2 h	4 h
1985.	16,4	34,5
1986.	16,4	32,7
1988.	15,9	28,8
1990.	15,4	26,7
Prosjek	16,0	30,7

Za varijantu s_C 2 h pored reducirane energije proizvodnja termoelektrana u prosjeku se smanjila za 2,2 GWh, a u varijanti s dužim trajanjem prekida za 3,2 GWh.

Varijanta s 5 mjeseci

U varijanti s tri mjeseca pretpostavljeni su mogući izlasci iz pogona konstantnih potrošača u 1, 2. i 12. mjesecu. Korekcija maksimalnih opterećenja u tim mjesecima imala je za posljedicu da su maksimalna opterećenja u ožujku i studenom postala veća nego u mjesecima u kojima je izvršena korekcija (sl. 3).

S većim brojem mjeseci postiže se ravnomjernije smanjivanje maksimalnih opterećenja, bliže prirodnoj zakonitosti sezonskih promjena maksimalnih opterećenja.

Valorizacija doprinosa prilagođavanja rada konstantnih potrošača izvršenje preko usporedbe potrebne izgradnje sistema za slučaj sa i bez korekcije maksimalnih opterećenja i ukupnih potrošnji električne energije. Po godinama su ostvarene uštede:

Godina	Uštede u izgradnji sistema MW	
	2 h	4 h
1985.	9,5	13,2
1986.	17,1	20,2
1988.	12,4	15,6
1990.	10,5	14,0
Prosjek	12,4	15,8

U razdoblju 1985 – 1990. nema zakonitosti u promjenama vrijednosti ušteda, pa se prosječna vrijednost ušteda može uzeti kao reprezentativna vrijednost za sve daljnje analize.

Prosječna ušteda za 4 h trajanja prekida iznosi 15,8 MW, a za 2 sata trajanja prekida 12,4 MW, ili 78,5 % uštede za dvostruko duže trajanje prekida.

U odnosu na instaliranu snagu konstantnih potrošača uštede u izgradnji sistema iznose 6,9 %, odnosno 5,4 %.

Osim smanjenja proizvodnje termoelektrana zbog redukcije konstantnih potrošača (13,764 GWh za 2 sata i 27,528 GWh za 4 sata), kod manje izgradnje sistema povoljniji su uvjeti za bolje iskorištenje moguće proizvodnje hidroelektrana. Rezultat toga je veće smanjenje potrebne proizvodnje termoelektrana nego što iznosi reducirana energija konstantnih potrošača.

Godina	Smanjenje proizvodnje TE — GWh	
	2 h	4 h
1985.	19,1	36,9
1986.	17,3	31,3
1988.	18,0	31,9
1990.	14,4	28,9
Prosjek	17,2	32,3

Dodatno smanjenje proizvodnje termoelektrana u varijanti sa 2 h iznosi 3,436 GWh, a u varijanti sa 4 sata 4,772 GWh.

Procjena doprinosa prilagođavanja rada konstantnih potrošača zbog manjka snage u sistemu

U dvije obrađene varijante veći energetski doprinos ostvaren je u varijanti sa 5 mjeseci (planiranje izlazaka iz pogona u 1, 2, 3, 11. i 12. mjesecu). To je i razumljivo jer su u toj varijanti ravnomjernije korigirana maksimalna opterećenja, što se je pokazalo efikasnije. Energetski doprinos ostvaren u varijanti s pet mjeseci može se, prema tome, smatrati kao mjerodavni energetski doprinos prilagođavanja rada konstantnih potrošača potrebama sistema u kriznim situacijama kada sistemu nedostaje snage.

Ostaje otvoreno pitanje doprinosa pojedine grupe konstantnih potrošača ukupnom energetskom doprinosu. Tehničke karakteristike konstantnih potrošača omogućuju izlazak iz pogona u trajanju do 4 sata bez šteta, pa kako nema posebnih ograničenja kod nijedne grupe potrošača, oni ravnopravno pridonose racionalnijem korištenju elektroenergetskog sistema. Raspodjela doprinosa može se izvršiti prema kapacitetu (MW) svakoga konstantnog potrošača.

	Uštede u izgradnji MW		Smanjenje proiz. TE — GWh	
	2 h	4 h	2 h	4 h
Potrošač A	7,8	9,9	10,8	20,3
Potrošač B	4,6	5,9	6,4	12,0
Ukupno	12,4	15,8	17,2	32,3

Kako tehničke mogućnosti dozvoljavaju izlazak iz pogona do 4 sata, energetski doprinos iz varijante do 4 sata će se koristiti kao mjerodavni doprinos u daljnjim analizama.

3.3. Ukupni energetski doprinos prilagođavanja rada konstantnih potrošača potrebama sistema

Konstantni potrošači svojim ponašanjem, odnosno svojim prilagođavanjem potrebama sistema mogu potpomoći racionalnijem korištenju izgrađenog sistema ili racionalnijoj izgradnji elektroenergetskog sistema. U prethodnom dijelu ovog poglavlja izračunati su energetski doprinosi prilagođavanja rada konstantnih potrošača potrebama sistema u kriznim situacijama kada:

— sistemu nedostaje snage i energije
— sistemu nedostaje snage.

Proračun doprinosa obavljen je uz ponavljanje određenih ograničenja koja proizlaze iz mogućnosti (i spremnosti) prilagođavanja i tehničkih karakteristika konstantnih potrošača. Tako je uzeto da maksimalno trajanje ograničenja s instaliranom snagom (iz čega onda proizlazi granični iznos reducirane energije) može trajati do 75 dana. Zbog tehničkih ograničenja brzine izlaska iz pogona potrošača A računato je prioritetnim izlaskom potrošača B iz pogona, a tek nakon toga potrošača A, vodeći pri tome računa o ograničenju brzine izlaska. Za obustave pogona zbog manjka snage u sistemu računato je s trajanjem prekida pogona od 4 sata.

Imajući na umu sva prije spomenuta ograničenja i prioritete kod određivanja redoslijeda izlaska iz pogona, ostvarene su uštede u izgradnji sistema:

	Uštede u izgradnji sistema — MW		
	Manjak energ. i snage	Manjak snage	Ukupno
Potrošač A	20,3	9,9	30,2
Potrošač B	49,0	5,9	45,9
Ukupno	60,3	15,8	76,1

U usporedbi s kapacitetom konstantnih potrošača (MW) ostvarene uštede iznose 33,2%. Iz već prije spomenutog razloga za priorite izlaska iz pogona, udio u uštedama u izgradnji različit je po grupama potrošača. Potrošaču A pripada 39,6% ušteda što čini 62,9% kapaciteta, a potrošaču B 60,4% ušteda s 37,1% kapaciteta. Takav rezultat kod aluminija posljedica je ograničenja u brzini prilagođavanja potrebama i ograničenom dijelu kapaciteta koji se može reducirati (50%) kad u sistemu manjka snage i energije.

Redukcijom konstantnih potrošača smanjuju se potrebe u energiji koje treba zadovoljiti. Kako se kod određivanja najpovoljnijeg načina zadovoljenja nastoji što više iskoristiti moguća proizvodnja hidroelektrana, manja potrošnja znači automatski i manju proizvodnju termoelektrana, a prema tome i manje troškove u sistemu. Prosječno smanjenje proizvodnje termoelektrana po oba načina prilagođavanja rada konstatnih potrošača iznosi:

	Smanjenje proizvodnje TE — GWh		
	Manjak snage i ener.	Manjak snage	Ukupno
Potrošač A	7,4	20,3	27,7
Potrošač B	14,6	12,0	26,6
Ukupno	22,0	32,3	54,3

Od 54,3 GWh, koliko iznosi prosječno smanjenje proizvodnje termoelektrana, na potrošača A otpada 51%, a potrošača B 49%.

Smanjenje proizvodnje termoelektrana može se smatrati (s malom pogreškom) i prosječnim opsegom redukcije u jednoj godini. U usporedbi s mogućom potrošnjom koju bi konstatni potrošači ostvarili sa 8 760 sati korištenja, smanjenje potrošnje iznosi za sve konstantne potrošače 2,7%. Po grupama potrošača taj postotak nešto se razlikuje i za potrošača B iznosi 3,5%, a za potrošača A 2,2%.

4. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Sadašnji elektroenergetski trenutak u SRH specifičan je po mnogo čemu u odnosu na prilike u ostalim sistemima republika i pokrajina. Od bitnih karakteristika sistema, po kojima se razlikuje od ostalih, mogu se izdvojiti dvije:

— velika zavisnost sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom o raspoloživosti tekućeg goriva, i
— veliki udio u ukupnoj potrošnji električne energije otpada na konstantne potrošače čiji su troškovi za električnu energiju značajni u troškovima proizvoda (elektroliza aluminija, elektropeći za ferolegure i karbid itd.).

Na području SRH izgrađeno je oko 1 100 MW termoelektrana (i toplana) na tekuće gorivo. Zbog teškoća oko uvoza nafte u posljednjih nekoliko godina proizvodnja termoelektrana na tekuće gorivo, bez koje se ne može zamisliti elektroenergetska bilanca, je nesigurna. Ne samo po količini proizvodnje koju trebaju spomenute termoelektrane proizvesti, već i po dinamici u toku godine. Ako se napomene da su u razdoblju srpanj, kolovoz 1983. godine termoelektrane na tekuće gorivo radile u »protočnom« radu, s osiguranjem dnevnih količina goriva, bez ikakvih rezervi, onda se može zamisliti s kolikom se je nesigurnošću zadovoljavala potrošnja.

Nesigurnost u opskrbi potrošača višestruko se povećava zbog neizvjesnosti proizvodnje hidroelektrana, pa se pod istodobnim djelovanjem i jednog i drugog utjecajnog faktora vrlo teško može govoriti o sigurnosti opskrbe potrošača koja omogućava redovnu dobavu energije, makar bi se po izgrađenosti proizvodnih kapaciteta mogla očekivati 100%-tna sigurnost opskrbe potrošača.

Druga je karakteristika, kako je već spomenuto, da se značajan dio potrošnje ostvaruje kod potrošača koji imaju slabije iskorištenje električne energije. Pri tome se misli da potrošači koji imaju veliki udio troškova u električnoj energiji po jedinici proizvoda, imaju slabije iskorištenje električne energije. S jedne strane, takvi potrošači znatno opterećuju i onako napregnutu elektroenergetsku bilancu, a s druge strane takvi potrošači, zbog mogućnosti prilagođavanja potrebama sistema, mogu efikasno pridonijeti povećanju sigurnosti opskrbe ostalih potrošača.

Status svakog potrošača u elektroenergetskom sistemu ovisi o prilikama u elektroenergetskom sistemu. U normalnim uvjetima, kad su prilike u sistemu takve da se može zadovoljiti predviđena potrošnja, svi potrošači su ravnopravni i treba im se osigurati opskrba po količini i karakteristikama prema energetskoj suglasnosti. Naravno, potrošač mora nadoknaditi troškove koje izaziva svojim radom.

Kada su prilike takve da se ne može osigurati zadovoljenje predviđene potrošnje zbog hidrologije, nedostatka goriva ili većih kvarova na proizvodnim postrojenjima, nije društveno opravdano sve potrošače postaviti u jednak položaj. Naime, električna energija ne koristi se s jednakom efikasnošću u svim privrednim organizacijama, iako je ona jednako bitna i potrebna za odvijanje proizvodnje u svakoj organizaciji. Štete zbog neisporučene energije u funkciji su udjela troškova električne energije u ukupnim troškovima proizvoda, pa tamo gdje je udio najmanji, štete su najveće, i obrnuto. Takva društvena valorizacija statusa svakog potrošača u elektroenergetskom sistemu nameće potrebu diferenciranja sigurnosti opskrbe između pojedinih kategorija potrošača.

Sigurnost opskrbe potrošača u uskoj je vezi s potrebnom izgradnjom elektroenergetskog sistema. Veća sigurnost znači i veću izgradnju sistema i veće troškove za jednaku količinu isporučene energije. Diferenciranje sigurnosti opskrbe između pojedinih kategorija potrošača mora naći odjeka kod određivanja naknada za isporučenu energiju, po principu da onaj potrošač koji ima manju sigurnost treba snositi manje troškove za preuzetu energiju, i obrnuto.

U uvjetima redovne opskrbe električnom energijom, kada su svi potrošači ravnopravni u preuzimanju energije iz mreže, svaki potrošač mora snositi troškove koje svojim načinom korištenja i mjestom preuzimanja izaziva. To znači da se naknada mora razlikovati s obzirom na naponski nivo na koji je potrošač priključen i trajanje iskorištenja maksimalne snage. Najmanje troškove svojim radom izazivaju potrošači na naponu 110 kV koji kontinuirano preuzimaju energiju tijekom godine. U odnosu na njih ostali potrošači izazivaju veće troškove, pa im i naknada za preuzetu energiju treba biti veća.

U tablici (464. str.) su navedeni relativni odnosi naknada (rezultati preuzeti iz L8) za preuzetu energiju pod pretpostavkom da su potrošači ravnopravni u svim prilikama u elektroenergetskom sistemu. Potrošači koji imaju manju sigurnost opskrbe, odnosno oni koji svoj rad prilagođavaju potrebama sistema izazivaju manje troškove u sistemu, pa bi trebale prema tome i njihove naknade za preuzetu energiju biti

Iskorištenje h/god	Relativni odnosi naknada			
	110 kV	35 kV	10 kV	0,4 kV
2000.	1,92	2,17	1,82	4,44
2500.	1,75	1,98	2,58	4,06
3000.	1,61	1,82	2,37	3,77
3500.	1,48	1,67	2,18	3,43
4000.	1,36	1,54	2,01	3,17
4500.	1,27	1,43	1,86	2,94
5000.	1,18	1,33	1,75	2,74
5500.	1,12	1,25	1,65	2,59
6000.	1,07	1,20	1,57	2,45
6500.	1,04	1,17	1,51	2,36
7000.	1,02	1,14	1,49	2,32
8760.	1,00	1,12	1,44	2,23

niže nego kod ostalih potrošača iz iste grupe. O opsegu prilagođavanja ovisi energetski doprinos konstantnih potrošača poboljšanju prilika i uvjeta opskrbljivanja ostalih potrošača.

Primjenom iste metodologije kao u L8 određeni su relativni tarifni stavovi za konstantne potrošače koji svoj rad prilagođavaju potrebama sistema. Ako konstantni potrošač na 110 kV ima relativni tarifni stav u iznosu 1, onda konstantni potrošač A (kod kojega je pretpostavljena manja fleksibilnost prilagođavanja) treba imati tarifni stav u iznosu 0,927, a konstantni potrošač B tarifni stav u iznosu 0,813.

Bitno je napomenuti da razlike u tarifnim stavovima između potrošača A i B i ostalih potrošača na 110 kV ne mogu imati karakter popusta (kao što se to tako često tumači), jer te razlike proizlaze iz stvarnog doprinosa prilagođavanja rada tih potrošača potrebama sistema.

Relativni tarifni stavovi, navedeni u prethodnoj tablici, rezultat su strukture troškova s kojima su provedeni proračuni. Promjena strukture troškova (stalni: promjenljivi ili stalni po djelatnostima) može izazvati promjenu relativnih tarifnih stavova, kako po naponskim nivoima, tako i po vremenu trajanja.

LITERATURA

[1] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima«, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd, 1966.

[2] H. POŽAR, V. FILIPOVIĆ, P. BODLOVIĆ: »Osnovna načela i metode za vrednovanje električne energije«, JUGEL, Beograd, 1971.

[3] H. POŽAR, B. TOCIGL, B. UDOVIČIĆ, Z. FRAJMAN, N. KOMERIČKI: »Osnovni principi tarifnog sistema za predaju električne energije«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1979.

[4] H. POŽAR, S. ALERIĆ, N. KOMERIČKI, I. POSAVEC: »Osnove za tarifni sistem u elektroenergetskom sistemu Srbije bez pokrajina (I faza)«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

[5] B. UDOVIČIĆ, N. BILČAR, G. GRANIĆ, S. ALERIĆ, N. KOMERIČKI: »Elektroenergetske podloge za Samoupravni sporazum o osnovama razvoja elektroprivrede 1981.—1985. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.

[6] B. UDOVIČIĆ, N. BILČAR, G. GRANIĆ, S. ALERIĆ, N. KOMERIČKI: »Optimalna struktura proizvodnje električne energije do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.

[7] B. UDOVIČIĆ: »Elektroenergetika«, Školska knjiga, Zagreb, 1983.

[8] G. GRANIĆ, B. UDOVIČIĆ, S. ALERIĆ, N. BILČAR, Z. FRAJMAN, M. ZELJKO: »Izgradnja tarifnog sistema u elektroprivredi Hrvatske«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.

[9] G. GRANIĆ, B. UDOVIČIĆ, N. BILČAR, S. ALERIĆ, M. ZELJKO, N. KOMERIČKI, M. MORIĆ, I. POSAVEC: »Prilagođavanje rada specijalnih potrošača mogućnostima elektroenergetskog sistema i efekti takvog rada«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.

METHOD FOR VALORIZATION OF BASIC CONSUMERS YIELD TO ELECTRIC POWER SYSTEM DUE TO THEIR POSSIBILITY TO ADOPT TO SYSTEM REQUIREMENT

In the article is presented a method for calculation of possible basic consumers adapting work to requirements of electric power system. Adapting of basic consumers means for them work with lower possibility for power supply, otherways greater possibility for other consumers.

Differences in possibility for power supply results in differences for compensations that some groups of consumers have to pay for supplied power.

METHODE DER BEWERTUNG DER BEITRÄGE KONSTANTER VERBRAUCHER IM ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEM DER AUS IHRER MÖGLICHKEIT DER ANPASSUNG AN DIE SYSTEMBEDURFNISSE HERVORGEHT

In der Arbeit wurde die Methode beschrieben die Bewertung der Möglichkeit der Anpassung an die Systembedürfnisse des elektroenergetischen Systems ermöglicht. Die Anpassung der Arbeit der konstanten Verbraucher an die Bedürfnisse des Systems bedeutet für die konstanten Verbraucher die Arbeit mit einer geringeren Versorgungsmöglichkeit bzw. für die übrigen Verbraucher eine Arbeit mit grösserer Sicherheit. Aus der Zuverlässigkeitsdifferenz der Versorgung geht auch die Differenz in den Nachholungen die verschiedene Verbrauchergruppen für die übernommene Energie bezahlen müssen, hervor.

МЕТОД ВАЛОРИЗАЦИИ ВКЛАДА ПОСТОЯННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ, ВЫТЕКАЮЩИЙ ИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ ЕГО НУЖДАМ

В работе описан метод, позволяющий валоризировать возможность приспособляемости работы постоянных потребителей нуждам энергосистемы. Эта приспособляемость представляет для постоянных потребителей работи с меньшей надежностью электроснабжения, а для прочих потребителей — работи с большей надежностяю. Из различия энергоснабжения проистекает и различие в требуеных взносах отдельных групп потребителей за потребляемую энергию.

Naslov pisaca:

dr Goran Granić, dipl. ing.
mr Slavko Alerić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb,
Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis 1984—06—30.

VIŠI HARMONIČKI ČLANOVI U MREŽI SR HRVATSKE

dr Dušan Vujević — mr Dragutin Markovinović, Zagreb

UDK 621.3.09 : 621.316.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Veća uporaba poluvodičkih elemenata u industriji, prometu i širokoj potrošnji uzrokovala je porast amplituda viših harmoničkih članova u struji i naponu. Viši harmonički članovi mogu, medu ostalim, utjecati na pogreške mjerenja energije. Zbog toga su provedena mjerenja amplituda viših harmoničkih članova na obračunskim mjernim mjestima diljem SR Hrvatske. Sažeti podaci mjerenja dani su u ovom članku.

Ključne riječi: viši harmonici, mreža visokog napona SR Hrvatske, mjerenja u električnoj mreži.

1. UVOD

Posljednjih petnaest godina počeli su se i u nas intenzivno rabiti upravljivi i obični ispravljači, kako u industriji i prometu, tako i u širokoj potrošnji (kućanstvo, poljoprivreda, mala privreda). U istom vremenskom razdoblju izmijenio se i pristup projektiranju uređaja. Prije se težilo, da se predimenzioniranjem postigne pouzdanost u radu. Danas, međutim, radi konkurentnosti na tržištu, teži se kritičkom dimenzioniranju. To znači da se radne točke jednog dijela opreme koja ima magnetske jezgre odabire veoma blizu ili u početku nelinearnog područja. Zbog toga se većina novih trošila pridružila prijašnjim, relativno rijetkim (lučne peći, aparati za varenje), »zagađivačima« mreže višim harmoničkim članovima u naponu i struji.

Viši harmonički članovi u mreži uzrokuju dodatne gubitke u nekim trošilima, poremećaje u radu preciznih elektroničkih i elektromehaničkih naprava u elektroenergetskim i drugim postrojenjima, smetnje u bliskim telekomunikacijskim vodovima itd. [1][2].

Potpuno uklanjanje ili smanjivanje posljedica »zagađivanja« mreže višim harmoničkim članovima moguće je samo ako su poznata njihova izvorišta amplitude i spektar. Zato se u svijetu intenzivno provode kompleksna mjerenja i analize utjecaja viših harmoničkih članova u mreži na rad priključenih trošila [3].

Kako viši harmonički članovi u mreži mogu utjecati na pogreške mjerenja električne energije, potrebno je znati njihov iznos i spektar na tzv. obračunskim mjernim mjestima da bi se procijenio njihov utjecaj. U nastojanju da se dobiju te informacije o višim harmoničkim članovima provedena su mjerenja na više obračunskih mjernih mjesta diljem SR Hrvatske [4]. Sažeti rezultati tih mjerenja dani su u ovom članku. Treba, međutim, napomenuti, da su ta mjerenja načinjena tijekom relativno kratkih vremenskih intervala, slučajno odabranih radnih dana. Instrumenti koji su bili dostupni za takva mjerenja također su bili skromni u usporedbi s onima koji se u svijetu rabe [3]. U većini slučajeva nije se moglo utjecati na uključivanje i isključivanje pojedinih trošila s mreže radi procjene njihova udjela u generiranju viših harmoničkih članova. Zato podrobna analiza izvorišta viših harmoničkih članova nije mogla biti načinjena.

2. IZBOR KARAKTERISTIČNIH POTROŠAČA

Podataka o iznosima viših harmoničkih članova u naponima i strujama na obračunskim mjernim mjestima u ZEOH nema, odnosno nisu nam bili poznati. Zato je diljem SR Hrvatske trebalo odabrati transformatorske stanice i pogone s trošilima koji više ili manje izobličuju sinusoidalni valni oblik struje ili napona. Nakon analize priključenih trošila, vodeći pri tome brigu o obuhvaćanju što većeg dijela teritorija SR Hrvatske, odabrana su ova mjerna mjesta:

1. TS Matulji (JŽ I)
2. TS Krasica (transformator 2)
3. TS Sisak (Pračno, vod željezare)
4. TS Sisak (Pračno, vod željeznice, Sunja)
5. TS Bilice (vod Ražine II)
6. TS Jarun
7. TS Vinkovci
8. TS Osijek
9. TS TE-TO
10. TS OLT — Zapad I
11. TS Bilice
12. Tvornica lakih metala »B. Kidrič« Ražine.

Navedene transformatorske stanice napajaju istosmjernu električnu vuču (TS Matulji i TS Krasica), izmjeničnu el. vuču (TS Sisak — Pračno), elektromotorne pogone i crnu metalurgiju (Sisak — Pračno), aluminijsku industriju (TS Bilice), te mješovite potrošače (TS Jarun, TS TE-TO). Na taj način omogu-

ćena je i usporedba »zagađenosti« u ovisnosti o vrsti trošila. Sva mjerenja osim pod točkom 4. provedena su na mreži 30 kV.

3. PROVEDBA MJERENJA

Informacija o prisutnosti viših harmoničkih članova u naponu i struji može biti kvalitativna ili kvantitativna. Kvalitativna informacija dobiva se iz valnog oblika na zastoru katodne cijevi, odnosno fotografije ili oscilograma svjetlosnog oscilografa. Ako se želi dobiti kvantitativna informacija, mora se valni oblik s oscilograma odnosno fotografije analizirati ili provesti mjerenje prikladnom mjernom opremom. Izobličenost sinusnog valnog oblika može biti definirana ukupnim faktorom izobličenja ili iznosima (pa i faznim pomakom) svakog harmoničkog člana. Ukupni faktor izobličenja npr. struje definiran je izrazom:

$$K=\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \qquad (1)$$

gdje su I_n viši harmonički članovi, a I_1 osnovni član. Taj se faktor može mjeriti posebnim instrumentima ili izračunati iz poznatih iznosa pojedinih članova. Amplitude i frekvencije harmoničkih članova mogu se odrediti spektralnim, valnim i Fourierovim analizatorima. Mjerenja na mreži u SR Hrvatskoj provedena su valnim analizatorima.

Upotrebljena su dva valna analizatora. Jedan je specijalne namjene, tj. predviđen samo za mjerenje viših harmoničkih članova u mrežama frekvencije 50 Hz (MAINS HARMONIC ANALYZER), a drugi je šire namjene, tj. za mjerenje harmoničkih članova od 15 Hz do 50 kHz (HAVE ANALYZER). Mjerenja na mjernim mjestima navedenim pod br. 1 do 10 provedena su pomoću uređaja Mains Harmonic Analyzer, a na ostala dva pomoću uređaja Wave Analyzer. Usporedna mjerenja istodobno s oba uređaja nisu dala signifikantne razlike u rezultatima.

Uređajem Mains Harmonic Analyzer s priključnim multiplekserom mogu se istovremeno mjeriti osam harmoničkih članova, po volji odabranih od prvog od četrdeset devetog. Brzina skaniranja iznosi 1 s po kanalu. Iznosi odabranih harmoničkih članova izraženi u postocima osnovnog mogu se registrirati pomoću dvaju specijalnih četverokanalnih registracijskih instrumenata.

Pokusnim mjerenjima ustanovljeno je da su najizrazitiji neparni harmonički članovi. Zato je odlučeno tim uređajem mjeriti neparne harmoničke članove od trećeg do trinaestog (3, 5, 7, 9, 11 i 13). Iznosi tih harmoničkih članova registrirani su najčešće tijekom 20 sati, osim u iznimnim slučajevima.

Uređajem Wave Analyzer mogu se mjeriti viši harmonički članovi mreže od prvog do tisućitog. Pomoću tog uređaja određivani su viši harmonički članovi do uključivo dvadeset petog. Mjerenja su provedena u stanovitim, po volji odabranim trenucima, tj. diskretno u vremenskoj domeni, a amplitude registrirane X-Y pisačem.

Oba instrumenta priključivana su na one mjerne naponske i strujne transformatore na koje su priključena i obračunska brojila električne energije. Na taj su način registrirani stvarni harmonički članovi koji se nalaze u naponu i struji brojila.

Na žalost, spomenuti instrumenti ne mogu istovremeno mjeriti napon i struju, odnosno mogu istovremeno mjeriti napon ili struju samo u jednoj fazi. Također se pomoću ovih instrumenata ne mogu mjeriti fazni pomaci viših harmoničkih članova prema osnovnom, pa se na temelju izmjerenih vrijednosti ne može reproducirati valni oblik.

4. REZULTATI MJERENJA

Amplitude viših harmoničkih članova, registriranih pomoću registracijskih instrumenata priključenih na uređaj Mains Harmonic Analyzer, mijenjaju se brzo i u širokim granicama. Da bi se dobili upotrebivi podaci, odabrana je analiza promjene amplituda unutar intervala od dva sata. Zato je čitav registracijski interval, za pojedini harmonički član, podijeljen u dvostatne podintervale. U tim podintervalima određena je minimalna, maksimalna i srednja vrijednost amplituda u postocima osnovnog člana. Srednja aritmetička vrijednost određena je iz osam očitanja unutar dvosatnog podintervala. Ako je maksimalna amplituda pojedinog harmoničkog člana u čitavom registracijskom intervalu bila manja od 0,1%, analiza se nije provodila jer bi minimalna i srednja vrijednost sigurno bila manja od tog iznosa. Utvrdilo se, na temelju promatranja, da elektromagnetske smetnje unutar postrojenja manifestiraju registracijom amplituda reda 0,05% od osnovnog člana. Također se pretpostavlja da se iznosi amplituda viših harmoničkih članova manjih od 0,1% ne mogu bitno utjecati na ispravno registriranje električne energije i na rad ostale opreme.

Tablični prikaz svih tih podataka bio bi za ovaj članak preglomazan. Zato su u tablici 1 dane maksimalne, minimalne i srednje vrijednosti amplituda harmoničkih članova u pojedinom mjernom periodu izražene u postocima. Na temelju srednjih vrijednosti određen je i faktor izobličenja. Budući da je i to suviše velik broj podataka za jednu informativnu i preglednu tablicu, prikazani su samo oni mjerni podaci koji su dali faktor izobličenja veći od 0,75%.

Uređaji za registraciju nisu čitavo vrijeme mjerenja bili pod paskom, pa se nisu mogli ugađati mjerni opsezi. Zbog toga su u pojedinim trenucima iznosi viših harmoničkih članova bili veći od ugođenog mjernog dometa. Takvi podaci označeni su u tablici znakom »>«. Za takve slučajeve ne samo što su maksimalni iznosi bili veći od navedenih u tablici, nego mogu biti veći i srednji iznosi, a s time i faktori izobličenja.

Podaci mjerenja provedenih Wave Analyzerom na vodovima za napajanje aluminijskog kombinata zbog obilja podataka ovdje nisu podrobnije navedeni. Informacije radi, dani su neki podaci u tablici 2.

Tablica 1.

Amplitude viših harmoničkih članova u naponima i strujama mjereni uređajem MAINS HARMONIC ANALYZER

Mjerno mjesto, mjerena veličina	Datum	Mjereno od – do sati	Harmonički članovi — iznosi u postocima osn. člana																		Srednji faktor izoblič. %
			3			5			7			9			11			13			
			max.	min.	sred.	max.	min.	sred.	max.	min.	sred.	max.	min.	sred.	max.	min.	sred.	max.	min.	sred.	
TS MATULJI napon	9.06 – 10.06. 1981.	09 – 07	0,33	0	0,19	1,83	0,03	0,79	0,96	0,01	0,2	—	—	—	1,0	0	0,18	0,62	0	0,13	0,89
TS MATULJI struja	10.06 – 11.06. 1981.	09 – 09	2,5	0	0,69	10	0	4,36	6,65	0	2,64	0,74	0	0,12	4,3	0	3,04	3,2	0	2,82	6,41
TS KRASICA napon	11.06 – 12.06. 1981.	11 – 08	1,0	0	0,25	> 2	0,16	1,11	1,0	0,01	0,43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,22
TS KRASICA struja	12.06 – 1981.	08 – 19	1,08	0	0,30	2,5	0,25	2,0	1,25	0,09	0,82	0,35	0	0,11	0,85	0,01	0,36	0,75	0	0,37	2,25
TS SISAK struja	14.06 – 15.07. 1981.	10 – 08	> 1,25	0,05	0,72	> 5	0,1	1,67	> 2,5	0,05	0,87	—	—	—	1,42	0	0,49	1,0	0	0,23	2,09
TS JARUN napon	29.09 – 30.09. 1981.	08 – 06	> 0,5	0,01	0,33	1,0	0,03	0,68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,76
TS JARUN struja	30.09 – 1.10. 1981.	08 – 08	2,0	0,12	0,93	> 1	0,02	0,66	> 1	0,02	0,54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,26
TS TE-TO struja	18.05 – 19.05. 1982.	10 – 09	1,05	0,19	0,54	> 5	0,5	2,57	0,8	0,12	0,39	—	—	—	0,8	0	0,20	0,38	0	0,10	2,66
TS TE-TO napon	19.05 – 21.05. 1982.	11 – 11	0,92	0,16	0,51	> 2	0,32	1,49	0,68	0,02	0,21	—	—	—	0,84	0,05	0,31	0,40	0	0,12	1,62
TS BILICE napon	24.06 – 25.06. 1982.	10 – 08	> 2	0	1,26	0,22	0,05	0,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,26
TS VINKOVCI napon	16.09 – 17.09. 1982.	09 – 07	1,12	0,04	0,60	0,90	0	0,30	0,72	0	0,14	0,63	0	0,21	0,62	0	0,18	0,68	0	0,16	0,76
TS OLT OSIJEK struja	17.09 – 18.09. 1982.	16 – 08	2,75	0	1,53	4,45	0,05	1,36	0,7	0	0,28	0,91	0	0,07	0,7	0	0,12	—	—	—	2,05

Tablica 2.

Amplitude viših harmoničkih članova u naponima i strujama mjereni uređajem WAVE ANALYZER

Mjerno mjesto, mjerena veličina	Datum	Mjereno od – do sati	Harmonički članovi — iznosi u postocima											Faktor izoblič. %
			3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	
TS BILICE DISTRIBUC. struja	07.10.1980.	11 – 17	0,58	1,55	0,76	0,23	0,43	0,80	—	—	—	—	—	—	2,05
TS BILICE Sabirnice TEF struja	07.10.1980.	09 – 18	2,09	0,69	0,30	0,28	0,74	1,40	—	—	—	—	0,35	0,31	2,80
RAŽINE Vod valjaon. napon	08.10.1980.	10 – 12	9,05	0,20	—	0,11	—	0,34	—	0,17	0,20	—	0,57	0,66	9,10
RAŽINE* Sabirnice struja	08.10.1980.	10 – 13	0,61	1,39	0,24	0,51	0,45	0,37	—	0,49	0,32	—	0,38	0,29	1,88

* Uključeni filtri za potiskivanje viših harmoničkih članova

5. ZAKLJUČAK

Mjerenja provedena na 12 mjernih mjesta u SR Hrvatskoj pokazala su da postoje viši harmonički članovi relativno visokih amplituda u struji. Maksimalne amplitude petog, sedmog, jedanaestog i trinaestog harmoničkog člana u struji izvora, koji napajaju električnu vuču, prelaze 5% amplitude osnovnog člana. Također u vodovima koji napajaju metalurške kombinate pojavljuju se izrazito visoke amplitude harmoničkih članova u struji, koje povremeno premašuju 13%. Praktički u svim slučajevima amplitude harmoničkih članova u naponu malog su iznosa i malokad premašuju 2% iznosa osnovnog člana.

Radi boljeg pregleda utjecaja trošila na pojavu viših harmoničkih članova potrebno je provesti daljnja istraživanja i mjerenja u duljem vremenskom periodu. Pri tome treba rabiti složeniju mjernu opremu, koja može dati veći broj podataka.

HIGHER HARMONICS IN NET OF SR CROATIA

Greater usage of semiconductor elements in industry, traffic and general consumption, caused amplitude increase of higher harmonics in current and voltage. Higher harmonics can, between others, effect on errors of power measurements. Due to that measurements of higher harmonic amplitude are taken on points for power measurement in SR Croatia. Condensed data of measurements are presented in the article.

HÖHERE HARMONISCHE GLIEDER IM NETZ DER SR KROATIEN

Ein grösserer Verbrauch der Halbleiter — Elemente in der Industrie, dem Verkehr und dem breiteren Verbrauch verursachte den Anstieg der Amplituden der höheren harmonischen Glieder im Strom und in der Spannung. Die höheren harmonischen Glieder können unter anderem die Fehler bei der Energiemessung beeinflussen. Deshalb hat man Messungen der Amplituden der höheren harmonischen Glieder auf den Nerrechnungsstellen in der ganzen SR Kroatien durchgeführt. In diesem Artikel wurden die zusammengefassten Angaben dargeboten.

ВЫСШИЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ В СЕТИ СР ХОРВАТИИ

Рост применения полупроводниковых элементов в промышленности, движении и ширпотребе вызвали повышение амплитуд высших гармонических составляющих токов и напряжений. Высшие гармонические составляющие могут, кроме всего прочего, оказывать влияние на ашибки измерения энергии. Поэтому проводились измерения амплитуд высших гармонических составляющих на расчетных местах измерения СР Хорватии. Сокращенные сведения о измерениях приводятся в настоящей статье.

LITERATURA

[1] J. R. LINDERS: »Electric Wave Distortions: Their Hidden Costs and Containment«, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 15, N° 5, 1979.

[2] F. TCHAPPU: »Fields of application and limitations on the modern SCR power control with a view to the influence on the measurement of energy«, Landis & Gyr Rewiev, N° 2, 1979.

[3] M. F. Mc GRANAGHAN: J. H. SHAW, R. E. OWEN: »Measuring voltage and curent harmonics on distribution systems«, IEEE Transactions on PAS, Vol. 100, N° 7, 1981.

[4] D. VUJEVIĆ, B. FERKOVIĆ, D. MARKOVINOVIĆ, M. BORŠIĆ: »Metodologija utvrđivanja viših harmoničkih članova i njihov utjecaj na točnost mjerenja«, studija, ETF Zagreb, 1983.

Naslov pisaca:

dr Dušan Vujević, dipl. ing.
mr Dragutin Markovinović, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet,
41000 Zagreb, Unska 3
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1984—06—12.

UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA 10(20) kV MREŽA

mr Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.316.99
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku se opisuju kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta 10(20) kV mreža. To su tehnički propisi o opasnim naponima dodira, te unutrašnji prenaponi. Dane su osnovne značajke distributivnih 10(20) kV mreža u SR Hrvatskoj (izvedba uzemljenja, primijenjene zaštitne mjere na niskom naponu i vrste mreže). Utvrđeno je da kod čisto kabelskih mreža nema osobitih poteškoća s provedbom uzemljenja zvjezdišta preko otpornika. Međutim, kod mješovitih mreža (koje su najčešće) mogu se pojaviti krupni problemi s uzemljivačima. To naročito vrijedi za terene visokog specifičnog otpora tla.

Ključne riječi: uzemljenje zvjezdišta, unutarnji prenaponi, distributivne mreže, zemljospoj.

1. UVOD

Distributivne 10(20) kV mreže u SR Hrvatskoj nalaze se većim dijelom u pogonu s izoliranim zvjezdištem pojnih transformatora. Rad mreže s izoliranim zvjezdištem donosi određene prednosti:

— Kod prolaznih zemljospojeva dolazi do gašenja struje zemljospoja, ako ta struja nije previsoka.
— Kod trajnih zemljospojeva moguć je nastavak pogona do lociranja mjesta zemljospoja.
— Zaštita od opasnih napona dodira obično je jednostavna.

Međutim, mreže s izoliranim zvjezdištem imaju u pogonu niz nedostataka:

— Kod većih kapacitivnih struja zemljospoja ne dolazi do samogašenja struja prolaznih zemljospojeva.
— Ako mreža duže radi u stanju zemljospoja, raste vjerojatnost pojave dvostrukog zemljospoja čije su struje po veličini bliske strujama tropolnog kvara.
— Kod malih struja zemljospoja postoji mogućnost pojave intermitirajućih prenapona koji mogu poprimiti visoke vrijednosti.
— Unutrašnji prenaponi u ovakvim mrežama redovito su viši od prenapona u mrežama uzemljenim preko otpornika.

Iz navedenog teksta vidi se da osnovne prednosti pogona mreže s izoliranim zvjezdištem vrlo lako postaju mane. Kod većih kapacitivnih struja zemljospoja ne dolazi do samogašenja struja prolaznih zemljospojeva. To znači da prolazni zemljospojevi prelaze u trajne. Prema tehničkim propisima /1/ granične struje zemljospoja do kojih se očekuje gašenje prolaznih zemljospojeva jesu:

$I_c = 20$ A ($U_n = 10$ kV)
$I_c = 15$ A ($U_n = 20$ kV)
$I_c = 10$ A ($U_n = 35$ kV)

Ako kapacitivna struja zemljospoja prijeđe navedene iznose, preporuča se prelazak na rad s uzemljenim zvjezdištem.

Mogućnost trajnog rada sa zemljospojem također ne mora biti prednost jer u takvim okolnostima raste vjerojatnost pojave veoma opasnih dvostrukih zemljospojeva. Prema tehničkim propisima /2/ smatra se da postoje uvjeti za nastanak dvostrukog zemljospoja ako mreža radi u stanju zemljospoja duže od 2 sata.

S druge strane, uzemljenjem zvjezdišta preko otpornika postižu se ove prednosti:

— brzo i selektivno djelovanje zaštite od jednopolnih kvarova, s mogućnošću ugradnje sistema brzog automatskog ponovnog uklapanja (APU) na nadzemne vodove; time se uklanja većina prolaznih kvarova
— smanjenje razine unutrašnjih prenapona, te uklanjanje opasnosti od pojave visokih intermitirajućih prenapona
— svođenje pojave dvostrukih zemljospojeva na minimum.

Dakako, zvjezdište pojne stanice može se uzemljiti na razne načine, no zasad je u Jugoslaviji usvojena praksa uzemljenja preko otpornika. Zato ćemo u ovom članku razmotriti samo ovakav način uzemljenja zvjezdišta. Pri tome treba upozoriti da postoji dosta iskustva s uzemljenjem zvjezdišta distributivnih 35 kV mreža. Međutim problem uzemljenja zvjezdišta 10(20) kV mreža znatno je složeniji zbog mnogo strožih propisa o opasnim naponima dodira.

2. KRITERIJI ZA IZBOR VELIČINE OTPORNIKA ZA UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA

Prilikom izbora veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta potrebno je uzeti u obzir dva osnovna kriterija:

a) tehničke propise o opasnim naponima dodira u TS 10(20)/0,4 kV i pripadnim niskonaponskim mrežama
b) visinu unutrašnjih prenapona koji se javljaju prilikom jednopolnih kvarova.

Navedeni kriteriji su u osnovi suprotni. Sa stajališta opasnih napona dodira (kriterija) poželjno je ograničiti struju jednopolnog kvara putem otpornika u zvjezdištu na niže iznose. S druge strane, sa stajališta unutrašnjih prenapona (kriterij b) preporučljivo je ograničiti struju jednopolnog kvara preko otpornika u zvjezdištu na što više iznose kako bi se dobili što manji unutrašnji prenaponi. Dakako, najniži unutrašnji prenaponi dobili bi se kod direktnog uzemljenja zvjezdišta, ali bi tada bili i najveći problemi s opasnim naponima dodira.

2.1. Tehnički propisi o zaštiti niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica

Tehnički propisi koji reguliraju zaštitu od opasnih napona dodira u TS 10(20)/0,4 kV dani su u posebnom pravilniku /2/. Navedeni propisi bitno se razlikuju od onih koji vrijede za postrojenja višeg napona (TS 35/10 kV, TS 110/35 kV, itd.). U tome je osnovna razlika između uzemljenja zvjezdišta 35 kV mreža i uzemljenja zvjezdišta 10(20) kV mreža.

Na ovom mjestu ćemo navesti samo one dijelove tehničkih propisa koji su značajni za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Prema propisima u pravilu se izvodi združeno zaštitno i radno uzemljenje TS 10(20)/0,4 kV. Ukupni otpor združenog uzemljenja (R_{zdr}) trafo-stanice treba da ispuni uvjet:

$$R_{zdr} \leq \frac{U_{dd}}{r \cdot I_{1p}} (\Omega) \qquad (1)$$

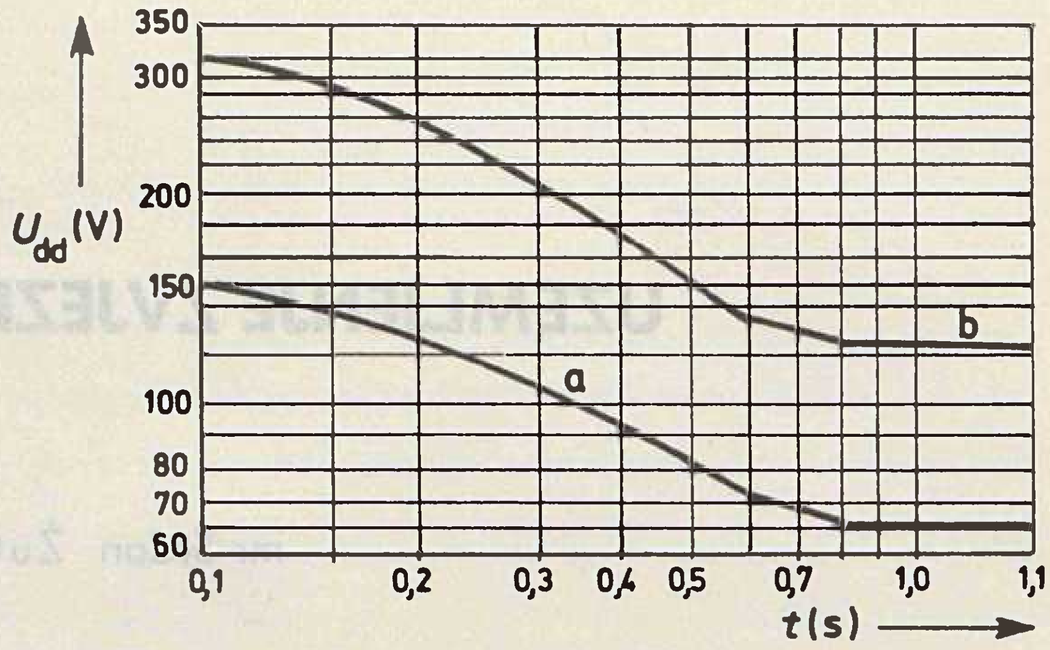
U_{dd} — dopušteni napon dodira (V);
r — redukcioni faktor pojnog voda;
I_{1p} — ukupna struja jednopolnog kratkog spoja (A).

Dopušteni napon dodira dan je na sl. 1, i to:

— na krivulji »a« ako je u n. n. mreži i instalacijama potrošača primijenjeno nulovanje ili uzemljenje pomoću zajedničkog uzemljivača
— na krivulji »b« ako je primijenjen neki drugi sistem zaštite od previsokog napona dodira, kada povišenje potencijala neutralnog vodiča ne može uzrokovati pojavu i održavanje visokih potencijala i napona dodira na kućištima aparata i elementima niskonaponske mreže; ali pri tome treba voditi brigu o uvjetima koje primijenjena zaštitna mjera postavlja na radno uzemljenje.

Izraz (1) ukazuje na jednu izuzetno važnu činjenicu. Naime, ispunjavanjem tog uvjeta ograničava se potencijal uzemljivača prema referentnoj zemlji s dopuštenim naponom dodira (U_{dd}). Dakako, takav pristup u tehničkim propisima veoma je strog jer je napon dodira obično samo dio potencijala.

Ako u nekoj TS 10(20)/0,4 kV nije moguće ispuniti uvjet (1), radno uzemljenje treba izvesti odvojeno od



Slika 1.

zaštitnog. Pri tome ukupni otpor zaštitnog uzemljenja ($R_{zaš}$) TS 10(20)/0,4 kV treba da zadovolji uvjet:

$$R_{zaš} \leq \frac{1200}{r \cdot I_{1p}} (\Omega) \qquad (2)$$

Uvjetom (2) ograničava se potencijal na zaštitnom uzemljenju TS 10(20)/0,4 kV na 1200 V, što je 60% izolacijske čvrstoće niskonaponske opreme.

Iz izraza (1) i (2) vidljivo je da pojni vod ima veliku ulogu pri određivanju graničnog (najvećeg dopuštenog) otpora uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV. Kabeli 10(20) kV imaju u pravilu povoljne (niske) redukcione faktore, što rezultira visokim graničnim otporima. Naročito povoljne redukcione faktore imaju kabeli s čeličkom armaturom, kao npr. IPO 13 i EpHP 81. Računski redukcioni faktori tih kabela, određeni na način opisan u /3/ prikazani su na sl. 2.

Veličina redukcionih faktora kod takvih kabela ponajviše ovisi o veličini struje jednopolnog kratkog spoja, debljini čelične trake i presjeku plašta (ekrana), a manje o presjeku kabela.

Redukcioni faktor kabela bez čelične armature (EHP 48, XHP 48, EpHP 48) prvenstveno ovisi o izvedbi kabela (trožilna ili jednožilna) i presjeku ekrana, a veoma malo o presjeku kabela. Računski redukcioni faktori tipičnih jednožilnih kabela XHP 48 (ili EHP 48) $3 \times 1 \times 150$ iznose:

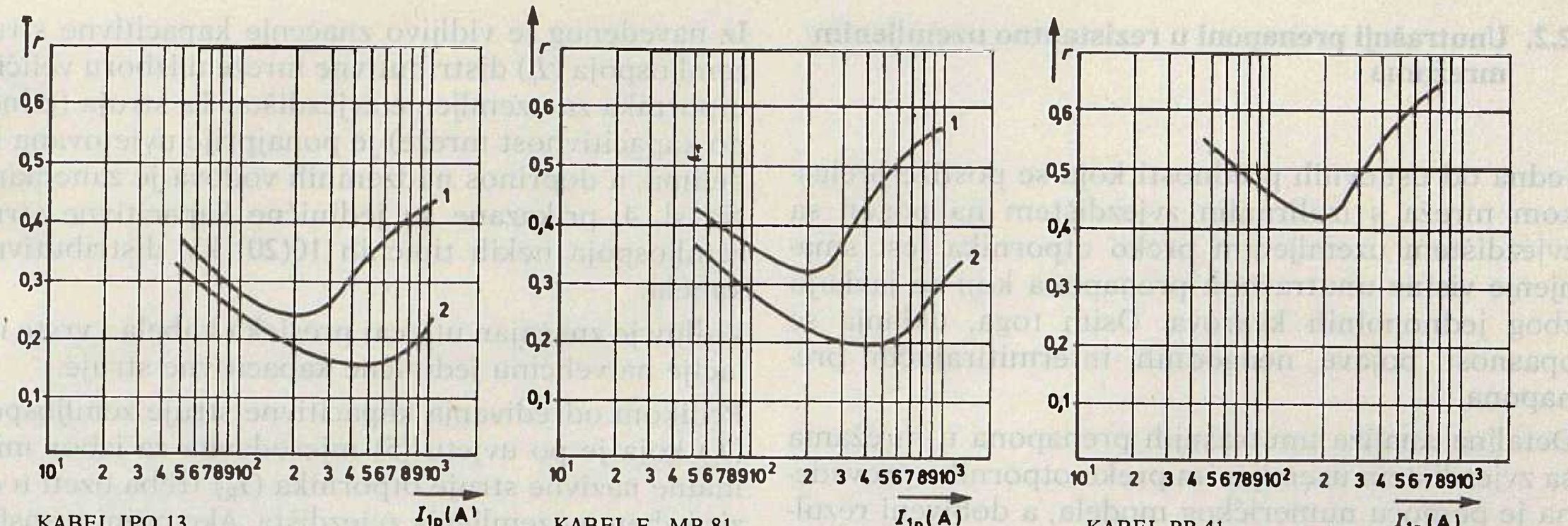
$r = 0{,}51$ (bakreni ekrani presjeka 16 mm²)
$r = 0{,}37$ (bakreni ekrani presjeka 25 mm²).

Računski redukcioni faktori tipičnih trožilnih kabela EpHP 48 3×150 iznose:

$r = 0{,}86$ (bakreni ekrani presjeka 16 mm²)
$r = 0{,}73$ (bakreni ekrani presjeka 25 mm²).

Kabeli 10(20) kV priključeni na TS 10(20)/0,4 kV veoma povoljno djeluju i kao dodatni uzemljivači (ukoliko imaju vodljive plašteve prema zemlji, kao npr. kabeli IPO 13). Kabeli s plastičnim plaštevima također smanjuju otpor uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV jer međusobno povezuju uzemljivače susjednih stanica.

Zahvaljujući izloženim povoljnim utjecajima 10(20) kV kabela u sustavu uzemljenja (niski redukcioni faktori pojnih kabela i djelovanje na sniženje ukupnog otpora uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV), u pravilu nema poteškoća s ispunjavanjem uvjeta (1) kod trafo-stanica priključenih na 10(20) kV kabelsku mrežu ako se



KABEL IPO 13
1 — PRESJEK 3 × 95 (TRAKA 0,5 mm)
2 — PRESJEK 3 × 150 (TRAKA 0,8 mm)

KABEL E_p MP 81
1 — PRESJEK 3 × 95 (TRAKA 0,5 mm)
2 — PRESJEK 3 × 150 (TRAKA 0,5 mm)

KABEL PP 41
1 — PRESJEK 3 × 95 (TRAKA 0,8 mm)

Slika 2.

struja jednopolnog kvara ograniči na 300 A. U mnogim slučajevima moguće je uvjet (1) ispuniti i onda kada je struja jednopolnog kvara ograničena na više iznose; to se naročito odnosi na TS 10/0,4 kV koje su priključene na 10 kV kabele s vodljivim plaštom prema zemlji (IPO 13).

Kod TS 10(20)/0,4 kV koje su priključene na nadzemnu pojnu mrežu situacija je drugačija. Nadzemni vodovi 10(20) kV u pravilu nemaju zaštitni vodič pa njihov redukcioni faktor iznosi: $r = 1$. Dakako, takvi vodovi ne mogu djelovati kao dopunski uzemljivači. Prilikom određivanja graničnih otpora uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV koje su priključene na nadzemnu mrežu treba uzeti u obzir činjenicu da su u stvarnosti otpori uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV takvi da utječu na veličinu struje jednopolnog kvara, a to se naročito odnosi na stanice sa razdvojenim zaštitnim i radnim uzemljenjem. Zato se u ovakvim slučajevima ne može pretpostaviti da je struja jednopolnog kvara neovisna o prelaznom otporu na mjestu kvara (tj. o otporu uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV) kao što se radi kod stanica koje su priključene na kabelsku pojnu mrežu. Granični otpori uzemljenja određuju se tako da se u izraze (1) i (2) uvrste formule za računanje struje jednopolnog kvara (I_{1p}) koje uzimaju u obzir prelazni otpor na mjestu kvara (tj. otpor uzemljenja trafo-stanice — R_{zdr} u izrazu (1) odnosno $R_{zaš}$ u izrazu (2)). Nakon toga lako se dolazi do graničnih (maksimalno dopuštenih) otpora uzemljenja. Ako se zanemari impedancija voda 10(20) kV između pojne stanice i razmatrane TS 10(20)/0,4 kV, te prihvati činjenica da je redukcioni faktor nadzemnog voda r = 1, dobivaju se granični otpori kao:

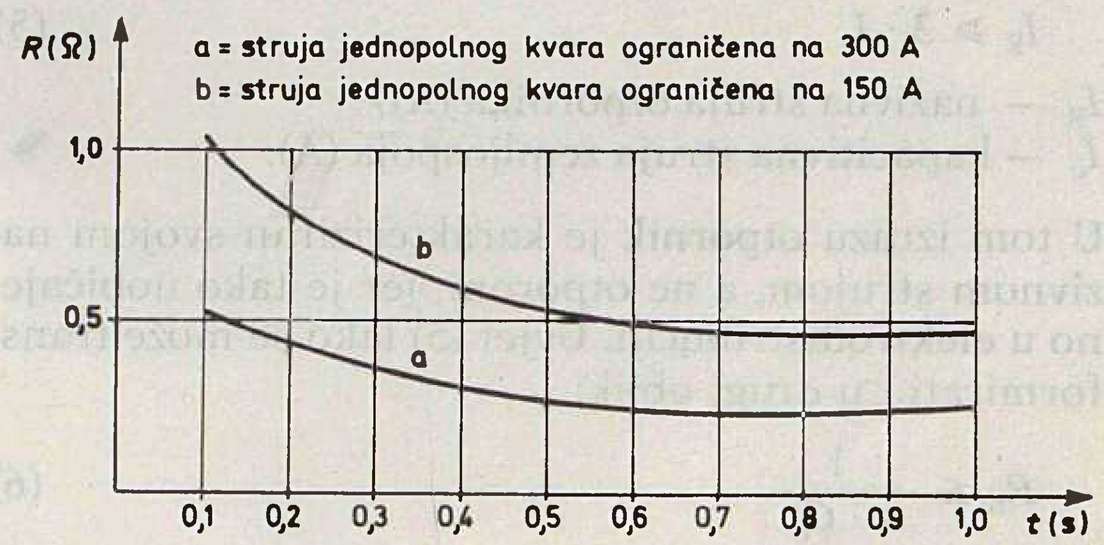
$$R_{zdr} \leq \frac{U_{dd} \cdot 3R_n}{\sqrt{3} \cdot U_n - 3 \cdot U_{dd}} \text{ (združena uzemljenja)} \quad (3)$$

$$R_{zaš} \leq \frac{1200 \cdot 3 \cdot R_n}{\sqrt{3} \cdot U_n - 3600} \text{ (razdvojena uzemljenja)} \quad (4)$$

R_n — otpor otpornika za uzemljenje zvjezdišta (Ω);
U_n — nazivni napon mreže (V);
U_{dd} — dopušteni napon dodira — sl. 1 (V).

Ako bi se uvažila impedancija 10(20) kV voda, dobili bi se malo viši (povoljniji) granični otpori.

Pomoću izraza (4) izvršen je proračun maksimalno dopuštenih otpora združenog uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV napajanih nadzemnim 10(20) kV vodovima. Rezultati su prikazani na sl. 3.



Slika 3.

Kod TS 10(20)/0,4 kV s razdvojenim uzemljenjima granični otpori iznose:

$U_n = 10$ kV	$U_m = 20$ kV
$R_{zaš} = 5{,}25\ \Omega$ ($I_R = 300$A)	$R_{zaš} = 4{,}64\ \Omega$ ($I_R = 300$A)
$R_{zaš} = 10{,}50\ \Omega$ ($I_R = 150$A)	$R_{zaš} = 9{,}28\ \Omega$ ($I_R = 150$A)

Očito je da su granični otpori kod ovakvih stanica puno niži nego kod stanica koje su priključene na kabelsku 10(20)/0,4 kV mrežu. S druge strane, otpori uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV koje su priključene na nadzemnu mrežu u pravilu su znatno viši nego kod stanica priključenih na kabelsku mrežu jer 10(20) kV nadzemni vodovi ne djeluju kao dodatni uzemljivači. Izvedba uzemljivača kod trafo-stanica priključenih na nadzemnu mrežu detaljno je opisana u [4].

Na temelju izloženog razmatranja dolazi se do zaključka da su sa stajališta tehničkih propisa o zaštiti niskonaponskih mreža mjerodavni gotovo isključivo uzemljivači TS 10(20)/0,4 kV koje su priključene na nadzemnu mrežu. Pri tome treba imati na umu da se TS 10(20)/0,4 kV koje su priključene na nadzemnu mrežu preko kratkih kabela tretiraju isto kao i stanice direktno priključene na nadzemnu mrežu.

2.2. Unutrašnji prenaponi u rezistantno uzemljenim mrežama

Jedna od osnovnih prednosti koja se postiže prelaskom mreža s izoliranim zvjezdištem na pogon sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika jest smanjenje visine unutrašnjih prenapona koji se javljaju zbog jednopolnih kvarova. Osim toga, uklanja se opasnost pojave neugodnih intermitirajućih prenapona.

Detaljna analiza unutrašnjih prenapona u mrežama sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika provedena je pomoću numeričkog modela, a dobiveni rezultati navedeni su u [5]. Potvrđena je poznata činjenica da se sa smanjivanjem veličine otpora u zvjezdištu smanjuju i unutrašnji prenaponi. Međutim, sa smanjivanjem otpora raste struja jednopolnog kvara, što je loše sa stajališta zaštite od napona dodira. Zato je u [5] utvrđen kriterij za izbor maksimalne vrijednosti otpora otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Taj kriterij može se formulirati kao:

$$I_R \geqslant 3 \cdot I_c \qquad (5)$$

I_R — nazivna struja otpornika (A);
I_c — kapacitivna struja zemljospoja (A).

U tom izrazu otpornik je karakteriziran svojom nazivnom strujom, a ne otporom, jer je tako uobičajeno u elektrodistribuciji. Uvjet (5) lako se može transformirati i u drugi oblik:

$$R_n \leq \frac{1}{\omega \cdot C_o} \qquad (6)$$

R_n — otpor otpornika u zvjezdištu (Ω);
ω — kružna frekvencija (314 s^{-1});
C_o — ukupni dozemni kapacitet (F).

Ispunjavanjem kriterija (5) faktori unutrašnjih prenapona prema [5] ne prelaze vrijednost k = 2,5. Međutim, uvažavajući razne povoljne utjecaje koji djeluju na prigušenje unutrašnjih prenapona, a koji su također analizirani u [5], može se utvrditi da će ispunjavanjem kriterija (5) faktori unutrašnjih prenapona u većini slučajeva biti manji od vrijednosti k = 2,0.

Podnosivi faktori prenapona (određeni prema maksimalnom pogonskom faznom naponu) za novu izolacijsku opremu iznose [6]:

k = 4,04 (U_n = 10 kV) k = 3,61 (U_n = 20 kV)

Prema tome, i kod starije opreme ostaje dovoljno rezerve sa stajališta ugroženosti od unutrašnjih prenapona ako se ispuni uvjet (5), jer vrijedi:

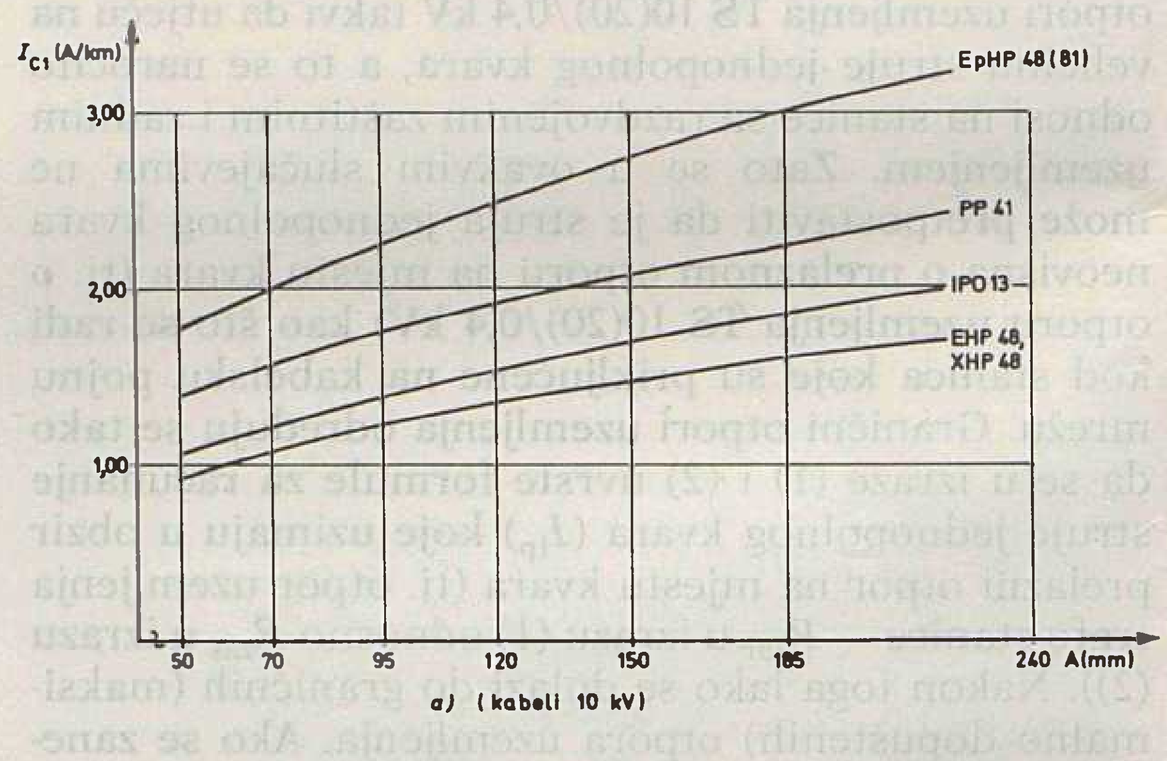
$$2{,}0 \lll 4{,}04\ (3{,}61)$$

Ako bi se struja jednopolnog kvara ograničila na niži iznos od onoga iz uvjeta (5), unutrašnji prenaponi bi nešto porasli. No, još je značajnija činjenica da u tom slučaju više ne bi bio zanemariv udio kapacitivne komponente u ukupnoj struji jednopolnog kvara. Tada se ne bi moglo govoriti o ograničenju struje kvara na vrijednost I_R niti o rezistantnom uzemljenju zvjezdišta.

Iz navedenog je vidljivo značenje kapacitivne struje zemljospoja (I_c) distributivne mreže u izboru veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Ta struja (odnosno kapacitivnost mreže) je ponajprije uvjetovana kabelima, a doprinos nadzemnih vodova je zanemariv. Na sl. 4. prikazane su jedinične kapacitivne struje zemljospoja nekih tipičnih 10(20) kV distributivnih kabela.

Vidljiv je značajan utjecaj presjeka kabela i vrste izolacije na veličinu jedinične kapacitivne struje.

Prilikom određivanja kapacitivne struje zemljospoja (I_c) koja je po uvjetu (5) mjerodavna za izbor minimalne nazivne struje otpornika (I_R) treba uzeti u obzir i shemu uzemljenja zvjezdišta. Ako pojni transformatori rade odvojeno na strani 10(20) kV i ako su zvjezdišta transformatora uzemljena preko posebnih otpornika, tada je za svaki transformator mjerodavna kapacitivnost samo onog dijela mreže koji je priključen na njega. To je tzv. shema »jedan otpornik po transformatoru« (JO/TR) koja je pogodna za 110/10(20) kV. Ako pojni transformatori rade odvojeno na strani 10(20) kV i ako su zvjezdišta transformatora uzemljena preko zajedničkog otpornika, tada je mjerodavna kapacitivnost čitave mreže, neovisno o tome što transformatori rade odvojeno. To je tzv. shema »jedan otpornik po trafostanici« (JO/TS) koja je pogodna za TS 35/10 kV. Dakako, ako transformatori rade paralelno na strani 10(20) kv, mjerodavna je kapacitivnost čitave mreže.



Slika 4.

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE TS 10(20)/0,4 kV I PRIPADNIH 0,4 kV MREŽA U DISTRIBUCIJI SR HRVATSKE

3.1. Opće karakteristike

Distributivne mreže 10(20) kV u SR Hrvatskoj danas se uglavnom napajaju iz TS 35/10 kV, a manjim dijelom iz TS 110/10(20) kV. U budućnosti treba očekivati intenzivnije uvođenje u pogon TS 110/10(20) kV.

U pogl. 2.1. pokazano je da kod TS 10(20)/0,4 kV koje su priključene na kabelsku pojnu mrežu ne treba očekivati probleme s uzemljivačima (sa stajališta uvjeta bezopasnosti). Međutim, čisto kabelske 10(20) kV mreže su dosta malobrojne, a karakteristične su samo za velike gradove. Čak je i tada česti slučaj da pojna trafo-stanica koja u redovnom pogonu napaja čisto kabelsku mrežu u izvanrednim pogonskim stanjima preuzima na sebe i dio nadzemne mreže.

Isto tako, relativno su rijetke čisto nadzemne 10(20) kV mreže, jer stalna urbanizacija nameće potrebu uvođenja kabela čak i u seoskim uvjetima. Osim toga, 10(20) kV rasplet oko TS 35/10 kV, a naročito oko TS 110/10(20) kV izvodi se u pravilu pomoću kabela zbog pomanjkanja prostora.

U našim uvjetima dominiraju mješovite 10(20) kV mreže, kod kojih možemo razlikovati one s pretežnim udjelom kabela i one s pretežnim udjelom nadzemnih vodova. Za ove mreže je karakteristično da kabeli uvjetuju porast kapacitivne struje zemljospoja te nameću potrebu za uzemljenjem zvjezdišta. Osim toga, visina kapacitivne struje zemljospoja diktira izbor minimalne struje otpornika za uzemljenje zvjezdišta (izraz 5). S druge strane, uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV priključenih na nadzemnu pojnu mrežu u pravilu onemogućuju ograničenje struje jednopolnog kvara na više iznose.

Uzemljenje TS 10(20)/0,4 kV može se izvesti kao združeno (zaštitno i radno) ili razdvojeno. Kod stanica priključenih na kabelsku 10(20) kV mrežu u pravilu se izvode združena uzemljenja. Kod TS 10(20)/0,4 kV koje su priključene na nadzemnu mrežu mogu se uočiti dva pristupa. U nekim elektrodistributivnim poduzećima (npr. »Elektroprimorju« i »Elektroistri«) i kod takvih stanica izvode se združena uzemljenja. U drugim distributivnim organizacijama zaštitna i radna uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV priključenih na nadzemnu mrežu izvode se razdvojeno. Što se tiče primjene temeljnih uzemljivača i mjera izjednačenja potencijala, može se reći da je to još uvijek karakteristika objekata društvene gradnje. Većina distributivnih poduzeća uvjetuje u elektroenergetskim suglasnostima postavljanje temeljnih uzemljivača. Međutim nakon toga izostaje kontrola privatnih graditelja. S druge strane, TS 10(20)/0,4 kV priključene na nadzemnu mrežu u većini slučajeva napajaju upravo takve objekte.

Među korištenim zaštitnim mjerama u niskonaponskim mrežama i potrošačkim instalacijama u SR Hrvatskoj dominiraju dvije: nulovanje i zaštitno uzemljenje pomoću pojedinačnih uzemljivača. U gradskim uvjetima uglavnom se primjenjuje nulovanje. U ostalim niskonaponskim mrežama koristi se jedna od navedenih mjera ovisno o politici distributivne organizacije, ali i o željama potrošača. Slobodno se može reći da su na ovom području dosta nesređeni odnosi. Međutim, prisutna je tendencija za širenjem nulovanja na račun zaštite pojedinačnim uzemljenjima.

Zaštita potrošača primjenom strujnih sklopki nije raširena kao opća mjera; te se sklopke uglavnom primjenjuju prema želji pojedinih potrošača.

3.2. Otpori uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV

Najveći problem kod prelaska mreže na pogon s uzemljenim zvjezdištem predstavljaju uzemljivači TS 10(20)/0,4 kV priključenih na nadzemnu mrežu. Da bi se dobio uvid u poteškoće koje se pri tome javljaju, analizirat će se rezultati mjerenja otpora uzemljenja TS 10/0,4 kV napajanih iz TS 30/10 kV »Dubrava« u Zagrebu [7], te na području Istre [8].

a) TS 10/0,4 kV napajane iz TS 30/10 kV »Dubrava«

Mjerenja otpora združenog uzemljenja obavljena su u 40 stanica priključenih na nadzemnu mrežu. Trafostanice su smještene na terenu niskog specifičnog otpora tla (glina, ilovača), a mjerenja su provedena nakon perioda intenzivnih kiša. Prema tome, može se procijeniti da je specifični otpor tla uglavnom bio manji od vrijednosti $\rho = 50\ \Omega$ m. Na temelju rezultata mjerenja otpora združenog uzemljenja i usporedbe s graničnim uvjetom (3), te uz pretpostavku da kvar traje 0,8 s može se utvrditi sljedeće stanje:

— Ako je struja jednopolnog kvara ograničena na 300 A, otpori uzemljenja ne zadovoljavaju u 31 stanici (77 % slučajeva).

— Ako je struja jednopolnog kvara ograničena na 150 A, otpori uzemljenja ne zadovoljavaju u 13 stanica (32 % slučajeva).

Ako bi se trajanje jednopolnih kvarova smanjilo na 0,2 s, stanje bi bilo povoljnije:

— Ako je struja jednopolnog kvara ograničena na 300 A, otpori uzemljenja ne zadovoljavaju u 15 stanica (37 % slučajeva).

— Ako je struja jednopolnog kvara ograničena na 150 A, otpori uzemljenja ne zadovoljavaju u 5 stanica (12 % slučajeva).

Potrebno je upozoriti da kod starije opreme nije uvijek moguće smanjiti trajanje kvara na tako kratko vrijeme kao što je 0,2 s. Osim toga, time se u pravilu gubi selektivnost zaštite prema visokonaponskim osiguračima u TS 10(20)/0,4 kV.

U [7] dani su i rezultati mjerenja otpora zaštitnog uzemljenja (odvojenog od radnog uzemljenja). Usporedbom s graničnim uvjetom (4) može se utvrditi da samo u jednoj stanici uzemljivač ne zadovoljava, i to

bez obzira na to je li struja kvara ograničena na 150 A ili 300 A.

b) TS 10/0,4 kV na području Istre

Mjerenja otpora združenog uzemljenja obavljena su u 13 stanica priključenih na nadzemnu mrežu. Trafostanice su smještene na terenima različitog specifičnog otpora tla; prema [9] specifični otpor tla u Istri nalazi se u granicama 100 – 500 Ω m. Usporedbom rezultata mjerenja i graničnog uvjeta (3) utvrđeno je da u slučaju ograničenja struje jednopolnog kvara na 300 A niti jedan uzemljivač ne zadovoljava. Ako bi se struja jednopolnog kvara ograničila na 150 A, i trajanje kvara smanjilo na 0,2 s, zadovoljio bi uzemljivač u samo jednoj TS 10/0,4 kV!

Otpori zaštitnog uzemljenja (odvojenog od radnog uzemljenja) izmjereni su u 11 TS 10/0,4 kV. Usporedbom s graničnim uvjetom (4) utvrđeno je da kod 7 trafo-stanica otpori ne zadovoljavaju ako se struja jednopolnog kvara ograniči na 300 A; ako se struja jednopolnog kvara ograniči na 150 A, onda otpori uzemljenja ne zadovoljavaju u 3 stanice.

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na temelju razmotrenih kriterija predlaže se uzemljenje zvjezdišta kabelskih 10(20) kV mreža preko otpornika za ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja na 300 A. Takvim rješenjem u pravilu se osigurava lagano ispunjavanje uvjeta bezopasnosti, bez posebnih zahvata na uzemljivačima TS 10(20)/0,4 kV. Pri tome treba paziti da bude zadovoljen uvjet (5) koji eventualno može biti narušen kod TS 110/10(20) kV. Zato se kod takvih stanica predlaže shema uzemljenja »jedan otpornik po transformatoru«, uz odvojeni rad transformatora na strani 10(20) kV.

Problem uzemljenja zvjezdišta mješovitih 10(20) kV mreža koje su najraširenije u našoj elektrodistribuciji je daleko složeniji. Kod TS 10(20)/0,4 kV s nadzemnim napajanjem u većini slučajeva će trebati izvoditi razdvojena uzemljenja (zaštitno i radno). To se odnosi čak i na stanice smještene na terenima niskog specifičnog otpora tla, uz ograničenje struje jednopolnog kvara na 150 A. Ograničenje struje jednopolnog kvara na niže vrijednosti od 150 A obično nema smisla kod mješovitih mreža, zbog kriterija (5). Kod TS 10(20)/0,4 kV koje su locirane na tlu niskog specifičnog otpora ($\rho < 100\ \Omega$ m) mogla bi se umanjiti potreba za razdvajanjem uzemljenja ako bi se trajanje jednopolnih kvarova ekstremno skratilo (npr. na 0,1 s). No, to nije moguće postići kod starije opreme, a osim toga time se gubi selektivnost prema 10(20) kV osiguračima u TS 10(20)/0,4 kV. Osim toga, kod nekih TS 110/10 kV, a naročito TS 110/20 kV neće se moći ispuniti uvjet (5) ako se struja jednopolnog kvara ograniči samo na 150 A.

Izvedba odvojenog zaštitnog i radnog uzemljenja kod TS 10(20)/0,4 kV priključenih na nadzemnu 10(20) kV mrežu nesumljivo olakšava provođenje uzemljenja zvjezdišta. Međutim, ovakav pristup ima dosta nedostataka.

- Teško je razdvojiti ranije združena uzemljenja ako su prvi stupovi 0,4 kV vodova vezani za stanicu kabelima s vodljivim plaštevima.
- Zbog naknadnog izvođenja raznih metalnih podzemnih instalacija može doći do premoštenja odvojenih uzemljenja.
- Na terenima većeg specifičnog otpora tla nužno je izvođenje zaštitnih uzemljivača sa dodatnim krakovima (dužine 20 – 25 m); ovakvi uzemljivači su često veoma nepraktični i skupi za postavljenje.
- Na terenima veoma visokog specifičnog otpora tla $\rho \geqslant 250\ \Omega$ m za $I_R = 300$ A, odnosno $\rho \geqslant 500\ \Omega$ m za $I_R = 150$ A neće biti moguće izvesti zaštitno uzemljenje na zadovoljavajući način a uz razumne troškove.

Prema tome, princip odvajanja zaštitnog i radnog uzemljenja kod TS 10(20)/0,4 kV priključenih na nadzemnu mrežu ne omogućava u svakom slučaju provođenje uzemljenja zvjezdišta preko otpornika za ograničenje struje jednopolnog kvara. Osim toga, ta mjera često može biti nepraktična i skupa. Zbog toga problem uzemljenja zvjezdišta 10(20) kV mješovitih mreža treba pokušati riješiti i na druge načine. Ovdje će se iznijeti nekoliko mogućnosti.

a) Razdvajanje kabelske i nadzemne mreže

Teorijski gledano, kabelski dio mješovite mreže mogao bi se napajati iz jednog transformatora u pojnoj stanici; zvjezdište tog transformatora dalo bi se bez poteškoća uzemljiti. Drugi transformator napajao bi preko odvojenih 10(20) kV sabirnica nadzemni dio mješovite mreže. Zbog male kapacitivne struje zemljospoja zvjezdište tog transformatora ostalo bi izolirano. Osnovni nedostatak ovog rješenja jest u tome što je kod najvećeg broja mješovitih mreža nemoguće izvršiti opisano razdvajanje zbog oblika mreže i energetskih razloga. Zato navedeni pristup nema veće praktičko značenje.

b) Zamjena nulovanja strujnim zaštitnim sklopkama

Zaštita niskonaponskih mreža i instalacija strujnim zaštitnim sklopkama smatra se najkvalitetnijom vrstom zaštite [10]. Sa stajališta uzemljenja zvjezdišta osnovna prednost strujnih zaštitnih sklopki jest u tome što neutralni vodič ne dolazi na kućište aparata kao kod nulovanih instalacija. Prema tome, u TS 10(20)/0,4 kV može se izvesti združeno uzemljenje bez opasnosti da se potencijal neutralnog vodiča prenese na kućišta aparata. Ovakav pristup omogućio je francuskoj elektrodistribuciji da struje jednopolnog kvara u 10(20) kV mrežama ograniči na visoke iznose: 1 000 A u kabelskim mrežama i 300 A u mješovitim i nadzemnim mrežama.

Na žalost, opremanje svih potrošača na području jedne mreže strujnim zaštitnim sklopkama veoma je

dugotrajan i skup posao, pa zbog toga ova mjera ne može u kratkom roku riješiti problem uzemljenja zvjezdišta mješovitih 10(20) kV mreža.

c) Promjena tehničkih propisa o zaštiti niskonaponskih mreža

U pogl. 2.1. rečeno je da su naši tehnički propisi [2] veoma strogi, jer kod izvedbe združenog uzemljenja u TS 10(20)/0,4 kV u stvari ograničavaju potencijal, a ne napon dodira na zadanu vrijednost (izraz 1). Međutim, ublažavanje tih propisa je diskutabilno. Napon dodira koji se prilikom jednopolnih kvarova u 10(20) kV mreži može pojaviti na kućištima nulovanih aparata u pravilu je samo dio potencijala. Problem je u određivanju veličine napona dodira kod potrošača u odnosu na veličinu potencijala. Ispravan postupak bilo bi mjerenje napona dodira kod nulovanih potrošača u svim niskonaponskim mrežama napajanim iz TS 10(20)/0,4 kV, što je izuzetno nepraktično i skupo zbog ogromnog broja potrebnih mjerenja. Jedina sigurna garancija da će naponi dodira biti zanemarivi u odnosu na potencijal jest striktno provođenje mjera izjednačenja potencijala kod svih potrošača, a to je kod postojećih objekata veoma teško (i skupo) ostvariti.

Također treba upozoriti da prema preporukama organizacije IEC trajni napon dodira treba biti 50 V, što je još strože od naših 65 V.

d) Alternativni načini uzemljenja zvjezdišta

U inozemnoj praksi moguće je naći različite načine uzemljenja zvjezdišta, od kojih neki potpuno rješavaju problem napona dodira (kompenzaciona prigušnica). Naročito je privlačno rješenje koje se koristi u Švedskoj — kombinacija kompenzacione prigušnice i otpornika veoma niske nazivne struje. No, prethodno bi trebalo studijski istražiti prednosti i mane ovog rješenja za uzemljenje zvjezdišta naših mješovitih mreža.

LITERATURA

[1] Propisi o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja, Sl. list SFRJ, 19/1968.

[2] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica, Sl. list SFRJ, 13/1978.

[3] J. NAHMAN: »Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža«, Naučna knjiga, Beograd, 1980.

[4] S. ŽUTOBRADIĆ, B. FILIPOVIĆ: »Izvedba uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV priključenih na nadzemnu mrežu 10(20) kV u uvjetima uzemljenog zvjezdišta«, Elektrotehnika 1—2, 1984.

[5] S. ŽUTOBRADIĆ, B. FILIPOVIĆ: »Proračun unutrašnjih prenapona u distributivnim mrežama uzemljenim preko otpornika«, Energija br. 4, 1984.

[6] JUS standard N. BO. 030/78.

[7] J. KUČAK: »Mjerenje uzemljenja TS 10/0,4 kV grada Zagreba« vezanih na TS 30/10 kV Uklopna XIV Dubrava, IE — Zagreb, 1975.

[8] L. DELBIANCO: »Prelazak razdjelne mreže 'Elektroistre' Pula na uzemljenje zvjezdišta preko djelatnog otpora niske vrijednosti«, Energija br. 3, 1983.

[9] L. DELBIANCO: »Uzemljivači TS 10(20)/0,4 kV u uvjetima otpornog uzemljenja zvjezdišta«, Energija br. 4, 1983.

[10] V. SRB: »Električne instalacije i niskonaponske mreže«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1982.

[11] B. FILIPOVIĆ, S. ŽUTOBRADIĆ: »Ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja u srednjenaponskim mrežama ugradnjom maloomskog otpornika«, IE — Zagreb, 1981.

GROUNDING OF NEUTRAL POINT FOR 10/20 kV NET

In the article are described criteria for choice of value of resistance for neutral point grounding of 10/20 kV net. This are technical standards for dangerous touch voltages and internal overvoltages. Some basic data for distribution 10/20 kV nets in SR Croatia (construction of grounding, applied protection measures on low voltage and type of net) are presented. In only cabel nets there is no problem with neutral point grounding by resistance. Otherways, in heterogenous nets (that are at most) there can be great problems with groundings. It is especially for grounds with great specific resistance.

ERDUNG DES STERNPUNKTES 10/20 Kv Netze

Im Artikel werden Kriterien für die Auswahl der Grösse der Widerstandsgeräte für die Erdung des Sternpunktes 10/20 Kv Netze beschrieben. Das sind technische Vorschriften über die gefährlichen Spannungen der Berührungen und innere Spannungen. Es wurden die wichtigsten Besonderheiten der Distributionsnetze 10/20 Kv Netze in der SR Kroatien Ausführung der Erdung, angewandte Schutzmassnahmen auf niedrigen Spannungen und Netzarten angegeben.

Es wurde festgestellt dass es bei Kabelnetzen keine besonderen Schwierigkeiten mit der Durchführung der Erdung des Sternpunktes über Widerstandsgeräte gibt. Bei gemischten Netzen jedoch (den häufigsten) können grosse Probleme wegen der Erdung auftreten. Das gilt besonders für Gelände mit grossem spezifischen Widerstand.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 10(20) кВ

В статье описан критерии выбора значения сопротивления для заземления нейтрали сетей 10(20) кВ. Такими являются технические правила об опасных напряжниях прикосновения, а также внутренние перенапряжения. Приводятся основные характеристики распредсетей 10(20) кВ в СР Хорватии (выполнение заземления, применяемые меры защиты на низком напряжении и виды сетей). Установлено, что в чисто кабельных сетях нет особых затруднений для перевода заземления нейтрали на заземление через сопротивление. Однако в сетях мешанного типа, представляющих большенство, могут возникнуть ошутимые проблемы заземления. Это относится особенно к районам с высоким удельным сопротивлением грунта.

Naslov pisca:

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

Uredništvo primilo rukopis
1984—04—27.

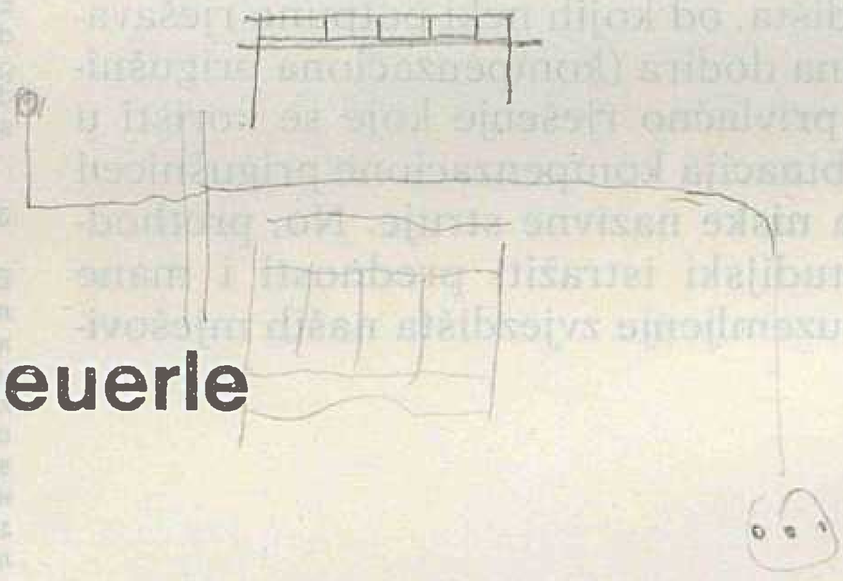
ELEKTROPRIVREDA ZAGREB

OOUR **Elektroprenos**

ZAGREB

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:
prijenos električne energije, izraduje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja, te svojim vozilom marke

Kaelble



i prikolicom

Scheuerle

prevozi teški teret do 120 tona.

OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB

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

SPECIFIČNI OTPOR TLA. GEOLOŠKO-GEOELEKTRIČNI PRESJECI TLA

dr Zvonimir Krulc, Zagreb

UDK 621.316.99 : 551.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je razmotren pojam specifičnog otpora tla s geofizičkog stanovišta kao jedinog ispravnog. Prikazana je tablica srednjih (normalnih, najčešće utvrđivanih) vrijednosti specifičnog otpora glavnih geoloških vodiča. Kratko je ukazano na suvremeni način mjerenja specifičnog otpora tla geoelektričnim sondiranjem. Prikazano je i nekoliko tipičnih primjera geološko-geoelektričnih presjeka tla.

Ključne riječi: uzemljenje, specifični otpor, geološko-geoelektrični presjeci tla.

1. UVOD

U projektiranju gromobranskih i drugih uzemljenja osnovno je poznavanje vrijednosti specifičnog otpora tla u kojem će biti smješten uzemljivač.

Uzemljivač je, prema definiciji, uređaj koji tehničke vodiče odnosno instalacije povezuje s geološkim vodičima u tlu. Pod tlom razumijevamo ovdje geološki kompleks stijena ispod površine Zemlje u užem smislu. Naziv ili pojam »zemlja« (u užem ili širem smislu), što se još uvijek ponekad upotrebljava, nije prikladan i ne valja ga koristiti.

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

$$R_r = \rho \cdot k_u (\Omega) \qquad (1)$$

gdje je

ρ = specifični otpor tla, i

k_u = koeficijent koji ovisi samo o geometrijskoj veličini odnosnog uzemljivačkog sistema.

Kako se iz formule jasno vidi, otpor rasprostiranja linearno je ovisan o specifičnom otporu tla.

Praksa pokazuje da radi određivanja specifičnog otpora nisu nikako dovoljna »iskustvena« procjenjivanja i općenita opisivanja vrste tla uz očitavanje vrijednosti specifičnog otpora iz odgovarajućih tablica ili grafikona iz literature (npr. Z. KRULC, 1959, str. 151; Z. KRULC, 1966, str. 160; Z. KRULC, 1982, str. 3, V. FRITSCH, 1960, str. 290). Iz takvih tablica i grafikona nije lako odrediti ni najvjerojatniju vrijednost specifičnog otpora tla jer su rasponi električnog otpora u nekih geoloških vodiča vrlo veliki. Iz osnovnih ekonomskih razloga može se zaključiti da će neka uzemljivačka instalacija biti toliko točnije i racionalnije projektirana koliko je točnije određen specifični otpor tla u koje će biti smješten uzemljivač.

U starijoj literaturi nalaze se u tablicama i pojmovi kao »močvara«, »močvarno tlo«, »kamen« i sl., koji u geofizikalnom smislu ne kazuju ništa. S obzirom na visok stupanj razvoja geoelektrike (jedne od osnovnih metoda praktične geofizike) i u nas i njezino bogato iskustvo u mjerenjima specifičnog otpora tla treba i u elektrotehnici u nas prihvatiti geofizičku odnosno geološku terminologiju. Koristiti treba geološke nazive vrsta tala i geoelektričnim ispitivanjima utvrđene vrijednosti specifičnog otpora geoloških vodiča.

Dobro izvedeno uzemljenje smatra se širom svijeta jednim od osnovnih faktora funkcionalnosti zaštite od udara munje. Kod nekih vrsta uzemljenja postavljaju se vrlo oštri zahtjevi; u izvođenju zaštite elektronskih uređaja u nekim se zemljama traže otpori rasprostiranja čak ispod 1 oma, pa se moraju odgovarajući proračuni učiniti vrlo točno. Zbog toga treba postaviti pravilo da se specifični otpor tla odnosno geološkog vodiča odredi s istom točnošću kao otpor nekog tehničkog vodiča.

U određivanju specifičnog otpora tla tehnici uzemljenja dolazi danas pomoć od *geoelektrike*. Osnovni zadatak geoelektrike je, naime, ispitivanje električnih svojstava tla (podzemlja), dakle određivanje specifičnog otpora i dielektrične konstante geoloških vodiča u podzemlju. O geoelektrici i geoelektričnim ispitivanjima — u primjeni za potrebe elektrotehnike — pisano je u našoj znanstveno-stručnoj literaturi te referirano na posebnim savjetovanjima (vidi: Z. KRULC, 1964; 1966; 1970; 1977), pa o tome ovdje ne treba više ulaziti u detalje.

2. SPECIFIČNI OTPOR

Specifični otpor stijena ili geoloških vodiča mijenja se u dosta širokim granicama. Na vrijednost specifičnog otpora stijena mnogo utječe količina vode u porama stijene i količina soli otopljenih u toj vodi. Stijene vode električnu struju time što struju vode otopine (elektroliti) koje se nalaze u porama stijene. Sti-

jene s velikim volumenom pora, kao npr. gline i lapori, imaju zbog toga dosta stalne i niske vrijednosti specifičnog otpora. Čvrste, kompaktne, stijene s malim volumenom pora, kao npr. eruptivne stijene, vapnenci, imaju naprotiv slabe vodljivosti i prema tome visoke vrijednosti specifičnog otpora. Sasvim su drukčije prilike opet kod propusnih, rastresitih stijena kao što su pijesci i šljunci. Specifičan otpor tih vrsta geoloških vodiča u biti je ovisan o prisustvu odnosno o količini eventualno (i često) primiješane gline. Tako npr. grubi šljunak s valuticama i bez gline može imati specifični otpor više tisuća om.m, a s primjesom od oko 20 % gline samo trećinu te vrijednosti. Specifični otpor geoloških vodiča ovisi i o njihovoj strukturi: raspucana ili rastrošena stijena ima uvijek niži specifični otpor od kompaktne ili čvrste. Vlažni rastresiti geološki vodiči imaju opet dosta niže vrijednosti električnog otpora od suhih. Tablica 1. prikazuje srednje, normalne (ne ekstremne) najčešće utvrđivane vrijednosti specifičnih otpora osnovnih geoloških vodiča (ili stijena ili vrsta tla).

Tablica 1.

Morska (slana) voda	0,2 —	0,3	Ω. m
Riječna (slatka) voda	20 —	40	Ω. m
Glina, ilovača	10 —	60	Ω. m
Crvenica	20 —	100	Ω. m
Pjeskovita glina	50 —	60	Ω. m
Glineni škriljavac	20 —	200	Ω. m
Lapor	20 —	300	Ω. m
Pijesak	100 —	800	Ω. m
Glinoviti pijesak	60 —	150	Ω. m
Pješčenjak	100 —	2 000	Ω. m
Šljunak	200 —	6 000	Ω. m
Šljunak sa glinom i 'zavodnjen'	80 —	400	Ω. m
Konglomerat	300 —	4 000	Ω. m
Vapnenac raspucan, rastrošen (karstificiran)	100 —	20 000	Ω. m
Vapnenac kompaktan	400 —	30 000	Ω. m
Dolomit	400 —	10 000	Ω. m
Gnajs i druge metamorfne stijene	500 —	20 000	Ω. m
Granit, gabro, dijabaz, bazalt i druge eruptivne stijene	600 —	100 000	Ω. m

Pri proračunu otpora rasprostiranja treba uzeti u obzir i okolnost da se specifični otpor tla mijenja u ovisnosti o klimatskim uvjetima i vremenu. Više vrijednosti otpora rasprostiranja opažaju se u zimskim, a niže u ljetnim mjesecima. Općenito se to tumači time što se porastom temperature u toku ljeta povisi koncentracija vodenih otopina u tlu, čime se smanjuje specifični otpor. Zimskih mjeseci temperatura jako padne i dolazi do smrzavanja vodenih otopina u tlu, čime poraste njihov specifični otpor, jer led ima veoma visok specifični otpor. Zbog te okolnosti izvode se danas sve više uzemljivači u obliku vertikalne cijevi ili štapa, jer će oni biti većim dijelom u onoj zoni podzemlja u kojoj nema više temperaturnih kolebanja.

U nas se cijeni za praktične zahvate interesantna dubina insolacije (tj. utjecaja temperaturnih promjena) na oko 1 m — posebno u pogledu utjecaja smrzavanja, što se može uzeti kao opća orijentacija pri projektiranju horizontalnih uzemljivača. Dalje se preporučuje kao opća mjera sigurnosti u korištenju površinskih naslaga tla za polaganje uzemljivača — kad nema višegodišnjih opažanja promjena specifičnog otpora tla — sljedeća korektura utvrđenih specifičnih otpora tla (tablica 2).

Tablica 2.

Iskustveno povećanje vrijednosti specifičnog otpora površinske naslage tla u ovisnosti o stanju tla na dan mjerenja

Stanje tla:	Povećanje:
— suho	10 — 20 %
— vlažno, mokro	20 — 30 %
— smrznuto	bez povećanja, jer je stvarna vrijednost i povoljnija od mjerene

3. MJERENJE SPECIFIČNOG OTPORA TLA

3.1. Mjerenje otpora tla mjerenjem struje i napona

Jednostavnu i vrlo dobro poznatu u elektrotehnici, ali već davno zastarjelu, metodu mjerenja otpora tla predstavlja mjerenje pomoću triju uzemljivača (elektrode). Kao uzemljivači odnosno elektrode upotrebljavaju se obično cijevi promjera 20 do 50 mm i dužine i do 2 m, koje se zabijaju u tlo na području predviđene uzemljivačke instalacije.

Ova metoda mjerenja otpora tla nije dovoljno točna. Osim toga njome se može utvrditi specifični otpor tla samo do dubine najviše 2 m. Ta je metoda nemoćna ako se želi utvrditi specifični otpor u nešto većoj dubini, a ne samo u površinskoj naslazi tla. Površinska naslaga može imati i sasvim malu debljinu, a naslage ispod nje mogu biti sasvim drukčijeg geološkog sastava.

3.2. Mjerenje specifičnog otpora tla geoelektričnim sondiranjem

Kod suvremene problematike tehnike uzemljenja treba ispitivati vodljivost tla (podzemlja) u veću dubinu od 2 m, a osim toga treba utvrditi specifični otpor, debljinu i dubinu pojedinih naslaga (slojeva) u podzemlju i u veću dubinu. U tu svrhu služi jedan postupak mjerenja u *geoelektrici*, koji se već više desetaka godina uspješno primjenjuje u sasvim druge svrhe — istraživanje (otkrivanje) energetskih i mineralnih sirovina, podzemne vode, u inženjerskoj geologiji i dr. = *geoelektrično sondiranje.*

Mjerenje otpora tla tim suvremenim postupkom, instrumenti za to mjerenje, kao i obrada te interpretacija podataka mjerenja također su već opisani u našoj znanstveno-stručnoj literaturi — prethodno spomenutoj. U geofizičkoj literaturi nalazi se dalje obilje podataka u geoelektričnom sondiranju. Ovdje treba naglasiti samo još ovo.

18881 20.20 400

Energija, god. 33/1984/6, 477—481

Kod praktičnih geoelektričnih sondiranja u različite svrhe najčešće se primjenjuje SCHLUMBERGEROV raspored elektroda zbog stanovitih prednosti. Kod mjerenja sa mjeračima uzemljenja (induktorima, npr. »Siemensovim«) primjenjuje se pak najčešće WENNEROV raspored elektroda. Naša praktična eksperimentalna ispitivanja obaju postupaka u svrhe i za potrebe u elektrotehnici, posebno u tehnici uzemljivanja, pokazala su da za utvrđivanje otpora tla do dubine oko 10 m skoro nema razlika u izgledu (obliku) odgovarajućih dijagrama geoelektričnog sondiranja ili su te razlike zanemarive. Korištenju geoelektrike u projektiranju uzemljivačkih instalacija posvećuje se u posljednje vrijeme posebno u SSSR-u, naročito u težim geološkim uvjetima (npr. A. V. VEŠEV i dr., 1978), veća pažnja.

4. VRSTE GEOLOŠKO-GEOELEKTRIČNIH PRESJEKA TLA —

Najprije treba razmotriti opće geološke »strukturne« značajke tla ili »podzemlja«.

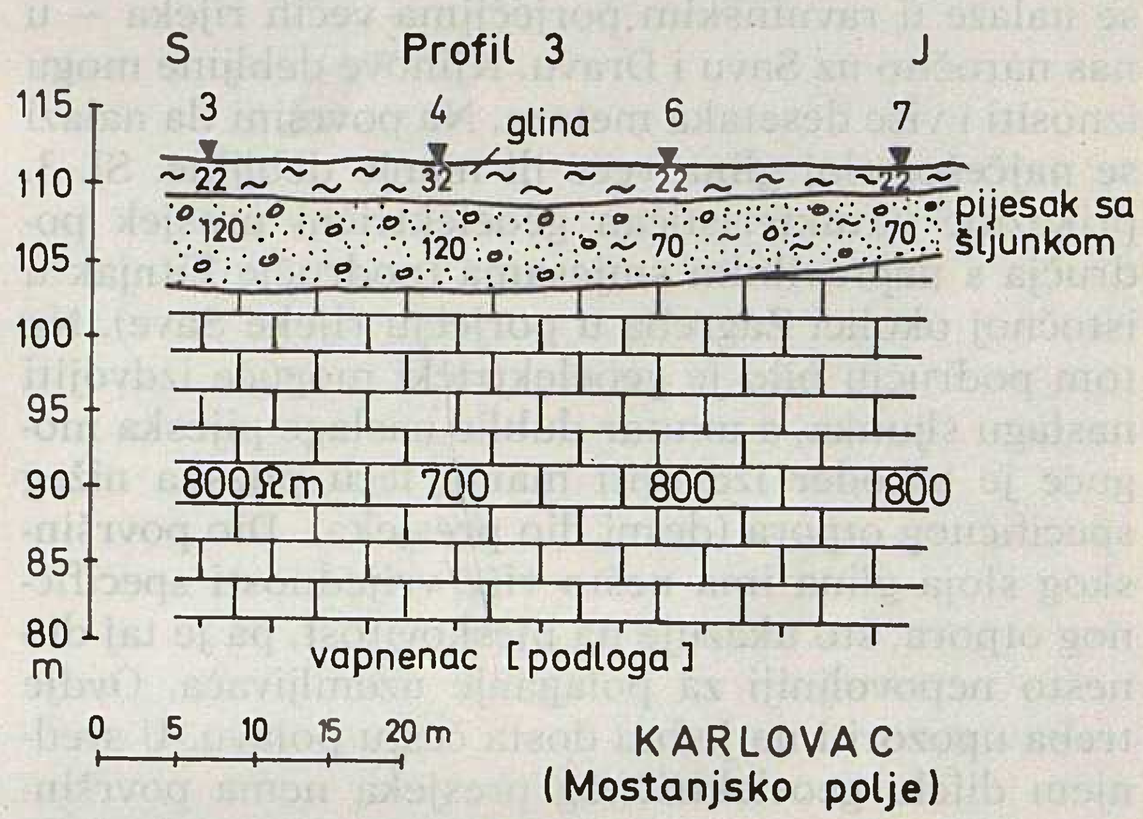
Tlo odnosno geološki vodiči mogu prema geološkoj strukturi biti:
— homogene, istovrsne pojave
— slojevite pojave
— nepravilne smjese.

Ovi geološki strukturni tipovi tla uvjetuju različite dijagrame geoelektričnog sondiranja, a prema potonjima odabire se određeni put interpretacije tih dijagrama. Geološki strukturni tipovi tla utvrđuju se odnosno procjenjuju na osnovi ranije izvršenih geoloških istraživanja, podataka bušenja ili na licu mjesta izvršenog geološkog rekognosciranja terena, na kojem treba izvršiti utvrđivanje (mjerenje) specifičnog otpora tla geoelektričnim sondiranjem.

4.1. *Homogenim pojavama* možemo smatrati one tipove tla koji se sastoje od samo jedne vrste stijene, prekrivene eventualnim humusnim slojem ili drugim pokrivačem neznatne debljine. Na nepokrivenim izdancima homogenih pojava, npr. lapora, dolomita, vapnenca, dobit će se kod geoelektričnog sondiranja odgovarajući jednolični dijagrami. Iz takvih dijagrama može se direktno očitati vrijednost specifičnog otpora dotičnog geološkog vodiča. Dijagram geoelektričnog sondiranja ima oblik vertikalne linije, pošto u homogenih pojava nema promjene specifičnog otpora po dubini. Sasvim homogene pojave rijetke su zapravo u prirodnim uvjetima. Na istovrsnoj, »homogenoj« stijeni ipak se nalaze promjene: to je u prvom redu raspucanost ili rastrošenost najgornjeg, površinskog, dijela stijene (naročito u kršu) ili pak razlike u stupnju vlažnosti.

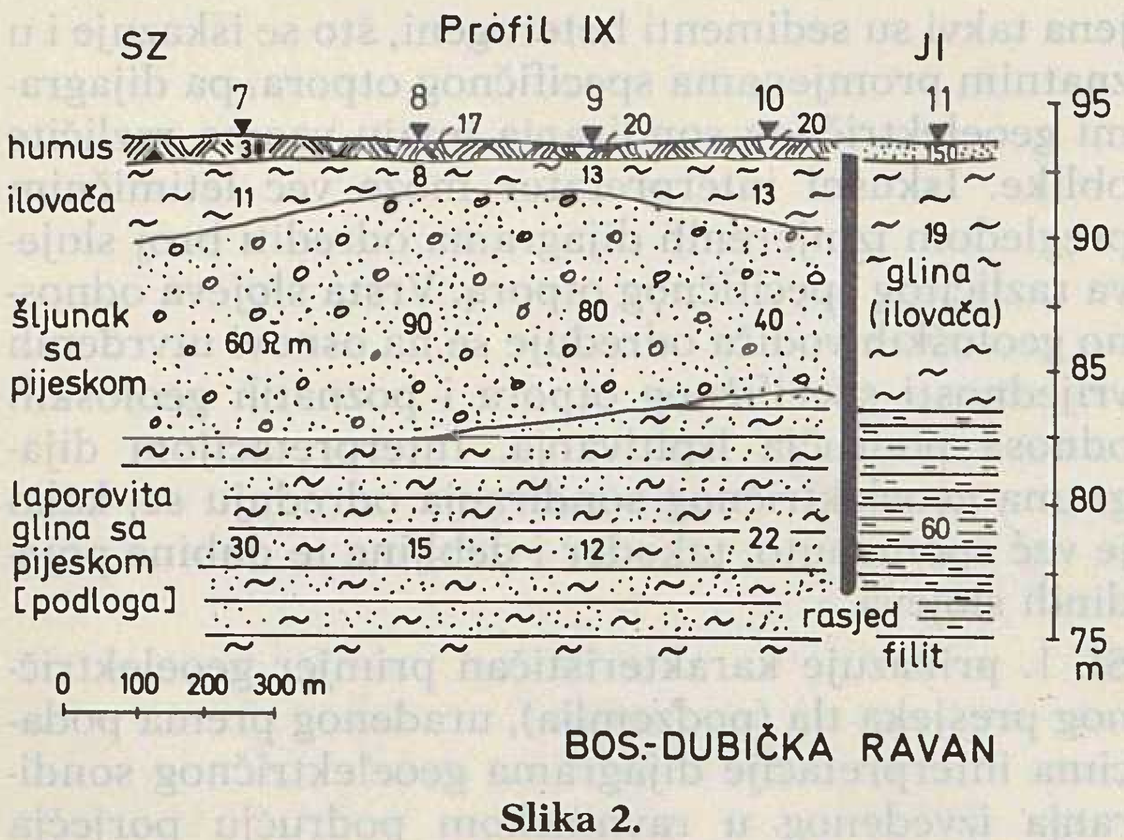
4.2. *Slojevita tla* sastoje se od slojeva različitih vrsta stijena. Slojevitost je većinom horizontalna ili slabo nagnuta, naročito u plićim dijelovima podzemlja, gdje se gotovo uvijek nalaze recentni ili geološki mlađi sedimenti. Zbog čestih litoloških i facijalnih promjena takvi su sedimenti heterogeni, što se iskazuje i u znatnim promjenama specifičnog otpora, pa dijagrami geoelektričnog sondiranja imaju veoma različite oblike. Iskusni interpretator može već letimičnim pregledom izmjerenih dijagrama odrediti broj slojeva različitog specifičnog otpora. Vrsta slojeva odnosno geoloških vodiča određuje se na osnovi utvrđenih vrijednosti specifičnog otpora i poznatih geoloških odnosa područja ispitivanja. Interpretacijom dijagrama geoelektričnog sondiranja određuju se, kako je već spomenuto, također i debljine te dubine pojedinih slojeva.

Sl. 1. prikazuje karakterističan primjer geoelektričnog presjeka tla (podzemlja), urađenog prema podacima interpretacije dijagrama geoelektričnog sondiranja izvedenog u ravninskom području porječja Mrežnice i Korane južno od Karlovca. Ispod sloja gline debljine 2 — 3 m i specifičnog otpora 20 — 30 Ω.m nalazi se sloj pijeska sa šljunkom debljine 5 — 6 m i specifičnog otpora 70 — 130 Ω.m. Kao tzv. »podloga« najmlađih sedimenata dolazi na ovom području geološki mnogo stariji vapnenac. Za polaganje uzemljivača preporuča se sloj gline vrlo povoljnog specifičnog otpora.



Slika 1.

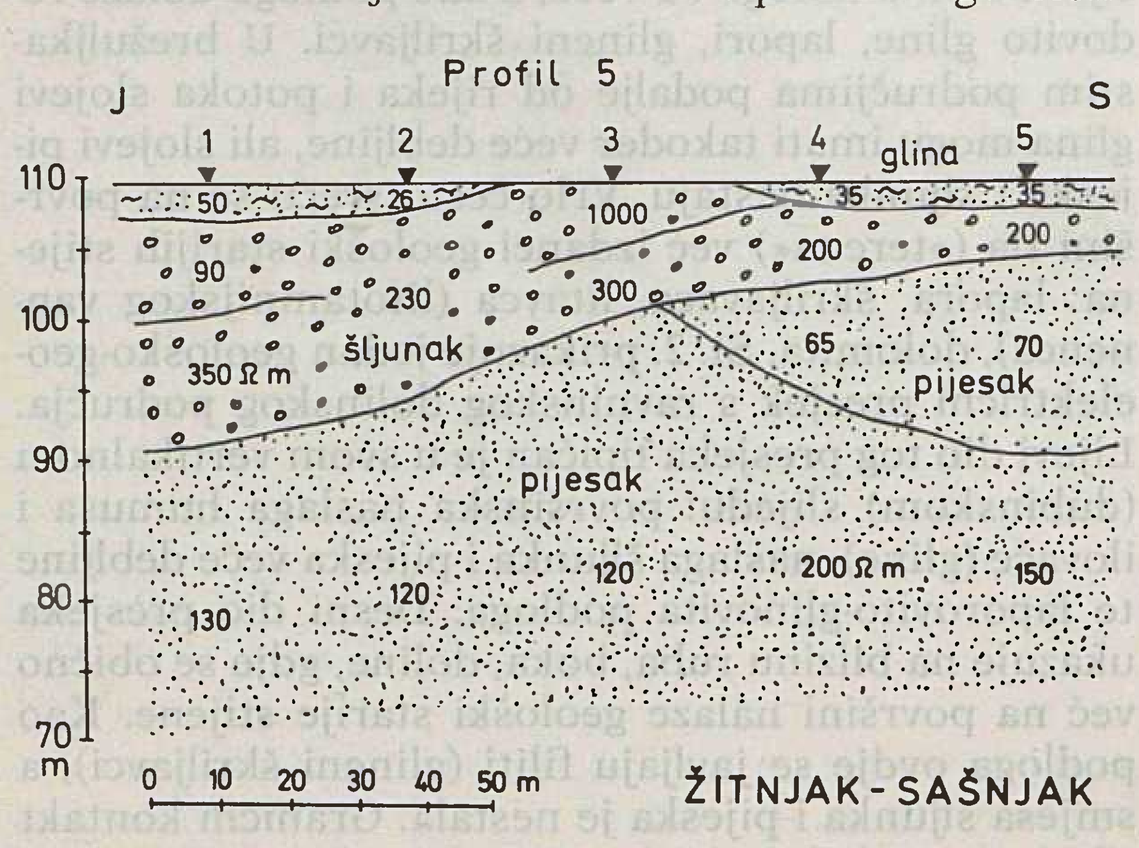
U mnogim područjima naših ravninskih riječnih dolina i okolnih brijegova debljine glina i pijesaka sa šljunkovima mnogo su veće, a kao podloga dolaze redovito gline, lapori, glineni škriljavci. U brežuljkastim područjima podalje od rijeka i potoka slojevi glina mogu imati također veće debljine, ali slojevi pijeska i šljunka nestaju. Vrlo često sreću se na površini tla (»terena«) već izdanci geološki starijih stijena: lapora, škriljavaca, litavca (litotamnijskog vapnenca), dolomita. Sl. 2. prikazuje jedan geološko-geoelektrični presjek s ravninskog dolinskog područja. Lijevi dio tog presjeka tipičan je u svom vertikalnom (dubinskom) slijedu: površinska naslaga humusa i ilovače (gline), naslaga šljunka i pijeska veće debljine te laporovito-glinovita podloga. Desni dio presjeka ukazuje na blizinu ruba, boka, doline, gdje se obično već na površini nalaze geološki starije stijene. Kao podloga ovdje se javljaju filiti (glineni škriljavci), a smjesa šljunka i pijeska je nestala. Granični kontakt tih dvaju različitih dijelova presjeka tla ima karakter



Slika 2.

oštrog diskontinuiteta geološke građe tla — naziva se rasjedom. Za polaganje uzemljivača u takvoj vrsti presjeka ili sastava tla preporuča se sloj ilovače u sjeverozapadnom dijelu, vrlo povoljnog specifičnog otpora.

4.3. *Nepravilne smjese* sastoje se najčešće od pijeska i šljunka sa valuticama i primjesama gline. Redovito se nalaze u ravninskim porječjima većih rijeka — u nas naročito uz Savu i Dravu. Njihove debljine mogu iznositi i više desetaka metara. Na površini tla nalazi se najčešće sloj glina veće ili manje debljine. Sl. 3. prikazuje karakterističan geoelektrični presjek područja s nepravilnim smjesama (područje Žitnjak u istočnoj okolici Zagreba u porječju rijeke Save). Na tom području bilo je geoelektrički moguće izdvojiti naslagu šljunka, a unutar dublje naslage pijeska moguće je također izdvojiti manju leću pijeska nižeg specifičnog otpora (desni dio presjeka). Dio površinskog sloja glina ima nešto više vrijednosti specifičnog otpora, što ukazuje na pjeskovitost, pa je taj dio nešto nepovoljniji za polaganje uzemljivača. Ovdje treba upozoriti na jednu dosta čestu pojavu. U srednjem dijelu geoelektričnog presjeka nema površinskog sloja gline, već se na samoj površini nalazi šljunak vrlo visokog specifičnog otpora 1 000 Ω.m, što je dakako vrlo nepovoljno za polaganje uzemljenja. Na slična nepovoljna područja naišlo se na više mjesta u dolinama rijeka Save i Drave prilikom geoelektričnih ispitivanja. O takvim pojavama treba voditi brigu, pa treba u slučajevima potrebnih izvedbi uzemljenja s traženim niskim vrijednostima otpora rasprostiranja izvršiti prethodna ispitivanja tla.

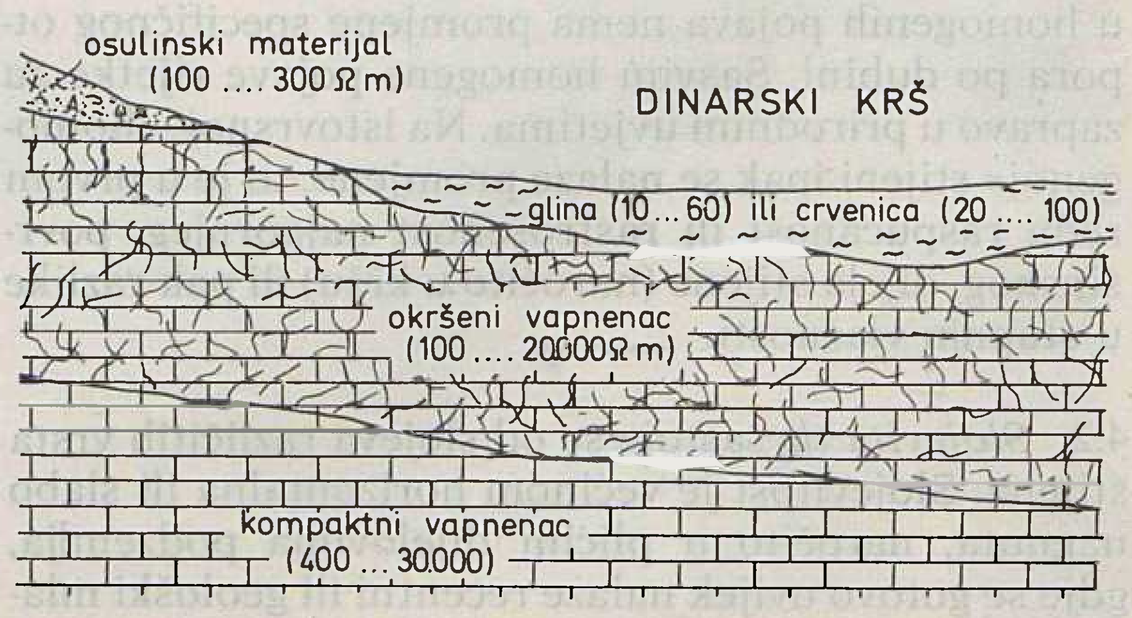


Slika 3.

4.4. Treba se osvrnuti i na geoelektrično-geološke prilike i uvjete našeg *dinarskog krša,* koji zauzima oko 1/3 našeg ukupnog državnog teritorija i to otoke, priobalnu zonu i dio unutrašnjosti u prostoru Dinarida. Veći dio tog područja sačinjavaju karbonatne stijene — vapnenci i dolomiti. Te stijene imaju u čvrstom, kompaktnom stanju specifični otpor preko 5 000 Ω.m, a često i do 30 000 Ω.m. Raspucane i zdrobljene te stijene imaju dosta nizak specifičan otpor ako se u njihovim pukotinama i šupljinama nalazi voda ili crvenica. Zbog mogućih velikih razlika i varijacija i raspucanosti, ali i u sastavu tih stijena s obzirom na čestu laporovitu komponentu, lako je shvatiti zašto karbonatnim stijenama variraju specifični otpori u dosta širokim granicama. Malokad će im, međutim, specifični otpor biti niži od 1 000 Ω.m (Z. KRULC, 1965).

Površina tla je u kršu veoma heterogena: naizmjence se javljaju veći ili manji izdanci stijena, a između njih glina ili crvenica (u vapnenačkim) ili pijesak (u dolomitnim predjelima). Zbog toga se sreću vrlo promjenljivi prijelazni otpori na elektrodama kod geoelektričnog sondiranja. Samo se na krškim poljima nalaze veće debljine naslaga glina, lapora, pijeska i šljunka. U blizini morske obale nailazi se i na prisutnost morske vode u raspucanim stijenama.

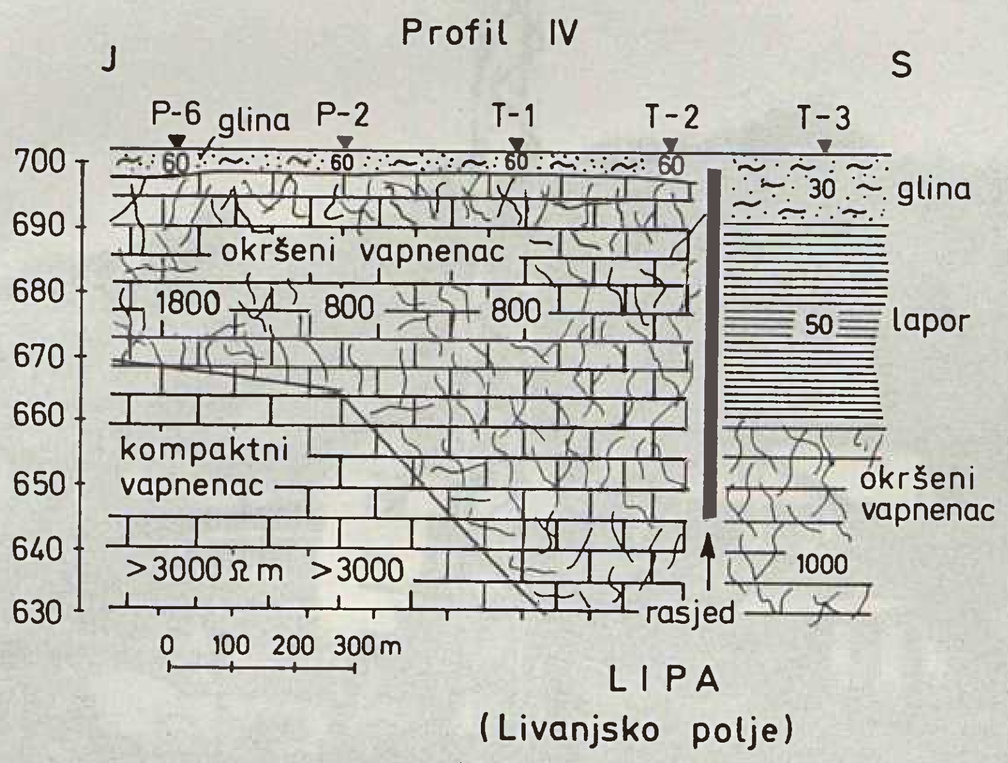
Strogo gledano, ne može se u području krša izdvojiti neki jasni geološki strukturni tip. U našem dinarskom kršu jako su razvijeni morfološki oblici pojavljivanja karbonatnih stijena: planinski povori i masivi (npr. Velebit, Dinara i dr.). Tu se te stijene zapravo javljaju kao homogene ili istovrsne pojave. Zbog karstifikacije (okršivanja) vapnenci kao glavni predstavnici karbonatnih stijena rijetko su homogeni ili kompaktni, već raspucani. Između izdanaka stijene često se nalaze tanje ili deblje naslage gline ili crvenice kao produkti trošenja vapnenaca. Na padinama brdovitih predjela nalaze se osulinski materijali. Sl. 4. prikazuje shematizirani geološko-geoelektrični presjek krškog područja. Prva »naslaga« karbonatne stijene (u našem slučaju vapnenca) sačinjava njezin karstificirani dio, ispod kojeg se u većoj ili manjoj dubini nalazi kompaktni dio. Tako se ipak dobiva slika ili



Slika 4.

privid »slojevite« geološke strukture. Stanovitu komplikaciju predstavljaju i hidrogeološki uvjeti u kršu: u pukotinama karbonatnih stijena nalazi se i podzemna voda, a u blizini obale česta su prodiranja morske, slane, vode u pukotine stijena. To, dakako, također pridonosi promjenama vrijednosti specifičnog otpora.

Sl. 5. prikazuje poseban, specifičan, primjer geološko-geoelektričnog presjeka iz područja krša — s jednog krškog polja. U lijevom, južnom dijelu profila utvrđena je suvisla površinska naslaga gline s pijeskom kao produkt okršivanja vapnenaca. Kompaktni dio karbonatne stijene dolazi u nešto većoj dubini i nepravilne je gornje plohe. U dijagramima geoelektričnog sondiranja može se interpretacijom odrediti dubina te granične plohe; kao vrijednost specifičnog otpora kompaktnog vapnenca utvrđena je na ovom području ona od preko 3 000 Ω.m. U desnom, sjevernom, dijelu profila utvrđen je diskontinuitet u građi tla — rasjedni kontakt okršenog vapnenca s laporima. Ispod lapora opet se nalazi okršeni vapnenac, a na njima deblji sloj gline kao produkt trošenja lapora.



Slika 5.

Za cijelo područje dinarskog krša preporuča se ispitivanje građe tla za potrebe projektiranja i izvođenja uzemljivačkih instalacija. Na to jasno upozorava prethodni opis geološko-geoelektrične građe tla u kršu, ali i velik broj pojedinačnih ispitivanja na različitim lokacijama. Na tešku situaciju u našem kršu upućuju i najnoviji radovi naših stručnjaka ne-geofizičke struke (S. MILUN, 1984; S. ŽUTOBRADIĆ, B. FILIPOVIĆ—GRČIĆ, 1984).

5. ZAKLJUČAK

Za točno određivanje specifičnog otpora tla treba koristiti suvremeni postupak geoelektričnog sondiranja. S obzirom na visok stupanj razvoja i stanja geoelektrike i u nas treba i u elektrotehnici prihvatiti geofizičku odnosno geološku terminologiju: treba koristiti geološke nazive vrsta tala (geoloških vodiča).

Primjena suvremenog geoelektričnog sondiranja važna je i zbog vrlo različitih tipova geološke strukture tla u našoj zemlji, posebno u području dinarskog krša.

LITERATURA

[1] FRITSCH, V., 1960: »Elektrische Messungen an räumlich ausgedehnten Leitern, besonders in der angewandten Geoelektrik.« Verlag G. Braun, Karlsruhe
[2] KRULC, Z., 1959: »Primjena geoelektrične metode geofizičkog ispitivanja u građevinarstvu.« »Geološki vjesnik«, 12, Zagreb
[3] KRULC, Z., 1964: »Određivanje specifičnog otpora tla geoelektričnim sondiranjem.« »Elektrotehn. vjesnik«, XVII (XXXI), 3—5, Ljubljana
[4] KRULC, Z., 1965: »Geoelektrična ispitivanja u dinarskom kršu.« »Geološki vjesnik«, 18/2, Zagreb
[5] KRULC, Z., 1966: »Geoelektrična mjerenja tla.« »Elektrotehnika«, IX, 3, Zagreb
[6] KRULC, Z., 1970: »Doprinos geoelektrike kod projektiranja gromobranskih instalacija i uzemljenja.« »II jugosl. savjetovanje o geoelektricitetu i gromobranima«, Referat R—7, Šibenik
[7] KRULC, Z., 1977: »Posebne primjene geoelektričnih istraživanja«. »Nafta«, 28, 5, Zagreb
[8] KRULC, Z., 1982: »Specifični otpor tla. Geoelektrična ispitivanja.« Seminar za projektante i izvođače gromobranske i elektrostatičke zaštite, Referat G/5, Nova Gorica
[9] MILUN, S., 1984: »Obrada rezultata geoelektričnog sondiranja nehomogenog tla.«
[10] VEŠEV, A. V. i dr., 1978: »Primenenie elektrorazvedki pri proektirovanii zazemljajuščih ustrojstv v uslovijah složnyh geoelektričeskih razrezah.« »VINITI«, No. 3134—78 Dep. Leningrad
[11] ŽUTOBRADIĆ, S., FILIPOVIĆ-GRČIĆ, B. 1984: »Proračun uzemljivača u jednoslojnom i dvoslojnom tlu.« »Elektrotehnika« 27, 1—2, Zagreb

SPECIFIC RESISTANCE OF GROUND — GEOLOGICAL — GEOELECTRICAL CUTS OF GROUND

In the article is described specific ground resistance from geofisic stand-point as only valid. Presented is table of average values (normal, mostly determined) of specific ground resistance of main geological lines. Shortly is described a modern way for measurement of specific ground resistance by geoelectric probing. Presented are few typical examples of geological-geoelectrical cuts of ground.

SPEZIFISCHER BODENWIDERSTAND. GEOLOGISCH — GEOELEKTRISCHE BODENDURCHMESSER

In der Arbeit spricht man über den Begriff des spezifischen Boden — widerstandes vom geophysischen Standpunkt als dem einzig richtigen. Geschildert wurde die Tabelle der mittleren (normalen, den meist festgestellten) Werte des spezifischen Widerstandes der wichtigsten geologischen Leiter. In Kürze wurde auf die modernen Messungsarten des spezifischen Bodenwiderstandes durch das geoelektrische Sondieren hingewiesen. Geschildert wurden auch einige typische Beispiele des geologisch — geoelektrischen Bodendurchmessers.

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТА. ГЕОЛОГИЧЕСКО-ГЕОЕЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕЧЕНИЯ ГРУНТА

В работе рассматривается полнятие удельного сопротивления грунта с геологической точки зрения, как единственно правильной. Приводится таблица средних (нормальных, наиболее часто устанавливаемых) значений удельного сопротивления главных геологических жил. Вкратце показан современый способ измерения удельного сопротивления грунта геоэлектрическим зондированием. Приводится несколько типичных примеров геологическо-геоэлектрических сечений грунта.

Naslov pisca:
dr Zvonimir Krulc, dipl. ing.
»Geofizika«, 41001 Zagreb,
Savska 64, Jugoslavija

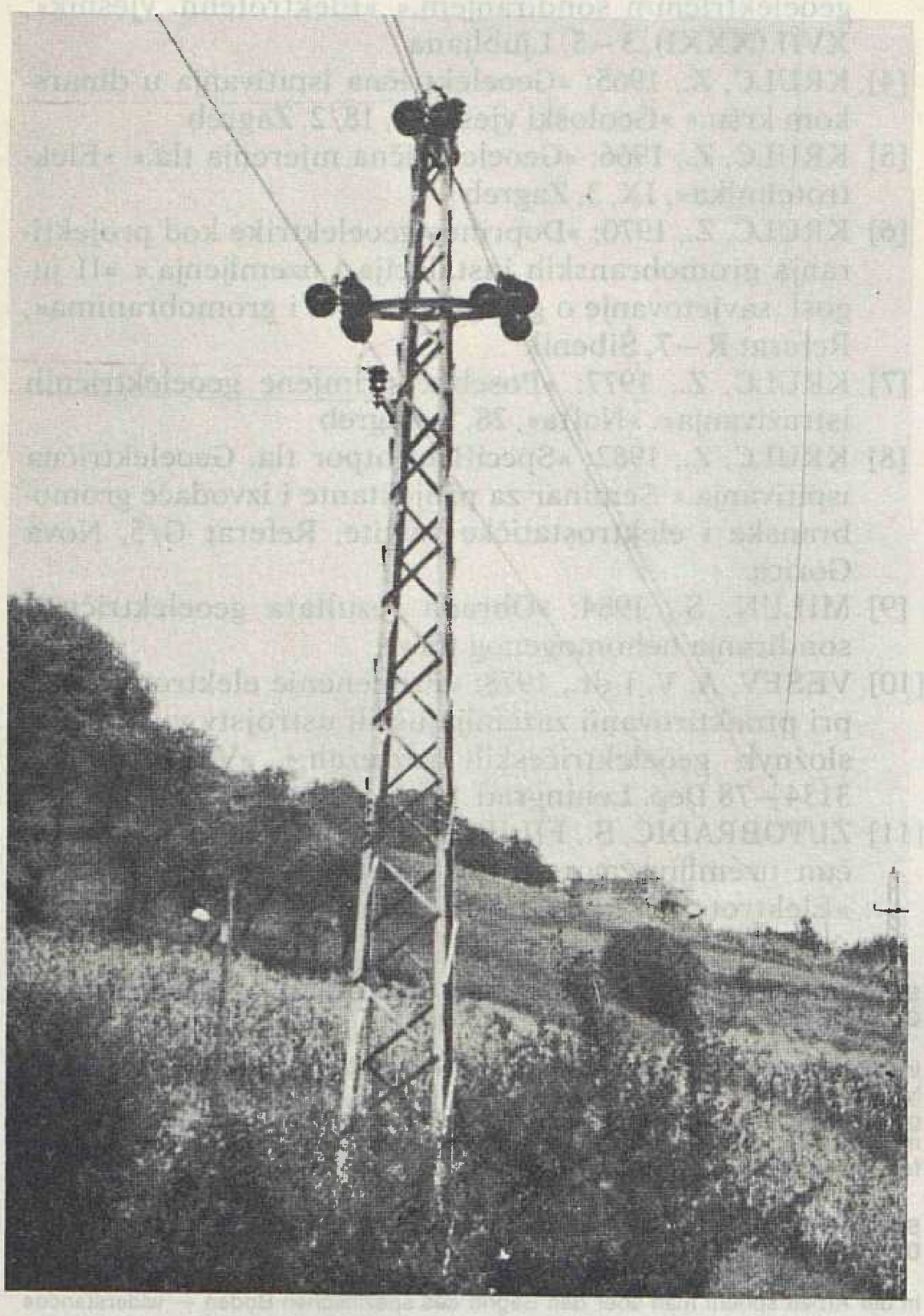
Uredništvo primilo rukopis
1984—07—28.

DALEKOVOD

Djelatnost

Za potrebe elektronergetskih objekata u zemlji i inozemstvu, projektiramo, gradimo i montiramo:

niskonaponske mreže i transformatorske stanice do 0,4 kV
visokonaponske vodove i transformatorske stanice do 20 kV
visokonaponske dalekovode do 400 kV
rasklopna postrojenja i transformatorske stanice do 400 kV
kontaktnu mrežu za elektrovuču
rasvjetu prometnica, industrijskih i sportskih objekata
građevno-montažne radove na objektima visine iznad 20 m, antenske i televizijske stupove,
industrijske hale i dvorane
polaganje podzemnih i podmorskih kabela do 35 kV.



Proizvodnja

Za potrebe domaćeg i inozemnog tržišta proizvodimo sljedeću opremu:

- ovjesnu i spojnu:

za mreže napona do 1 kV s golim i izoliranim vodičima
za visokonaponske vodove i transformatorske stanice do 400 kV
za kontaktnu mrežu za željeznice

- metalne konstrukcije

rasvjetne i reflektorske stupove
stupove za dalekovode, PTT vodove i kontaktnu mrežu
stupne transformatorske stanice, antenske i televizijske stupove
portale i nosače aparata za rasklopna postrojenja i semaforske portale za prometnice
čelične konstrukcije za dvorane i industrijske hale

Adresa: »Dalekovod« — Zagreb
41000 Zagreb, Proleterskih brigada 37
Tel.: 041/513-822, 041/217-777 Telex: 21719 yu dalvod, 21858 yu dalvod

RADIOAKTIVNA TEKUĆA ISPUŠTANJA IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA PWR TIPA

(usporedba izračunanih i izmjerenih vrijednosti)

mr Jure Ćurković — Vladimir Bradač, Zagreb

UDK 621.039.59

PRETHODNO PRIOPĆENJE

U radu je prikazano korištenje PWR – GALE računskog modela za procjenu radioaktivnih tekućih ispuštanja iz nuklearne elektrane PWR tipa, toplinske snage 3000 MWt.

Za komparaciju izračunanih količina radioaktivnih tekućih ispuštanja korištene su izmjerene vrijednosti ovih ispuštanja na 31 lokaciji nuklearnih elektrana u SAD, 6 lokacija u SR Njemačkoj te vrijednosti dobivene računskim modelom koji se koristi u SR Njemačkoj. Svi relevantni podaci za komparaciju izračunanih i izmjerenih vrijednosti radioaktivnih tekućih ispuštanja dani su u prilogu ovog rada.

Ključne riječi: nuklearne elektrane, TIP PWR, radioaktivna ispuštanja

I. UVOD

U normalnom radu nuklearne elektrane proizvode fisijske i aktivacijske radioaktivne produkte. Najveći dio proizvedenog radioaktivnog materijala ostane u gorivim elementima, dok se jedan manji dio preko različitih mehanizama ispusti u okolinu. Vrsta i količina radioaktivnog materijala ispuštenog u okolinu ovisi o tipu reaktora nuklearne elektrane i o specifičnim sistemima za tretiranje radioaktivnog otpada.

Prosječna količina radioaktivnog materijala koja se u toku normalnog pogona ispusti iz nuklearne elektrane u okolinu ovisi o tipu i veličini elektrane. Za nuklearne elektrane PWR tipa proračun ispuštenih radioaktivnih efluenata u normalnom pogonu može se provesti s PWR-GALE* računskim modelom (1). Proračuni napravljeni navedenim računskim modelom zasnivaju se na standarnim aktivnostima primarnog i sekundarnog hladioca izvedenim iz American Nuclear Society 18.1 (2), a tretiraju mehanizme ispuštanja i prijenosa koji rezultiraju pojavom radioaktivnog materijala u plinovitom i tekućem radioaktivnom otpadu, koji su obrađeni sa specifičnim karakteristikama projekta elektrane, a koriste se za smanjenje količine radioaktivnih materijala koji se ispuštaju u okolinu nuklearne elektrane.

Radioaktivni materijali ispušteni u okolinu mogu biti u tekućem i plinovitom obliku. U radioaktivnom tekućem materijalu ispuštenom u okolinu susreću se fisijski, korozijski i aktivacijski produkti te tricij. U radioaktivnom plinovitom materijalu ispuštenom u okolinu susreću se fisijski plemeniti plinovi (Kr, Xe), aktivacijski plinovi (Ar – 41, C – 14, N – 16, S – 35), tricij, halogeni elementi i čestice.

* Gaseous and Liquid Effluents

PWR – GALE računski model daje očekivana prosječna godišnja ispuštanja plinovitih i tekućih radioaktivnih efluenata.

Za proračun tekućih ispuštanja PWR – GALE računski model obuhvaća sljedeće izvore radioaktivnog materijala:

- vodu iz sistema za regulaciju bornom kiselinom
- drenažu primarnog dijela nuklearne elektrane
- tekući otpad iz sistema za odmuljivanje parogeneratora
- tekući otpad iz sistema za kemijsku obradu i demineralizaciju vode
- drenažu i elevaciju turbinske zgrade
- tekući otpad iz praonica, tuševa i sl. (detergenti, sapun i slične organske materije).

Uklanjanje radionuklida sistemom za obradu tekućeg otpada zasniva se na sljedećim parametrima:

a) radioaktivnom raspadu za vrijeme skupljanja i prerade
b) uklanjanju radioaktivnosti pomoću predloženih sistema za obradu (filtracija, ionska izmjena, evaporacija itd.).

U okviru ovog rada provest će se komparacija izračunanih vrijednosti radioaktivnih tekućih ispuštanja s PWR – GALE računskim programom s izmjerenim vrijednostima na 31 lokaciji u SAD, 6 lokacija u SR Njemačkoj, kao i sa izračunanim vrijednostima radioaktivnih tekućih ispuštanja prema računskom modelu koji se koristi u SR Njemačkoj.

2. SISTEMI ZA OBRADU TEKUĆEG OTPADA

Sistemi za obradu tekućeg otpada sastoje se od procesne opreme i instrumentacije nužne za pojedinač-

no skladištenje, obradu, praćenje radioaktivnosti, recirkulaciju ili ispuštanje tri kvalitete radioaktivnih ili potencijalno radioaktivnih tekućih efluenata (procesne i podne drenaže, kemijske drenaže i servisne drenaže) koji se skupljaju u sistemima za odzračivanje i ispust (drenažu).

Obrada uključuje odvajanje i koncentriranje visokoradioaktivnih efluenata iz tekućeg otpada, čija kvaliteta nakon toga dozvoljava ispuštanje iz postrojenja u okolinu.

Sistem ima dva spremnika za svaku kategoriju tekućih efluenata, a time je omogućeno da se jedan spremnik puni dok se sadržaj drugog obrađuje. Ovisno o rezultatima analize, sadržaj spremnika može se neutralizirati dodavanjem baznih ili kiselih reagensa, zatim se, ako je njegova radioaktivnost dovoljno niska, filtrira i odvodi u sistem za ispuštanje tekućeg otpada, a ako je radioaktivnost visoka, filtrira se i obrađuje u isparivaču. U isparivaču se visoko radioaktivni efluenti koncentriraju i prebacuju u sistem za obradu krutog otpada na pakiranje, a destilat se kondenzira, hladi i odvodi u spremnik kondenzata iz isparivača, direktno ili preko demineralizatora (miješani izmjenjivač, filtar za zadržavanje smola i sl.) na fino čišćenje. Ovisno o prirodi obrađivanih efluenata, u isparivač se mogu dodavati reagensi koji sprečavaju pjenušanje radi sprečavanja prijenosa koncentrata s destilatom. Sadržaj spremnika kondenzata se analizira, te se nakon provedene analize prebacuje u sistem za ispuštanje tekućeg otpada ili se vraća na ponovnu obradu.

Cijeli sistem smješten je u pomoćnoj reaktorskoj zgradi. Drenaža turbinske zgrade, za koju se očekuje da ima zanemarivu aktivnost, ispušta se nakon praćenja aktivnosti bez obrade. Ako aktivnost prijeđe određenu vrijednost, ova drenaža se obrađuje prije ispuštanja. Pretpostavlja se da će se svi tekući efluenti (procesne i podne drenaže, kemijske drenaže i servisne drenaže) osim odvoda praonica, ispustiti u okolinu. Analiza pokazuje da ispust iznosi približno 5,3 m^3/dan po reaktoru. Obrađena voda sadrži 0,37 GBq/god. po jedinici, osim tricija i plemenitih plinova, zajedno s 27,25 m^3/dan neobrađene vode iz turbinske zgrade koja sadrži dodatno 1,48 GBq/god. po reaktoru bez tricija i plemenitih plinova.

Smanjivanje količine radionuklida preko demineralizatora nije uključeno u proračun jer se upotreba demineralizatora predviđa prvenstveno za smanjenje efekta posebnih događaja, a ne za rutinsku obradu. U praksi se procjenjuje da će ispuštanje biti 4,16 m^3/dan obrađene vode sa sadržajem 0,222 GBq/god. po reaktoru bez tricija i plemenitih plinova zajedno s 1,14 m^3/dan po reaktoru neobrađene vode iz turbinske zgrade sa sadržajem 0,0148 GBq/god. bez tricija i plemenitih plinova. Otpad iz praonica koji sadrži detergente skuplja se u posebnom spremniku gdje se procesom reverzibilne osmoze uklanjaju detergenti i krute tvari prije obrade u isparivaču.

Procjenjuje se aktivnost u spremniku oko $3{,}7 \times 10^{-8}$ GBq prije obrade i količina 1,7 m^3/dan po reaktoru. U praksi se predviđa ispuštanje 20 % obrađenog otpada iz praonica zanemarive radioaktivnosti.

3. SISTEM ZA ISPUŠTANJE TEKUĆEG OTPADA

Sistem za ispuštanje tekućeg otpada omogućava ili ispuštanje tekućeg otpada iz konvencionalnog i nuklearnog dijela postrojenja u okolinu ili zadržavanje u spremnicima ako nisu postignuti uvjeti za njihovo ispuštanje u okolinu (zavisno od praćenja radioaktivnosti u sistemu za obradu tekućeg otpada), kao što su niski kapacitet razrjeđivanja, prekomjerna proizvodnja otpada, neraspoloživost sistema za obradu tekućeg otpada itd.

Puni kapacitet zadržavanja tekućeg otpada ne koristi se u normalnom pogonu. Raspoloživ je samo za akcidentalne situacije. Sastoji se od tri istovjetna spremnika s pumpama koje služe za miješanje sadržaja spremnika prije uzimanja uzoraka za ispuštanje iz postrojenja ili za vraćanje tekućeg otpada na ponovnu obradu u sistem za obradu tekućeg otpada.

Tekući otpad iz nuklearnog dijela postrojenja ili nije radioaktivan ili se njegova radioaktivnost prati u sistemu za obradu tekućeg otpada. U oba slučaja tekući otpad se ispušta iz postrojenja. Po potrebi, ovisno o rezultatima praćenja radioaktivnosti u sistemu za obradu tekućeg otpada, ovakav tekući otpad skladišti se u spremnicima sistema za ispuštanje.

Tekući otpad iz konvencionalnog dijela ispušta se iz postrojenja. Linija ispuštanja opremljena je sistemom za praćenje radioaktivnosti, mjeračem protoka i izolacijskim ventilom, jer konvencionalni tekući otpad može sadržavati sekundarnu vodu iz sistema za odmuljivanje generatora pare koja može biti radioaktivna.

Ovisno o signalu za visoku radijaciju ispuštanje se automatski prekida i tekući otpad se odvodi u spremnike. Dva spremnika se mogu napuniti, a treći mora ostati u rezervi.

4. SISTEM ZA RECIKLAŽU

Za vrijeme rada postrojenja količina primarnog hladioca i koncentracija bora moraju se podešavati radi kompenzacije sljedećih stanja: puštanja u pogon, obustava, zamjena goriva, gubitak primarnog hladioca itd. Sistem za kemijsku i volumnu kontrolu održava količinu i kvalitetu primarnog hladioca te podešava koncentraciju bora u primarnom hladiocu u vrijeme navedenih stanja. Istjecanje primarnog hladioca kapaciteta 0,23 m^3/min nakon hlađenja i redukcije pritiska obrađuje se prolaskom kroz jedan od dva demineralizatora (miješani izmjenjivač). Približno 12 % ovog istjecanja prolazi kroz dodatni kationski demineralizator radi uklanjanja prekomjerne količine litija i cezija. Podešavanje koncentracije bora u primarnom hladiocu vrši se prolaskom jednog dijela istjecanja kroz sistem za termalnu regeneraciju bora. Jedan dio obrađenog istjecanja otprilike 0,0057 m^3/min odvodi se kao kompenzacijsko oduzimanje u sistem za reciklažu bora.

Sistem za reciklažu bora dekontaminira vodikom zasićene efluente primarnog hladioca (koji rezultiraju

od navedenih stanja) putem demineralizacije i odvajanja plinova, a zatim ih odvaja isparavanjem u 4 %-tnu težinsku otopinu borne kiseline i demineraliziranu vodu reaktorske čistoće, koja se ponovo upotrebljava kao napojna voda u sistemu primarnog hladioca. Time se ne smanjuje količina napojne vode potrebne u sistemu primarnog hladioca, već se smanjuje količina tekućeg radioaktivnog otpada za obradu u sistemu za obradu tekućeg otpada.

Sistem se sastoji od sekcije za čišćenje, odvajanje i deboriranje. Sekcija za pročišćavanje sastoji se od spremnika i dviju paralelnih linija s time da je jedna rezervna. Tekući efluenti koji sadrže otopljene plinove, bornu kiselinu i krute čestice dovode se u spremnik koji se održava pod pritiskom dušika, radi sprečavanja ponovne oksidacije i ispuštanja radioaktivnih plemenitih plinova u atmosferu. Sadržaj spremnika miješa se radi sprečavanja taloženja krutih čestica na dnu spremnika. Napojnom pumpom cirkuliraju efluenti kroz sistem za filtriranje i demineralizaciju (fini filtar, miješani izmjenjivač, kationski izmjenjivač) i kroz odvajač nekondenzirajućih efluenata u sekciju za odvajanje. U sekciji za odvajanje pročišćeni efluenti skladište se u dva el. grijana spremnika. Pumpe za miješanje omogućavaju homogenizaciju sadržaja spremnika, kao i prebacivanje sadržaja iz jednog spremnika u drugi. Prije obrade sadržaj spremnika se analizira. Odvajanje pročišćenih efluenata u demineraliziranu vodu reaktorske čistoće i otopinu borne kiseline provodi se u isparivaču. Koncentrat iz isparivača (otopina borne kiseline) nakon hlađenja odvodi se u spremnik gdje se koncentracija bora može podesiti. Ovisno o rezultatima analize koncentrat se podvrgava jednoj od ovih operacija:

a) podešavanje na 4 %-tnu težinsku otopinu borne kiseline s vodom reaktorske čistoće, skladištenje u spremnik borne kiseline,
b) u sistemu dodatne vode primarnog kruga
   — ponovnoj obradi
   — ispuštanju u sistem podne drenaže na neutralizaciju i koncentriranje u isparivaču sistema obrade tekućeg otpada prije odlaganja ako kvaliteta nije zadovoljavajuća
   — direktnom ispuštanju u sistem obrade krutog otpada na odlaganje,

Kondenzat se usmjerava na jedno od sljedećih mjesta:

— spremnik dodatne vode ako je obrada zadovoljavajuća
— spremnik dodatne vode preko demineralizatora za deboriranje i odgovarajućih filtara ako je sadržaj bora previsok
— povrat za ponovnu obradu, ako je potrebno
— na ispuštanje u sistem za obradu tekućeg otpada, ako nije moguća ponovna obrada ili je potrebno smanjiti koncentraciju tricija.

Analiza predviđa da će se približno 10% kondenzata ispustiti u okolinu. U praksi se uzima da će se recirkulirati čitav tok sistema za reciklažu bora i zato se specificira količina koja se ispušta u okolinu.

5. SISTEM ZA ODMULJIVANJE GENERATORA PARE

Sistem služi za kontrolu kemijskog sastava vode na sekundarnoj strani generatora pare (zajedno sa sistemom za dodavanje kemijskih reagensa i sistemom za uzimanje uzoraka).

U tu svrhu sistem omogućava kontinuirano istjecanje vode na sekundarnoj strani koja prolazi kroz filtre, isparivač i po potrebi kroz liniju za demineralizaciju (kationski i miješani izmjenjivač), a zatim se vraća u spremnik kondenzata na ponovnu upotrebu ili u sistem za ispuštanje tekućeg otpada.

Kapacitet sistema je 27,25 m^3/h. Analiza pretpostavlja 100%-tno ispuštanje obrađene vode koja ima aktivnost manju od 0,37 *GBq/god* po reaktoru bez tricija i plemenitih plinova. U praksi se predviđa da će 20% obrađene vode s aktivnosti 0,0185 *GBq/god* po reaktoru, bez tricija i plemenitih plinova, biti ispušteno u okolinu.

6. ISPUŠTANJA RADIOAKTIVNIH TEKUĆIH EFLUENATA PREMA PWR-GALE RAČUNSKOM MODELU

Proračun prosječnih godišnjih ispuštanja tekućeg radioaktivnog materijala, prema ovom računskom modelu, proveden je za NE PWR tipa toplinske snage reaktora 3 000 *MWt*. Ulazni podaci koji su korišteni u ovom proračunu uzeti su iz (2,3). Korišteni ulazni podaci mogu se podijeliti u dvije skupine, i to:

a) osnovne ulazne podatke (tabl. 1) koji se koriste za procjenu tekućih i plinovitih ispuštanja radioaktivnog materijala,
b) specifične ulazne podatke (tabl. 2) koji se koriste za procjenu tekućih ispuštanja radioaktivnog materijala

Na temelju ulaznih podataka danih u tabl. 1. i 2, ovim računskim modeldom procijenjena su prosječna godišnja ispuštanja radiaktivnosti u okolinu za nuklearnu elektranu PWR tipa. Dobiveni rezultati su dani u tab. 3. Iz ove tablice može se vidjeti da je najznačajnije ispuštanje tricija (^3H) u okolinu koje iznosi 14,06 */TBq. (GWe god)$^{-1}$/*.

Ispuštanje ostalih radionuklida bilo da se radi o korozijskim i aktivacijskim produktima ili o fisijskim produktima su višestruko manja, što ne znači da se njihov utjecaj na okolinu može zanemariti.

7. IZMJERENA GODIŠNJA TEKUĆA ISPUŠTANJA IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA PWR TIPA U SAD I SR NJEMAČKOJ

Da bi se dobila slika o stvarnim ispuštanjima iz nuklearnih elektrana, u nastavku se daje pregled ispuštanja radioaktivnog tekućeg materijala iz nuklearnih elektrana u SAD i SR Njemačkoj.

Tablica 1.

Opći podaci koji se koriste za procjenu ispuštanja radioaktivnog materijala iz nuklearne elektrane PWR tipa

Tip reaktora		PWR
Toplinska snaga reaktora	(MJ/s)	3 000
Faktor iskoristivosti elektrane		0,80
Masa primarnog hladioca	(kg)	235 868
Postotak goriva s oštećenom košuljicom	(%)	0,12
Količina ispusta primarnog hladioca	(m^3/s)	0,004 732
Količina ispusta preko kationskih demineralizatora	(m^3/s)	0,000 473
Broj generatora pare		3
Ukupna količina pare	(kg/h)	5 896 701
Količina pare u svakom generatoru pare	(kg)	3628,74
Količina tekućine u svakom generatoru pare	(kg)	60 328
Količina vode u generatorima pare	(kg)	180 983
Ukupna količina sekundarnog hladioca	(kg)	907 185
Količina odmuljivanja generatora pare	(kg/h)	3 629
Propuštanje s primarne strane na sekundarnu stranu	(kg/h)	1,89
Vrijeme regeneracije demineralizatora kondenzata	(h)	672
Dio fisionih produkata koji se prenose s primarne na sekundarnu stranu		0,001
Dio halogenih elemenata koji se prenose s primarne na sekundarnu stranu		0,01
Dio protoka kroz demineralizatore kondenzata		0,65
Protok za razrjeđenje radioaktivnog otpada	(m^3/s)	0,695

U tabl. 4. dana su prosječna godišnja ispuštanja radioaktivnih tekućih efluenata bez tricija iz nuklearnih elektrana SAD za 1979. god. Ova ispuštanja su prikupljena na 31 lokaciji nuklearnih elektrana u SAD.

U tabl. 5. dana su prosječna godišnja ispuštanja radioaktivnog tekućeg materijala osim tricija iz 31 nuklearne elektrane u SAD za razdoblje 1975—1979. god. Iz te tablice se vidi da prosječno godišnje ispuštanje radioaktivnog materijala iz svih analiziranih nuklearnih elektrana, osim tricija, za razdoblje

Tablica 3.

Procjenjena godišnja ispuštanja radionuklida u površinske vode prema GALE računskom modelu

Radionuklid	Vrijeme poluraspada *(dani)*	Ispuštanje GBq · $(GW_e \cdot god)^{-1}$
Korozijski i aktivacijski produkti		
Cr – 51	2.78 E 01	0.00518
Mn – 54	3.03 E 02	0.03700
Fe – 55	9.50 E 02	0.00481
Fe – 59	4.50 E 01	0.00333
Co – 58	7.13 E 01	0.19610
Co – 60	1.92 E 03	0.32930
Zr – 95	6.50 E 01	0.0518
Nb – 95	3.50 E 01	0.074
Np – 239	2.35 E 00	0.00222
Fisijski produkti		
Br – 83	1.00 E – 01	0.00148
Rb – 86	1.87 E 01	0.00037
Sr – 89	5.20 E 01	0.00111
Mo – 99	2.79 E 00	0.14800
Tc – 99 M	2.50 E – 01	0.10730
Ru – 103	3.96 E 01	0.00518
Ru – 106	3.67 E 02	0.0888
Ag – 110 M	2.53 E 02	0.01628
Te – 127 M	1.09 E 02	0.00074
Te – 127	3.92 E – 01	0.00074
Te – 129 M	3.40 E 01	0.00370
Te – 129	4.79 E – 02	0.00222
I – 130	5.17 E – 01	0.00555
Te – 131 M	1.25 E 00	0.00259
I – 131	8.05 E 00	3.10800
Te – 132	3.25 E 00	0.04070
I – 132	9.58 E – 02	0.09620
I – 133	8.75 E – 01	1.48000
Cs – 134	7.49 E 02	0.66600
I – 135	2.79 E – 01	0.28490
Cs – 136	1.30 E 01	0.08140
Cs – 137	1.10 E 04	1,0360
Ba – 137 M	1.77 E – 03	0.12580
Ba – 140	1.28 E 01	0.00037
La – 140	1.67 E 00	0.00037
SVI OSTALI	1.67 E 00	0.00222
Ukupno (bez tricija)		8.00976
Ispuštanje tricija TBq $(GWe\text{-}god)^{-1} = 14.06$		

Tablica 2.

Podaci relevantni za procjenu tekućih ispuštanja iz nuklearne elektrane PWR tipa

Tok	Količina *(m^3/h)*	Dio koji se pročišćava	Dio koji se ispušta	Vrijeme sakupljanja *(dana)*	Vrijeme raspada *(dana)*	Faktor dekontaminacije		
						I	C_s	Ostali
Recirkulacija bora	0.227	1.000	0.100	23.000	1.100	1.00E+04*	1.00E+05	1.00E+05
Drenaža opreme	0.047	1.000	0.100	23.000	1.100	1.00E+04	1.00E+05	1.00E+05
Čisti otpad	0.148	0.070	1.000	5.800	0.220	1.00E+04	2.00E+04	1.00E+05
Prljavi otpad	0.0686	0.085	1.000	5.800	0.220	1.00E+04	2.00E+04	1.00E+05
Odmuljivanje	3.628		0.000	0.000	0.000	1.00E+03	1.00E+02	1.00E+03
Neobrađeno odmuljivanje	0.000		0.000	0.000	0.000	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Otopine za regeneraciju	0.5363		0.100	4.800	0.440	1.00E+04	1.00E+05	1.00E+05

* $1.00E+04 = 1.00 \times 10^4$

Tablica 4.

Prosječna godišnja ispuštanja radioaktivnih tekućih efluenata (osim tricija) iz nuklearnih elektrana 1979. god.

Radionuklidi	Ukupno proizvedena električna energija $/GW_e \cdot god/$	Prosječna ispuštanja $/GBq(GW_e \cdot god)^{-1}/$
I – 131		4.600
I – 132		0.310
I – 133		1.700
I – 134		0.240
I – 135		0.680
Na – 24		1.100
Cr – 51		4.600
Mn – 54		2.200
Mn – 56		0.085
Co – 57		0.084
Co – 58		46.000
Fe – 59		0.710
Co – 60		17.000
Zn – 65		0.120
Sr – 89		0.540
Sr – 90		0.086
Zr – 95	19.165	1.000
Zr – 97		0.0084
Nb – 95		0.600
Nb – 97		0.230
Mo – 99		0.380
Tc – 99M		0.087
Ru – 103		0.230
Ru – 106		0.120
Ag – 110N		0.630
Sb – 124		0.350
Sb – 125		0.760
Cs – 134		4.400
Cs – 136		0.210
Cs – 137		7.700
Ba/La – 140		0.290
Ce – 141		0.160
Ce – 144		0.570

1975—1979. god. iznosi 176,6 $/GBq(GWe\ god)^{-1}/$. Također se iz navedene tablice može zaključiti da ukupna godišnja ispuštanja značajnije variraju od godine do godine i od elektrane do elektrane. Naime, općenito se može konstatirati da su značajnija ispuštanja kod starijih elektrana iako i ovdje ima izuzetaka.

U tabl. 6. dana su prosječna godišnja tekuća ispuštanja radionuklida osim tricija za 5 nuklearnih elektrana PWR tipa u SR Njemačkoj, za razdoblje

Tablica 5.

Prosječna godišnja tekuća ispuštanja radionuklida (bez tricija) za neke elektrane SAD u razdoblju 1975 – 1979.

Nuklearna elektrana	Prosječna godišnja ispuštanja osim tricija *(GBq)*				
	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.
Arkansas 1	115	485	167	223	114
Arkansas 2	—	—	—	—	48
Beaver Valley 1	—	6.3	24	9.7	4.5
Calvert Cliffs 1	53	44	129	227	289
Cook 1	9.6	69	56	55	95
Crystal River	—	—	0.57	1.1	15
Davis Besse	—	—	0.96	3.3	1.6
Joseph M. Farley	—	—	—	3.7	2.2
Fort Calhoun	13	20	13	22	9.0
R. E. Ginna	16	26	2.4	2.2	3.2
Haddam Neck	44	4.8	63	35	32
Indian Point	182	184	112	111	87
Kawaunee	27	105	47	26	33
Maine Yankee	119	105	16	3.8	17
Millstone Point 2	0.74	9.6	57	103	180
North Anna	—	—	—	9.9	22
Oconee 1, 2, 3	187	293	1340	241	34
Palisades	128	16	3.4	3.6	4.7
Point Beach 1, 2	87	120	56	25	27
Prairie Island 1, 2	17	3.7	0.49	0.18	0.33
Rancho Seco	0.37	—	—	—	—
H. B. Robinson	17	14	12	6.6	11
St. Lucie	—	3.0	215	104	99
Salem 1	—	0.37	107	148	147
San Onofre 1	45	275	364	437	407
Surry 1, 2	343	1246	2424	89	94
Three Mile Island 1	2.6	3.7	7.2	23	18
Trojan	—	102	155	26	21
Turkey Pt. 3, 4	114	320	329	123	15
Yankee Rowe	0.74	0.37	0.67	3.0	0.43
Zion 1, 2	0.37	5.9	35	35	26
Prosječna god. ispuštanja $/GBq(GWe{\cdot}god)^{-1}/$	105.9	224.4	340.6	115.0	97.0
Prosječno godišnje ispuštanje radionuklida bez tricija za razdoblje 1975 – 1979. = 176.6 GBq(GWe·god)$^{-1}$					

1974—1978. god. Iz podataka danih u tabl. 6. može se zaključiti da su prosječna godišnja ispuštanja radioaktivnog tekućeg materijala oko 4 puta manja u odnosu na ista u SAD, i iznose 40,104 $/GBq(GWe\ god)^{-1}/$.

U tabl. 7. dana su prosječna godišnja ispuštanja svakog pojedinog radionuklida bez tricija za nuklearne elektrane PWR tipa u SR Njemačkoj. Usporede li se podaci dani u tabl. 4. za elektrane u SAD s podacima danim u ovoj tablici za elektrane u SR Njemačkoj, može se konstatirati da su prosječna godišnja ispuštanja svakog pojedinog radionuklida iz elektrane u SR Njemačkoj 5 – 10 puta manja od ispuštanja iz elektrana u SAD.

U tabl. 8. dana su prosječna godišnja ispuštanja tricija iz nuklearnih elektrana u SAD, a u tabl. 9. za nuklearne elektrane u SR Njemačkoj u razdoblju od 1975. do 1979. god. Prosječno godišnje ispuštanje tri-

Tablica 6.

Prosječna godišnja tekuća ispuštanja radionuklida (bez tricija) za elektrane PWR tipa u SR NJ u razdoblju 1974 — 1978.

Nuklearna elektrana	God. puštanja u pogon	Instalirana električna snaga *(GWe)*	Ispuštanje (GBq)				
			1974.	1975.	1976.	1977.	1978.
Obrigheim	1968.	0.345	112.85	63.64	36.26	12.22	6.29
Stade	1972.	0.630	14.43	9.99	12.21	13.69	3.7
Biblis A	1974.	1.089	22.2	27.38	8.14	3.7	4.81
Biblis B	1976.	1.178	–	–	10.73	1.11	4.44
Neckarwestheim	1976.	0.810	–	–	8.88	5.55	1.11
Ukupno instalirana električna snaga (*GWe*)		4.052	2.064	2.064	4.052	4.052	4.052
Ukupno proizvedena* električna energija (*GWe·god*)		3.039	1.548	1.548	3.039	3.039	3.039
Prosječno godišnje ispuštanje radionuklida (bez tricija) za razdoblje 1974 — 1978. = 41,104 GBq$(GWe \cdot god)^{-1}$							

* Ukupno proizvedena električna energija za elektane u SR NJ dobivena je uz pretpostavku faktora iskorištenja nuklearne elektrane od 0,75

Tablica 7.

Prosječna godišnja ispuštanja radioaktivnih tekućih efluenata (bez tricija) iz nuklearnih elektrana

Radionuklid	% od prosječnih god. ispuštanja radioaktivnih tekućih efluenata iz nuklearne elektrane					Srednja vrijednost od 1, 2, 3, 4, 5	Prosječna ispuštanja GBq$(GWe \cdot god)^{-1}$
	OBRIGHEIM	STADE	BIBLIS A	BIBLIS B	NECKAR-WESTHEIM		
	1	2	3	4	5	6	7
Cr – 51	1.9	5.8	0.23	0.25	8.7	3.376	1.388
Mn – 54	1.3	1.38	1.91	0.15	4.6	1.868	0.775
Co – 57	0.04	0.04	0.02	3.E – 3	–	0.021	0.009
Co – 58	4.7	5.58	10.1	2.6	17.1	8.016	3.295
Fe – 59	–	0.14	–	0.08	0.42	0.128	0.053
Co – 60	50.0	24.6	37.2	1.6	12.8	25.24	10.374
Zn – 65	–	0.05	–	–	–	0.010	0.004
Sr – 89	0.43	–	0.53	0.62	0.12	0.340	0.140
Sr – 90	0.08	0.27	0.04	0.11	0.10	0.120	0.049
Zr – 95	–	1.78	0.90	2.3	0.29	1.054	0.433
Nb – 95	0.14	3.45	3.48	5.5	2.0	2.914	1.198
Ru – 103	0.06	1.64	1.02	2.2	–	0.984	0.404
Ag – 110M	0.84	15.7	0.40	0.39	0.56	3.578	1.471
Te – 123M	–	–	2.46	2.3	3.3	1.612	0.662
Sb – 124	–	5.23	19.3	23.3	43.9	18.346	7.540
Sb – 125	–	1.47	0.14	0.02	0.04	0.334	0.136
I – 131	1.1	3.0	3.62	2.2	0.12	2.008	0.824
Cs – 134	6.7	7.33	4.12	15.3	1.2	6.930	2.847
Cs – 137	25.5	12.1	13.5	37.3	4.6	18.600	7.644
Ba – 140	0.02	0.17	–	–	–	0.038	0.015
La – 140	–	0.60	0.02	–	–	0.124	0.051
Ce – 141	–	0.03	0.36	0.69	–	0.216	0.089
Ce – 144	0.28	4.20	0.64	2.5	–	1.524	0.626
Ostali	6.91	5.44	0.01	0.587	0.15	2.619	1.077
Suma	100	100	100	100	100	100	41.104

Tablica 8.

Prosječna godišnja ispuštanja tricija iz nuklearnih elektrana u SAD za razdoblje 1975 – 1979.

Nuklearna elektrana	Godina puštanja u pogon	Proizvedena električna energija (GW_e god)	Ispuštanje H – 3 (TBq)				
			1975.	1976.	1977.	1978.	1979.
Arkansas 1	1974.	0.397	17	7.8	9.1	10.8	6.2
Arkansas 2	1979.	0.916	–	–	–	–	1.95
Beaver Vally	1976.	0.221	–	0.32	4.0	12.9	3.5
Calvert Cliffs 1,2	1975/77.	1.161	9.7	10	21	16.8	19
Cook 1,2	1975/78.	1.373	2.1	7.1	11	23	45
Crystal River	1977.	0.453	–	–	6.1	5.7	6.1
Davis Besse	1977.	0.381	–	–	0.33	8.0	9.1
Joseph M. Farley	1978.	0.211	–	–	–	2.2	3.5
Fort Calhoun	1973.	0.440	4.1	4.5	5.8	5.6	9.5
R. E. Ginna	1969.	0.355	9.6	8.9	4.4	8.9	8.9
Haddam Neck	1967.	0.493	210	179	247	146	131
Indian Point	1973.	1.142	2.9	12	14	28.4	18.2
Kewaunee	1974.	0.412	10	6.7	11	10.9	9.2
Maine Yankee	1972.	0.537	6.5	14	5.7	11.7	7.5
Millstone Point 2	1975.	0.520	0.28	10	7.8	7.4	9.4
North Anna	1978.	0.507	–	–	–	10.4	11.6
Oconee 1, 2, 3	1973/74.	1.708	131	81	71	43	33
Palisades	1971.	0.415	1.5	0.36	2.1	3.7	4.7
Point Beach 1, 2	1970/72.	0.808	33	27	37	48	33
Prairie Island 1, 2	1973/74.	0.865	0.017	0.0037	50	20	23.3
Rancho Seco	1974.	0.687	4.9	0	0.0031	–	–
H. B. Robinson	1970.	0.482	23	36	25	17.5	15.9
Salem	1976.	0.250	–	0.0015	11	16.5	86
St. Lucie	1976.	0.592	–	0.49	9.0	4.7	4.7
San Onofre	1967.	0.401	148	125	66	92.5	85.8
Surry 1, 2	1972/73.	0.343	16	29	15	27.6	13.2
Three Mile Island 1	1974.	0.266	17	7.0	7.1	5.7	2.1
Trojan	1975.	0.631	–	1.3	12	5.9	2.5
Turkey Point	1972/73.	0.811	29	29	34	43	35
Yankee Rowe	1960.	0.149	9.1	5.8	5.1	7.2	6.5
Zion	1973.	1.238	38	28	27	27	22
Ukupno proizvedena električna energija (GW_e god)		19.165	14.367	15.430	16.845	18.249	19.165
Prosječno godišnje ispuštanje H – 3 [$TBq\ (GW_e \cdot god)^{-1}$]			50.3	40.8	42.7	36.8	34.8
Prosječno godišnje ispuštanje tricija razdoblje 1975 – 1978. [$TBq\ (GW_e \cdot god)^{-1}$] = 41.1							

cija iz elektrana u SAD iznosi 41,10 *TBq(GWe god)*$^{-1}$/ dok za nuklearne elektrane u SR Njemačkoj iznosi 8,838 /*TBq(GWe god)*$^{-1}$/. Za ispuštanje tricija također se može konstatirati da je približno 4—5 puta manje iz elektrane u SR Njemačkoj u odnosu na elektrane u SAD. Kod ispuštanja tricija u tekućim efluentima opaža se da nema velikih varijacija od godine do godine kao kod ispuštanja korozionih i aktivacionih produkata ili fisionih produkata.

8. TEKUĆA ISPUŠTANJA IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA DOBIVENA PREMA RAČUNSKOM MODELU KOJI SE KORISTI U SR NJEMAČKOJ

Budući da u SR Njemačkoj postoje podaci o izmjerenim količinama ispuštenih radioaktivnih tekućih efluenata iz nuklearnih elektrana PWR tipa, u okolinu, od 1974. god., ti podaci su korišteni pri razvijanju računskog modela. Na temelju proizvodenih i izmjerenih količina te teoretskih pretpostavki o očekivanju prosječnih količina emitirane radioaktivnosti u okolinu, za nuklearne elektrane snage 1 000 *MWe* razvijen je računski model čiji rezultati se daju u tabl. 10.

9. ZAKLJUČAK

Ako se usporede podaci dani u tabl. 7. s podacima danim u tabl. 10. može se konstatirati da su realna ispuštanja približno tri puta viša od izračunanih ispuštanja računskim modelom. Do ovakvih odstupanja dolazi s obzirom na faktor iskoristivosti elektra-

Tablica 9.

Prosječna godišnja ispuštanja tricija iz nuklearnih elektrana u SR NJ za razdoblje 1975 — 1979. (18,24)

Nuklearna elektrana	Instalirana snaga *(GWe)*	Ispuštanje H – 3 (TBq)				
		1975.	1976.	1977.	1978.	1979.
Obrigheim	0.345 (668)*	6.2	4.7	5.5	4.8	5.0
Stade	0.630 (72)	3.9	1.6	4.8	4.9	5.4
Biblis A	1.089 (74)	4.1	11.8	7.03	12.8	10.6
Biblis B	1.178 (76)	–	1.2	5.97	15.2	7.4
Neckarwestheim	0.810 (76)	–	0.19	3.1	5.0	3.8
Unterweser	1.230 (78)	–	–	–	0.0081	4.0
Ukupno instalirana električna snaga *(GW_e)*	5.282	2.064	4.052	4.052	5.282	5.282
Ukupno proizvedena električna energija** *[GW_e·god.]*	3.962	1.548	3.039	3.039	3.962	3.962
Prosječno godišnje ispuštanje H – 3 [TBq *(GW_e·god.)$^{-1}$*]		9.173	6.413	8.687	10.779	9.137
Prosječno godišnje ispuštanje tricija za razdoblje 1975 – 1979. [TBq $GW_e \cdot god.)^{-1}$] = 8.838						

* Broj u zagradama označava u kojoj godini je puštena nuklearna elektrana u pogon.
** Ukupno proizvedena električna energija za elektrane u SR NJ dobivena je uz pretpostavku faktora iskorištenja nuklearne elektrane od 0,75.

Tablica 10.

Emisija radionuklida u površinske vode u normalnom pogonu nuklearne elektrane snage 1000 *MWe* prema modelu SR NJ (5)

Radionuklid	Ispuštena količina /GBq *(GWe·god)*$^{-1}$/	%
Cr – 51	0.555	5.0025
Mn – 54	0.111	1.000
Fe – 59	0.111	1.000
Co – 58	1.110	10.0100
Co – 60	2.775	25.0100
Sr – 89	0.011	0.1000
Sr – 90	0.011	0.1000
Zr – 95	0.111	1.0000
Nb – 95	0.111	1.0000
Ru – 103	0.111	1.0000
Ag – 110m	0.111	1.0000
Sb – 124	2.220	20.0100
Te – 123m	0.111	1.0000
I – 131	0.555	5.0025
Cs – 134	0.888	8.0050
Cs – 137	1.850	16.6800
Ba – 140	0.111	1.0000
La – 140	0.111	1.0000
Ce – 144	0.111	1.0000
Pu – 238	1.48E – 4	0.0010
Pu – 239	1.85E – 5	2.E – 4
Pu – 241	7.40E – 3	0.07
Am – 241	7.40E – 6	7.E – 5
Cm – 242	1.48E – 3	0.0100
Cm – 244	1.48E – 4	0.0010
Ukupno	11.094	100
Ispuštanja tricija /TBq *(GWe·god)*$^{-1}$/ = 29.6		

* 1.48 E – 4 = 1.48×10^{-4}

ne. Kod proračuna ispuštanja pretpostavlja se da je faktor iskoristivosti elektrane 0,8, pa normalizirana ispuštanja /*GBq(GWe god)*$^{-1}$/ ispadnu niža.

Prosječni faktor iskoristivosti elektrane za analiziranu 31 lokaciju u SAD iznosi 0,63 pa zbog toga normalizirana ispuštanja po 1 *GWe* proizvedene energije ispadaju nešto viša od onih dobivenih računskim modelom koja su svedena na faktor iskoristivosti elektrane 0,80.

Druga važna stvar koja doprinosi povećanim stvarnim ispuštanjima pojedinog radionuklida jest stav i ograničenja koja proizlaze iz nacionalnog zakonodavstva. Izvedena radna ograničenja ne samo da su različita za svaki radionuklid od zemlje do zemlje, nego su različita i u jednoj zemlji od lokacije do lokacije nekog nuklearnog objekta.

Budući da su izmjerena ispuštanja i po nekoliko puta viša od ispuštanja dobivenih računskim modelom, pri evaluaciji utjecaja nuklearne elektrane na okolinu treba uzeti u obzir kompromisno rješenje koje vjerojatno leži između ovih dviju vrijednosti.

LITERATURA

[1] Nuclear Regulatory Commission, Calculation of Releases of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Pressurized Water Reactor (PWR – GALE Code) NUREG — 0017, 1976.

[2] American Nuclear Society (ANS) 18. 1 Working Group, American National Standards Source Term Specification, N 237, »Radioactive Materials in Principal Fluid Streams of Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants« Draft, July 0975.

[3] Nuclear Regulatory Commission, Calculation of Releases of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Light-Water-Cooled Power Reactors, Reg. Guide 1. 112, April 1976
[4] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, UN, 1982 Report to the General Assembly, with annexs, 1982.
[5] Joint Radiation Protection Meeting, Radiological Impact of Nuclear Power Plants and other Nuclear Installations on Man and his Environment, Lousanne SUISSE 30 September – 2 October, 1981.
[6] J. ĆURKOVIĆ, P. STROHAL, N. MALBAŠA, V. JELAVIĆ, M. SARAJLIJA: »Procjena očekivanih vrijednosti doza zračenja od tekućih ispuštanja u normalnom pogonu nuklearne elektrane Prevlaka« Institut za elektroprivredu, Zagreb, travanj 1984.

RADIOAKTIVE FLÜSSIGE ABFLÜSSE AUS KERNKRAFTWERKEN DES TYPS PWR — Vergleich der ausgerechneten und gemessenen Werte —

In der Arbeit wurde die Anwendung des PWR — GALE Rechenmodells für die Berechnung der radioaktiven flüssigen Abflüsse aus dem Kernkraftwerk des Typs PWR, der Wärmekraft 3000 MWt geschildert. Für den Vergleich der ausgerechneten Mengen der radioaktiven flüssigen Abflüsse wurden die gemessenen Werte dieser Abflüsse benutzt und zwar auf 31 Kernkraftwerken in USA, in der BRD sowie Werte zu denen man aus dem in der BRD Deutschland gebrauchten Rechenmodell kam. Alle relevanten Angaben für den Vergleich ausgerechneter und gemessener Werte der radioaktiven flüssigen Abflüsse wurden in der Beilage dieser Arbeiten gegeben.

СЛИВ РАДИОАКТИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ИЗ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С РЕАКТОРАМИ PWR (Сравнение расчетных и измеренных значений)

В работе показано использование математической модели для оценки сливов радиоактивных жидкостей из АЭС с реакторами PWR тепловой мощности 3000 МВт.

Для сопоставления расчетного количества сливов радиоактивных жидкостей были использованы измеренные значения этих сливов на 31 разных АЭС в США, на 6 АЭС в ФРГ и значения получены на математических моделях, применяемых в ФРГ. Все существенные данные для сопоставления расчетных и измеренных значений сливов радиоактивных жидкостей приведены в приложении настоящей работы.

Naslov pisaca:
mr Jure Ćurković, dipl. ing.
Vladimir Bradač, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1984 – 03 – 12.

RADIOACTIVE LIQUID EFFLUENTS FROM PWR NUCLEAR POWER PLANTS — comparison of calculated and measured values

The paper presents the use of PWR – GALE code for assessment of radioactive liquid effluents from PWR Nuclear Power Plant of 3000 MW reactor thermal power.

Calculated radioactive liquid effluents were compared with measured on 31 nuclear power plant in USA and 6 plants in F. R. Germany as well as with values obtained by computer code used in FRG. All relevant information for comparison of calculated and measured values of radioactive liquid effluents are given in atached tables.

SUIZDAVAČIMA
AUTORIMA
SURADNICIMA
ČITATELJIMA

SRETNA NOVA, 1985. GODINA!

UREDNIŠTVO

INA PROJEKT

INA-PROJEKT, Radna organizacija za istraživanje, inženjering i izgradnju postrojenja i objekata sa n. sol. o. OOUR-a u sastavu SOUR-a INA-Industrija nafte, Zagreb,
Proleterskih brigada 78. Telefon 533-444 Telex 22228

INA-PROJEKT je nastao 1983. god. integracijom dviju poznatih radnih organizacija inženjerske djelatnosti, tj. INA-INŽENJERING-a, Zagreb, Proleterskih brigada 78, osnovanog 1967. godine i INDUSTROPROJEKT-a, Zagreb, Savska cesta 88a, osnovanog 1951. godine, te je tako postao jedna od najvećih inženjering organizacija u SFRJ. Kolektiv INA-PROJEKT-a obuhvaća preko 1400 iskusnih radnika raznih specijalnosti od kojih je preko 40% sa visokom stručnom spremom, dok je i većina ostalih sa višom ili srednjom stručnom spremom.

Organizaciono INA-PROJEKT se sastoji od tri OOUR-a i jedne Radne zajednice:

OOUR — Inženjering (oko 1050 uposlenih)
OOUR — Proizvodnja i razvoj specijalne opreme (oko 100 uposlenih)
OOUR — Kompleksna geološka istraživanja (oko 100 uposlenih)
RZ — Radna zajednica (oko 200 uposlenih) obavlja zajedničke poslove za sve OOUR-e kao što su financijski, planski, pravni, kadrovski i drugi opći poslovi.

OOUR — INŽENJERING, Proleterskih brigada 78, Zagreb

Izrađuje i nudi za naftnu, petrokemijsku i kemijsku industriju, za industriju obojenih metala, za energetske objekte:

— Predinvesticijsku dokumentaciju, kao što su studije procesa, tržišta, lokacije itd., te kompletne investicijske programe.
— Projektnu i izvedbenu dokumentaciju
— Nabavku opreme i materijala.
— Organizaciju, planiranje i nadzor pri izgradnji.
— Specijalne usluge pri izgradnji.
— Obuku kadrova, puštanje u pogon, predaja postrojenja.
— Izgradnju objekata »pod ključ«.

OOUR — PROIZVODNJA I RAZVOJ SPECIJALNE OPREME, Savska cesta 88a, Zagreb

Proizvodi i nudi:

— Razne vrste ventila, redukcione i mjerne plinske stanice.
— Pumpne stanice, vakum pumpe.
— Instalacije za loženje u manjim industrijama, zgradama i slično.

OOUR — KOMPLEKSNA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA, Savska cesta 88a, Zagreb

Obavlja:

— Opće geološke istrage
— Istraživanja na mineralne sirovine
— Istraživanja energetskih izvora
— Hidrogeološka istraživanja
— Inženjersko-geološka i geotehnička istraživanja

TENDENCIJE RAZVOJA SVJETSKE KOTLOGRADNJE I ODRAZ NA IZGRADNJU TERMOELEKTRANA KOD NAS

dr Dubravko Matanić, Zagreb

UDK 621.18 : 621.311.22

PREGLEDNI RAD

U članku se govori o razvoju kotlogradnje i velikih kotlova u svijetu kao posljedici intenzivnih istraživačkih i razvojnih aktivnosti na području poboljšanja stupnja djelovanja termoenergetskih postrojenja, te o odrazu ovih tendencija na razvoj domaće proizvodnje velikih kotlova.

Ključne riječi: kotlogradnja, razvoj, izgradnja termoelektrana.

UVOD

U posljednjim desetljećima svjedoci smo intenzivnih istraživačkih i razvojnih aktivnosti na području termoenergerskih postrojenja, što je posljedica sve većeg zaoštravanja situacije u pogledu potrebnih količina i raspoloživih izvora energije.

Danas se više nego ikad prije kod koncipiranja blokovskih ciklusa pridaje važnost i ulaže energije u optimalno određivanje parametara blokovskih postrojenja.

Pri tome se vodi briga o poboljšanju i u dijelovima postotka kod utvrđivanja stupnja djelovanja energetskog postrojenja. Četiri su osnovne grupe utjecajnih faktora koji se pri tome neminovno respektiraju:

- teorijska razmatranja mogućih termodinamičkih ciklusa termoenergetskog postrojenja
- razmatranja tehničkih mogućnosti proizvodnje pojedinih postrojenja i opreme
- ekonomski faktori i način financiranja izgradnje objekata, visina investicija, troškovi goriva i ostali troškovi
- eksploatacijska iskustva na sličnim ili istim postrojenjima.

Za prvu grupu »teorijska razmatranja« može se reći da su već dosta dugo poznata rješenja i putovi u razvoju postrojenja kojima treba proći radi poboljšavanja stupnja djelovanja postrojenja. Pri tome se može utvrditi da se danas u daljnjem razvoju klasičnih termoenergetskih postrojenja limitirajućim javljaju tehnološke mogućnosti. Kad su ove utvrđene, pristupa se ekonomskim analizama respektirajući pri tome eksploatacijska iskustva s pojedinim rješenjima.

Dugogodišnji razvoj i rad na poboljšavanju stupnja djelovanja toplinskih ciklusa u termoelektranama toliko je usložnio i usavršio postrojenja da su danas moguća samo relativno mala poboljšanja u stupnju djelovanja uz relativno visoku cijenu investicija. Tako dugo, međutim, dok bude rasla cijena goriva ovakvim tempom kao što je to danas i dalje će se činiti napori i za najmanjim poboljšanjima koja budu ekonomski opravdana.

Podrazumijevajući u ovim razmatranjima pod pojmom kotlogradnje prvenstveno industriju za proizvodnju kotlova za termoelektrane, može se konstatirati da je razvoj kotlogradnje u posljednjim desetljećima upravo posljedica razvoja i rada na poboljšanju stupnja djelovanja termoenergetskih postrojenja.

TENDENCIJE RAZVOJA SVJETSKE KOTLOGRADNJE

U poslijeratnim godinama razvoj svjetske kotlogradnje bio je karakteriziran:

- stalnim porastom veličina kotlovskih jedinica, tako da se u razvijenim zemljama proizvode jedinice i do 3.600 t/h produkcije pare
- stalnim porastom tlaka radnog medija na izlazu iz kotla
- porastom temperature pare, koja je u proteklom periodu i varirala. Prije 10 – 15 godina težilo se radu s temperaturama pregrijane pare 560 °C – 600 °C da bi se zbog problema visokotemperaturne korozije, kao i zbog nedostatka adekvatnih materijala naročito u kombinaciji sa sve većim tlakovima rednog medija, ove temperature u posljednjih 10-ak godina ustalile na nivou od 540 °C
- uvođenjem međupregrijanja pare s izlaznim temperaturama međupregrijane pare na istom nivou kao i visokotlačne pare; dvostruko međupregrijanje koristilo se samo izuzetno
- naglim povećanjem korištenja tekućih i plinovitih goriva sredinom poratnog perioda, da bi se od početka 70-ih godina udio ovih goriva počeo smanji-

Energija, god. 33 (1984) 6, 493 — 498

vati na račun povratka k ugljenu. Ovaj povratak ugljenu bio je karakteriziran i danas je korištenjem i niskokaloričnih ugljena za kakve prije nije postojao interes. Ovo je nužno napomenuti jer je korištenje niskokaloričnih ugljena imalo znatnog utjecaja na razvoj kotlovskih jedinica.

Prije negoli se osvrnemo na razvoj kotlogradnje u vodećim svjetskim zemljama na ovom području bitno je konstatirati sljedeće:

Nagli razvoj nuklearne termoenergetike i njezino uzdizanje na pijedestal jedinog i nezamjenjivog načina rješavanja energetskih problema čovječanstva u budućnosti imao je za posljedicu stanovitu stagnaciju u razvoju klasične termoenergetike. Danas, međutim, nakon izvjesnog otrežnjavanja i sagledavanja realnih problema koji prate oslanjanje isključivo na nuklearnu energetiku, svjedoci smo intenzivnijih aktivnosti na daljnjem razvoju klasičnih termoenergetskih postrojenja.

Kad se govori o svjetskoj kotlogradnji, o njezinoj produkciji, stanju, tendencijama i razvoju prvenstveno treba govoriti o kotlogradnji u anglosaksonskim zemljama (SAD i Velika Britanija), zapadnoevropskim zemljama, SSSR-u i ostalim istočnoevropskim zemljama i Japanu.

U anglosaksonskim zemljama najveći proizvođač kotlova su SAD, a pored njih značajno mjesto ima i Velika Britanija. Prvi natkritični blok u SAD bio je pušten u rad još 1961. god., i to snage 500 MW. Ubrzo nakon toga ostvaren je nagli porast snage natkritičnih blokova tako da su se redom gradili i puštali u pogon 1963. god. blok snage 600 MW, 1965. god. blok 800 MW, a 1967. god. kotlovi za dva bloka snage 1 300 MW. Danas se u SAD natkritični blokovi grade u području snage 400 – 1 400 MW. Natkritični blokovi su u potpunosti istisnuli potkritična rješenja samo za najveće jedinice snage 1 000 i više MW. Prema podacima tvrtke Babcock & Wilcox CO, SAD, šezdesetih su se godina ovog stoljeća uglavnom gradili natkritični blokovi za tu tvrtku prosječnom snagom 745 MW, a najveći natkritički blok koji je ta tvrtka izgradila imao je snagu 1 320 MW. Sedamdesetih se godina situacija u potpunosti izmijenila i u tom desetljeću izgrađeno je samo 5 natkritičnih i 80 potkritičnih blokova s bubnjevima i prosječnom snagom 565 MW. U priloženoj tablici 1. dan je pregled ugovorenih kotlova od 1960. do 1981. za spomenutu tvrtku. Pojedini natkritični blokovi prve generacije iskazali su raspoloživost manju od očekivane, što je posljedica naglog porasta veličine blokova, prelaska na ložnje s pretlakom i kompaktne izvedbe. Ovo je svakako bio jedan od uzročnika povratka na klasična rješenja u 70-im godinama. Za to razdoblje karakterističan je razvoj u kotlogradnji koji je išao za tim da udovolji sve oštrijim zahtjevima što ga je postavljala EPA (Environmental Protection Agency) u pogledu zaštite čovjekove okoline. U tom desetljeću drastično su se smanjile dozvoljene količine prašine, NO_x i SO_x u produktima izgaranja koji se emitiraju u atmosferu.

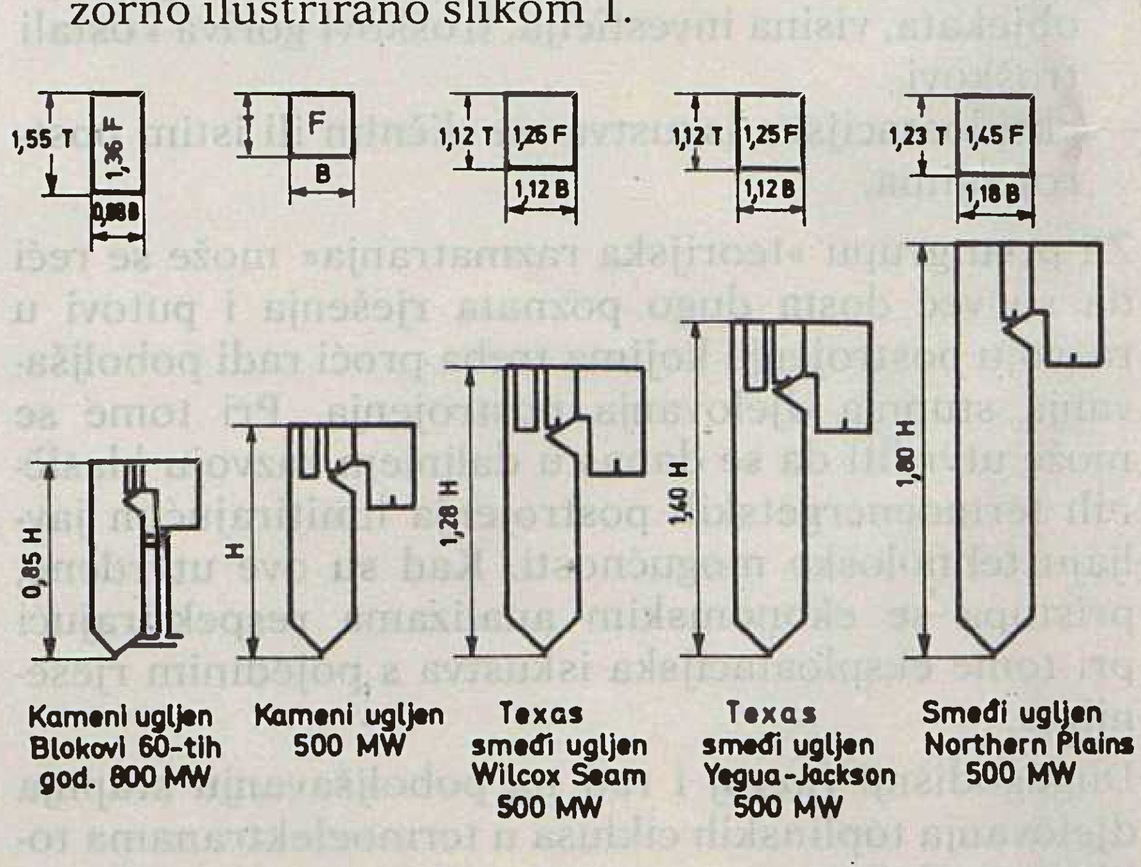
Ovo je imalo niz posljedica u razvoju kotlogradnje:

Tablica 1.

Ugrađeni kotlovi loženi ugljenom prašinom tvrtke BABCOCK & WILCOX CO USA

		1960 – 1970. g.	1971 – 1981. g.
Kotlovi s bubnjem			
Broj blokova		22	80
Ukupna snaga	MW	3 865	45 198
Prosječna veličina	MW	175	565
Najveći blok	MW	300	875
Protočni kotlovi 250 bara			
Broj blokova		37	5
Ukupna snaga	MW	27 558	4 840
Prosječna veličina	MW	745	968
Najveći blok	MW	1 320	1 320

- Nužnost smanjenja NO_x dovela je do postepenog smanjivanja toplinskih opterećenja pojasa gorača i presjeka ložišta. U periodu od 1962. do 1980. za kotlove ložene ugljenom opterećenje pojasa gorača smanjilo se od otprilike 2,4 MW/m² na približno 1,25 MW/m², a opterećenje presjeka ložišta od približno 6,5 MW/m² na otprilike 5 MW/m².
- Nužnost smanjenja NO_x imala je nadalje za posljedicu razvoj uređaja za loženje koji omogućuju rad sa sniženim pretičkom zraka.
- Nužnost smanjenja SO_x imala je za posljedicu sve veću upotrebu mrkih ugljena sa zapada SAD sa smanjenim sadržajem sumpora na račun kamenih ugljena s istoka SAD, koji su se od 1970. godine gotovo isključivo trošili. U budućnosti se također očekuje tendencija daljeg povećanja potrošnje niskosumpornih ugljena, iako novi propis o graničnim vrijednostima emisije SO_2 zahtijeva instaliranje uređaja za smanjenje SO_2 i za te niskosumporne ugljene.
- Sve što smo naveli imalo je za posljedicu znatan porast veličine kotlova za istu snagu, kako je to zorno ilustrirano slikom 1.



Slika 1.

Energija, god. 33 (1984) 6, 493 — 498

— Oslanjanje na klasična rješenja kotlova s bubnjem i potpomognutom cirkulacijom dovelo je do daljnjeg usavršavanja cirkulacionog sistema tako da su maksimalni dosegnuti tlakovi od 182 bara.

Iako je u prošlom desetljeću razvoj natkritičnih kotlova u SAD bio usporen, ipak je taj razvoj doveo do realizacije natkritičkih blokova s izrazito visokom raspoloživošću, tako da danas ovakve jedinice po raspoloživosti ništa ne zaostaju za potkritičnim rješenjima.

Daljnji razvoj kotlogradnje u SAD u nastupajućim razdobljima bez daljnjega će biti veoma intenzivan iz više razloga:

— Došlo se do spoznaje da će termoelektrane na bazi ugljena i nuklearne elektrane u idućih 20 do 30 godina biti temelj opskrbe električnom energijom u SAD. Godine 1983. termoelektrane na ugljen proizvele su više od 50 % električne energije SAD, a može se očekivati da će se to u idućih 20 – 30 godina i zadržati.
— U 60-im i ranim 70-im godinama bilo je malo motivacija za daljnje smanjenje specifičnog potroška u elektranama na fosilna goriva, jer se očekivao znatan i neprekinut porast udjela nuklearnih elektrana kao temeljnih elektrana, a osim toga na raspolaganju su bila relativno jeftina goriva. Zbog toga nije došlo ni do razvoja u metalurgiji koja je trebala razviti i usvojiti proizvodnju materijala za više parametre pare.
— Zbog pooštrenih zahtjeva EPA-e radi zaštite čovjekove okoline došlo je do povećanja specifičnog potroška u elektranama na fosilna goriva.
— Budući da se u idućem razdoblju može očekivati veći utjecaj svjetskih cijena goriva na kretanje cijena goriva u SAD, može se očekivati i daljnje zaoštravanje u pogledu povećavanja stupnja korisnog djelovanja termoenergetskih postrojenja.

Polazeći od toga, a imajući na umu da se danas u najrazvijenijim zemljama svijeta ovladanim stanjem tehnike može smatrati referentna termoelektrana s parametrima pare 241 bar pred turbinom i t=538/552/566 °C i dva međupregrijanja, EPR (Electric Power Research Institute) je načinio inženjersku studiju koja je pokazala da se idućim korakom u evolucijskom razvoju termoelektrana može smatrati postrojenje s parametrima 310 bara i 593/566/566 °C. Jasno je da će se do prijelaza na ovakve parametre ići postepeno, pri čemu će se ponajprije dešavati oni koraci koji donose veće uštede na energiji, jasno uz limitirajući utjecaj tehnologije.

Današnje spoznaje upućuju na sljedeći redoslijed prijelaza prema zacrtanom cilju: prijelaz na 250 bara, zatim dvostruko međupregrijanje, više temperature međupregrijanja i pregrijanja, te prijelazi na 350 bara. Kojim tempom će se ti prijelazi odvijati, ovisit će ponajviše o ekonomskim odnosima koji određuju cijenu proizvedene električne energije.

Za razliku od SAD, proizvodnja električne energije u Japanu bazirala se na skupim uvezenim gorivima, uključivši i uvozni ugljen. Iz tih razloga u Japanu se čine veliki napori na razvoju svih tipova visokoparametarskih termoelektrana. Konačan danas postavljen cilj jest projekt termoelektrane snage 1 000 MW s parametrima 345 bara, 649/593/593 °C. Predviđeni međukorak bila bi termoelektrana ložena ugljenom snage 1 000 MW i parametara 310 bara 593/566/566 °C, koja bi mogla ući u pogon u toku 10 godina.

Što se tiče situacije u SSSR-u, koji je bez sumnje najveći proizvođač kotlova u zemljama istočne Evrope, ona je potpuno jasna. Danas se u SSSR-u proizvode za potrebe termoenergetskog sistema kotlovi isključivo sa natkritičnim parametrima bez obzira na veličinu bloka.

Tipski parametri pare na izlazu iz kotla su 250 bara i 545/545 °C (za ilustraciju neka posluži podatak da je u SSSR-u 1975. godine u pogonu bilo 144 bloka s natkritičnim tlakom. Ostale zemlje istočne Evrope, bez obzira na to što neke od njih imaju veoma dugu tradiciju u kotlogradnji i visoki stupanj dostignute tehnike (ČSSR-a), zbog manje produkcije u cjelini gledano ne utječu bitno na svjetske tendencije u kotlogradnji niti od njih bitno odstupaju.

Od zapadnoevropskih zemalja najznačajniji proizvođač kotlova za termoelektrane svakako je Savezna Republika Njemačka (SRNJ). Dosadašnja praksa zemalja zapadne Evrope odnosila se uglavnom na kotlove s potkritičnim tlakom, iako u SR Njemačkoj egzistiraju u eksploataciji blokovi s natkritičnim parametrima već 20 i više godina, i to s pozitivnim iskustvima. Današnje stanje razvoja kotlogradnje u SR Njemačkoj kao tipičnog reprezentanta u zemljama zapadne Evrope je sljedeće:

— Uobičajene vrijednosti tlaka su oko 190 bara i temperature pregrijane i međupregrijane pare 540 °C.
— Blokovi s natkritičnim parametrima naručuju se i grade sve više tako da se danas smatraju »stanjem tehnike«.

Do sada provedena analiziranja tehničko-tehnološke problematike prijelaza na rad s 300 i više bara i temperatura pare iznad 600 °C u SR Njemačkoj pokazala su da je u ovom trenutku u zapadnoevropskim zemljama u toku prijelaz na jedinice s natkritičnim tlakom (250 bara), tj. korak koji je već ostvaren u SSSR-u i Japanu.

— Sljedeći korak koji bi trebao uslijediti jest prijelaz na temperature pregrijane i međupregrijane pare, i to najprije na 565, a nakon toga na 580 °C.
— Prije daljnjeg porasta temperatura pare trebalo bi se odlučiti na primjenu dvostrukog međupregrijanja.
— Prijelaz na temperature pregrijanja od 605 °C treba uslijediti tek nakon pozitivnih iskustava s temperaturama 580 °C.
— Prema današnjem stanju tehnike moguća je gradnja kotlova za blokove snage 750 — 1 000 MW s parametrima 310 bara /605 °C/605 °C, no danas nema dokaza o zadovoljavajućoj raspoloživosti takvih postrojenja. Poseban problem koji je danas nedovoljno ispitan je pogonsko ponašanje ovak-

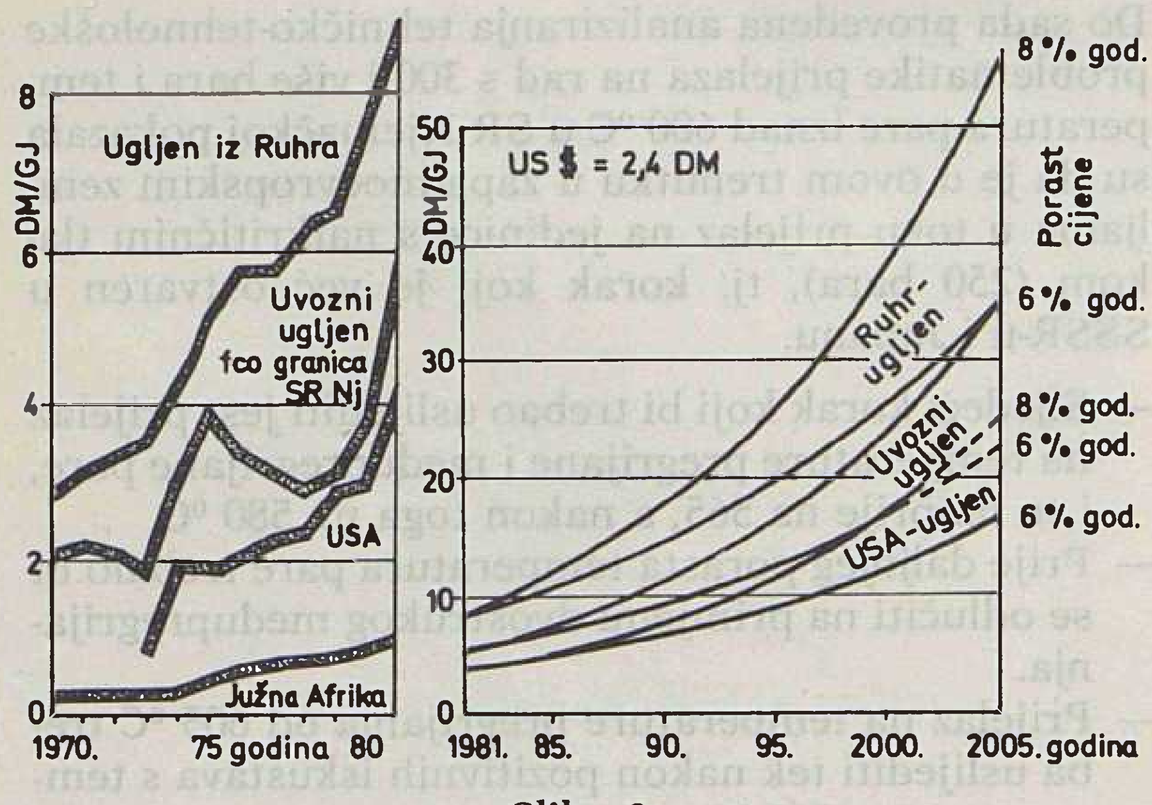
vih postrojenja kao poluvršnih i vršnih jedinica. Zbog porasta tlaka i temperatura pokretanje postrojenja mora se pažljivije i duže provoditi kao i promjena opterećenja. S druge strane, treba računati s tim da se u pojedinim zemljama, koje već danas imaju mnogo nuklearnih elektrana, a i dalje će se graditi isključivo za pokrivanje temeljnog opterećenja, uloga ovakvih blokova i sagledava kao poluvršnih, te da se od njih traži određena manevarska elastičnost. Ovo sve, međutim, govori da bi danas bio preuranjen skok na spomenute parametre i da do toga treba doći postupno.

— Dugoročno gledano, nije isključeno povećanje temperatura pregrijanja na 650 °C nakon uspješnog razvoja na iznalaženju materijala, no danas to stvarno nije ni preporučljivo ni ekonomski opravdano. U ovom trenutku međutim nije niti nužno o tome zauzimati konačan stav za koji ima još barem jedno desetljeće vremena.

Iz ovdje iznesenih iskustava i razvojnih tendencija očito je da se putovi razvoja kotlogradnje u pojedinim zemljama razlikuju, ali su uočene i zajedničke tendencije. Nešto je više prostora posvećeno situaciji u SAD zato što su tamo razvoj i praksa bili specifični.

Analiza situacije pokazala je, međutim, da se sasvim općenito može konstatirati:

— Etape i putovi razvoja energetike i kotlogradnje kao njezine posljedice u pojedinim zemljama bili su i jesu uvjetovani kretanjem cijena goriva, eskalacijom investicijskih troškova građenja, te dodatnim troškovima zaštite okoline od zagađenja. Zemlje sa izrazitim trendom porasta cijena goriva, kao i inače visokim cijenama goriva (Japan — SR Njemačka), bile su i jesu orijentirane na raniji prijelaz na visokotlačne parametre. Za ilustraciju ovome neka posluži dijagram kretanja cijena goriva u nekim zemljama na slici 2, u kojem je dana i prognoza kretanja cijena do 2005. godine prema literaturi (2).



Slika 2.

U SSSR-u je situacija slična ne zato što djeluju tržišni mehanizmi radne snage i goriva, već su određivani administrativnim putem, tako da u prvi plan izbija nacionalni interes što boljeg iskorištenja prirodnih resursa goriva.

— Razvoj kotlogradnje u pojedinim je zemljama bio uvjetovan razvojem i predviđanjima o razvoju nuklearne tehnologije i dinamikom izgradnje nuklearnih elektrana. Danas je, međutim, došlo do korigiranja ovih sagledavanja u pojedinim zemljama uz povećano oslanjanje na klasičnu termoenergetiku.

— Današnjim se »stanjem tehnike« smatraju blokovi s parametrima 250 bara i 540/540 °C. Prijelaz na ove parametre u pojedinim zemljama pitanje je vremena i ovisit će o unaprijed navedenim odnosima troškova investicija, goriva i ulaganja u zaštitu čovjekove okoline.

IZGRADNJA TERMOELEKTRANA U JUGOSLAVIJI I RAZVOJ DOMAĆE KOTLOGRADNJE

Iako je Jugoslavija u proteklom razdoblju prolazila kroz intenzivan razvoj i izgradnju svog elektroenergetskog sistema, ostaje činjenica da smo i danas među posljednjim zemljama u Evropi po potrošnji električne energije po stanovniku. To ujedno znači da ćemo u idućim desetljećima morati i dalje još intenzivnije izgrađivati naš elektroenergetski sistem kako bismo smanjili zaostajanje za evropskim zemljama, to prije što razvoj elektroenergetskog sistema i proizvodnja električne energije doslovce kod nas postaju limitirajućim faktorom industrijskog razvoja i rasta. Proteklo desetljeće to je nedvojbeno i dokazalo.

Imajući na umu da smo tek zakoračili u razvoj nuklearne energetike i ne ulazeći sada u broj nuklearnih elektrana koje će se u Jugoslaviji izgraditi do kraja stoljeća, sa sigurnošću se može tvrditi da će i u budućnosti za idućih 30 godina izgradnja klasičnih termoelektrana predstavljati osnovicu razvoja našeg elektroenergetskog sistema. U smislu toga razumljivo je da razvoj domaće kotlogradnje predstavlja jedno od ključnih pitanja većeg osposobljavanja domaće strojogradnje za građenje termoenergetskih objekata. Ovo je to značajnije što u proteklih 20-ak godina domaća kotlogradnja nije bila u stanju slijediti brzi razvoj kotlogradnje u svijetu. U tom periodu domaća je kotlogradnja zabilježila znatan razvoj na području tehnologije, dok je zaostajanje na području inženjeringa iz godine u godinu postajalo sve veće. Koji su tome razlozi, u ovom trenutku nije bitno, iako će se tim pitanjima morati posvetiti dužna pažnja ako se želi brže krenuti naprijed, a to će biti moguće samo uklanjanjem dosadašnjih uzroka zaostajanja.

S druge strane, elektroprivredne organizacije kao investitori gradnje termoelektrana, a time i velikih kotlovskih jedinica, svojim su narudžbama akceptirali dostignuće svjetske kotlogradnje, što je imalo za cilj izgradnju modernih postrojenja s visokim stupnjem djelovanja. U proteklom razdoblju izgradnje termoelektrana kod nas bila je karakterizirana sljedećim:

— Izbor opreme i rješenja bio je veoma šarolik, što je bilo posljedica razjedinjenosti elektroprivrednih organizacija i nepostojanja jedinstvene razvojno-strategijske politike u pogledu odabira

rješenja, parametara, snage i isporučilaca termoelektrana. U tom razdoblju investitori su imali praktički slobodne ruke u odabiru rješenja.

— Ovo što smo rekli posljedica je i različitih putova financiranja izgradnje pojedinih objekata.
— Nakon prvih naftnih kriza iskazali smo veliku tromost u pogledu oštrijeg okretanja domaćim energetskim izvorima.
— Nismo shvatili strateško i privredno značenje izgradnje termoenergetskih objekata vlastitim snagama.

Današnja situacija u Jugoslaviji na području izgradnje i izrade kotlova i kotlovske opreme za potrebe termoelektrana jest sljedeća:

— S jedne strane su elektroprivredne organizacije (još uvijek razjedinjene) koje nastoje graditi nove termoelektrane prvenstveno na bazi domaćih goriva uz što veći stupanj djelovanja, što se ogleda u stalnom povećavanju parametara svježe pare, a s druge strane nalazi se domaća kotlogradnja koja drži priključak za svijetom na području tehnoloških mogućnosti, ali mora koristiti strane partnere za kompletan inženjering.

Do sada provedene analize vezane uz izbor parametara svježe pare za termoelektrane na Kosovu pokazale su da u današnjim odnosima cijena opreme za potkritične i natkritične parametre i cijena goriva na Kosovu nema opravdanja prijeći na građenje postrojenja s natkritičnim parametrima (240 — 250 bara). Ta konstatacija se, međutim, mora stalno provjeravati zbog promjene odnosa cijena, no treba naglasiti da je dana konstatacija izvedena na bazi razlike cijena potkritičnih i natkritičnih blokova sa zapada uz dodavanje svih potrebnih ostalih troškova na to, kao što su carina, porezi i dr. Ima li se međutim, na umu da, kako je to prije spomenuto, kod nas djeluju i drugi faktori i mehanizmi, ne treba se čuditi da se kod nas danas nalaze u pogonu i u gradnji i blokovi s natkritičnim parametrima proizvedeni u SSSR-u.

Gledano globalno, nacionalni interes bez daljnjega nalaže da se postojeći energetski izvori koriste uz maksimalnu iskoristivost, naročito u situaciji ograničenosti takvih izvora kao što je to kod nas slučaj. Za ilustraciju kretanja neka nam posluže priložene tablice 2. i 3. s osnovnim podacima o blokovima koji su ušli u pogon od 1976. godine do 1983, kao i o blokovima koji su u izgradnji.

Akcepirajući svjetske tendencije u razvoju energetike i kotlogradnje, poželjan razvoj domaće kotlogradnje, kao i do sada sakupljena iskustva u elektroprivrednim organizacijama može se zaključiti sljedećim:

— Daljnje zaoštravanje problema energetskih goriva i kod nas će zahtijevati postepen prijelaz na rad s natkritičnim parametrima. U kojem vremenskom periodu će se on odigrati, teško je u ovom trenutku decidirano tvrditi, no činjenica je da je taj prijelaz kod nas već započeo.
— Krajnji je čas da se domaća kotlogradnja intenzivno uključi u izradu opreme za termoelektrane. Moraju se uložiti izuzetni napori za svladavanje

Tablica 2.

Osnovni pokazatelji za blokove u Jugoslaviji puštene u pogon od 1976. g. do 1983. godine

Termoelektrana	Blok	Snaga /MW/	Tlak /bar/	Temp. svježe i međupregrij. pare		Tip kotla
				°C	°C	
Tuzla	5	215	130	/535/	535	s bubnjem i prirodnom cirkulacijom
Urinj		320	178	/540/	540	protočni
Kosovo B	1	339	182,5	/542/	542	protočni
Bitola	1	210	140	/540/	540	protočni
Pljevlja		210	140	/540/	540	protočni
Gacko		300	250	/540/	540	protočni
Šoštanj	4	335	174	/535/	540	protočni
N. Tesla	3	305	177,5	/540/	540	protočni
	4	305	177,5	/540/	540	protočni
	5	305	177,5	/540/	540	protočni
	6	305	177,5	/540/	540	protočni
N. Tesla B	1	614	186,5	/540/	540	protočni
Kostolac	3	210	140	/540/	540	protočni
Sisak	2	210	140	/540/	540	protočni
Negotino		210	140	/540/	540	protočni
Kakanj	4	110	135	/540/	540	bubanj s prirodnom cirkulacijom

Tablica 3.

Osnovni pokazatelji za blokove u izgradnji u Jugoslaviji

Termoelektrana	Blok	Snaga /MW/	Tlak /bar/	Temp. svježe i međupregrij. pare		Tip kotla
				°C	°C	
Kosovo B	2	339	182,5	/542/	542	protočni
Drmno	1	348	187	/545/	545	protočni
	2	348	187	/545/	545	protočni
Ugljevik	1	300	250	/540/	540	protočni
	2	300	250	/540/	540	protočni
Tuzla B		500	250	/540/	540	protočni
Kakanj	5	230	180	/535/	535	bubanj s potpomognutom cirkulacijom
Bitola	2	210	140	/540/	540	protočni
	3	210	140	/540/	540	protočni
N. Tesla B	2	614	186,3	/540/	540	protočni

razlike prema razvijenim zemljama, naročito na području svih inženjering-znanja koja su važna za gradnju ovakvih postrojenja.

— Domaće organizacije koje se bave izradom kotlova moraju se okupiti oko zajedničkih rješenja jer same nisu u stanju apsorbirati ovako velike zahvate.
— Prihvaćena rješenja trebaju respektirati dosadašnja iskustva eksploatacije, kao i budući razvoj svjetske kotlogradnje, domaćeg elektroenergetskog sistema. To bi konkretno značilo danas se opredijeliti za protočne kotlove tlaka 180 – 190 bara, kao široko prihvaćenog rješenja u elektroprivredi, što bi za 10-ak godina omogućilo bezbolan prijelaz na natkritične parametre kao energetsku nužnost.
— Naročito veliku pažnju potrebno je posvetiti rješavanju problema subliferacije za tlačne sisteme kotlova s obzirom na to da domaća metalurgija ne može danas isporučiti nijednu kvalitetu materijala za nivo tlakova 180 – 190 bara, a prijelazom na natkritične parametre ovaj problem će se i potencirati.

LITERATURA

[1] HALLER K. H.: »Grosse Kohlenstaubbefeuerte Dampferzenger« VGB H. 1. Januar 1983.
[2] BALD A.; WITTCHOW E.; CHARLIER J.: »Steinkohlebefeuerte Kraftwerke — Hautiger Stand und zukünftige Möglichkeiten der Auslegung« VGB H1, Januar 1983.
[3] BREUCKER H.; STADIE.: »Steinkohlebefeurte Dampferzenger für Kraftwerke mit hohen Dampfzuständen« VGB H.1, Januar 1983.
[4] ORNATSKII A. P.; DAŠKIEV. JG.; PERKOV V. G.: »Parogeneratori sverhkritičeskogo davlenia,« KIEV, 1980.
[5] BANISTER R. L.; BENNETT; SILVESTRI G. J.; COWELE R. B.; PHILLIPS N. A.: »Heat rate reduced in pulverised coal power plant of the future« Modern power systems; val 3 No 7, 1983.
[6] MATANIĆ, D. i dr.: »Izbor optimalnih jediničnih snaga, parametara i tehničkih karakteristika opreme blokova, koji će se graditi na Kosovu za potrebe drugih republika« — studija II dio, 1982.

WORLD DEVELOPMENT TENDENCIES IN BOILER MANUFACTURING AND REFLECTION OB TPP'S CONSTRUCTION IN YUGOSLAVIA

In the article is discussed development of boiler construction and great boilers in the world as result of intensive scientific and development efforts on improvement of TPPś effeciancy, as well as applications on domestic production of great boilers.

ENTWICKLUNGSTENDENZEN DES KESSELBAUS IM AUSLAND UND IHR EINFLUSS AUF DEN AUSBAU DER WÄRMEKRAFTWERKE BEI UNS

Im Artikel spricht man über die Entwicklung des Kesselbaus und grosser Kessel im Ausland als Folge von intensiven Forschungen und Entwicklungen auf dem Gebiet der Verbesserung des Wirkungsgrades der thermoenergetischen Anlagen, sowie über das Verhältnis dieser Tendenzen für die Entwicklung der heimischen Kesselproduktion.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО КОТЛОСТРОЕНИЯ И ЕГО ОТРАЖЕНИЕ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАШИХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье рассказывается о развитии мирового котлостроения и виедрении крупных котлов, как последствии интенсивной исследовательской и эволюционной деятельности в области повышения КПД теплоэнергетических установок, я также о влиянии этих тенденций на развитие производства отечественных крупных котлов.

Naslov pisca:

dr Dubravko Matanić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 11 – 20.

NAPAJANJE INDUSTRIJSKIH PREDUZEĆA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM PUTEM DUBOKOG UVOĐENJA VODOVA VIŠIH NAPONA

Kiril A. Tropin, Beograd

UDK 621.316.1

PREGLEDNI RAD

Prikazano je napajanje industrija električnom energijom uvođenjem vodova visokog napona u samo industrijsko postrojenje. U vezi s takvim načinom napajanja postižu se mnoge prednosti kao smanjenje gubitaka ušteda materijala, smanjenje struja kratkog spoja na nižim naponima itd.

Ključne riječi: napajanje industrije električnom energijom, industrijska električna mreža, mreža srednjeg napona.

PRINCIPI SNABDEVANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM INDUSTRIJSKIH PREDUZEĆA

Na početku ovog izlaganja trebalo bi pomenuti osnovne principe prema kojima se grade sheme snabdevanja industrijskih preduzeća električnom energijom.

Prvi princip se sastoji u izostavljanju »hladne« rezerve. Svi elementi sistema snabdevanja električnom energijom moraju neprekidno da nose opterećenje. Sem uštede električne energije, ovom merom se povećava pouzdanost snabdevanja električnom energijom jer, na primer, ispravnost opterećenih kablova stalno se »samokontroliše«, dok neopterećeni kabl pri stavljanju pod napon u kritičnom trenutku može da otkaže usled nekih neispravnosti, koje su mogle da se pojave u toku njegovog dugog beznaponskog stanja i da ostanu nezapažene.

Rezerva mora da se nalazi u samoj shemi snabdevanja električnom energijom, u kojoj svi elementi moraju neprekidno da nose opterećenje, a u režimu posle havarije oni moraju biti u stanju da preuzmu na sebe opterećenje privremeno ispalog elementa putem preraspodele ovog opterećenja između delova mreže, koji su ostali u pogonu, koristeći sposobnost preopterećenja električne opreme, koje se dozvoljava pravilima, odnosno atestima proizvođača. Ovo ni najmanje ne smanjuje pouzdanost snabdevanja električnom energijom jer pri ispadu iz pogona jednog od elemenata ostali elementi preuzimaju na sebe opterećenje odgovornih potrošača. Pri tom se uspostavljanje napajanja potrošača odvija automatski uz korišćenje najjednostavnije automatike za operativni naizmenični napon. Automati takođe omogućavaju da se isključe manje odgovorni potrošači za period posle havarije, ako svaki napojni vod ili transformator (s obzirom na preopterećenje) nisu predviđeni za obezbeđenje pune rezerve.

Drugi princip se sastoji u razdvojenom pogonu vodova i razdvojenom pogonu transformatora (sem slučajeva veoma snažnih udara opterećenja — električne lučne peći i drugo).

Paralelni rad ima za posledicu povećanje struja kratkog spoja i kompliciranje zaštite, naročito na kratkim vodovima unutar industrijskog preduzeća.

Treći princip se sastoji u doslednom sekcioniranju svih delova sistema snabdevanja električnom energijom, počev od glavne napojne transformatorske stanice i industrijske toplane i zaključno sa niskonaponskim sabirnicama transformatorskih stanica u halama, a neki put i razvodnih ormana u halama. Na aparatima za sekcioniranje predviđaju se najjednostavnija kola za automatsko uključenje rezervi. Ovo osetno povećava pouzdanost napajanja.

Četvrti (i glavni) princip se sastoji u maksimalnom približavanju visokonaponskih izvora elektroenergetskim postrojenjima potrošača. Zahvaljujući ovome svodi se na minimum broj elemenata mreže i broj stepena i komutacija.

DUBOKO UVOĐENJE VISOKONAPONSKIH VODOVA RADI NAPAJANJA INDUSTRIJSKIH PREDUZEĆA

Duboko uvođenje visokonaponskih napojnih vodova na teritoriju industrijskih preduzeća, kao i otcepa od prolaznih dalekovoda elektroenergetskog sistema, postaje osnovni način napajanja industrijskih preduzeća električnom energijom.

Već sada je ovaj napredni sistem sigurno je ušao u svakodnevnu praksu.

Pod dubokim uvođenjem sada se praktično podrazumevaju vodovi 35; 110 i 220 kV, koji prelaze preko te-

ritorije industrijskog preduzeća, kao i njihovi otcepi prema težištima najveće potrošnje električne energije. Nastaje usitnjavanje snage glavnih napojnih transformatorskih stanica, pa se napajanje električnom energijom decentralizuje preko nekoliko transformatorskih stanica od 35 do 220 kV. Spoljna napojna mreža preduzeća se objedinjuje sa distributivnom mrežom prvog stepena, raspodela električne energije na prvom naponskom stepenu se odvija na višem naponskom nivou, tj. sa minimalnim gubicima i sa najmanjim utroškom obojenog metala za provodnike.

Pri korišćenju načina dubokog uvođenja visokonaponskih vodova nisu potrebna srednjonaponska razvodna postrojenja, koja su obavezna u slučaju jedne snažne glavne napojne transformatorske stanice. Njihovu ulogu sada obavljaju razvodna postrojenja sekundarnog napona transformatorskih stanica 110 – 220 kV usitnjenih snaga. Na taj način otpada komutacija na srednjem naponu, kao i cela srednjonaponska mreža te se smanjuje broj stepena transformacije. Pri tome se povećava pouzdanost snabdevanja električnom energijom, jer u slučaju havarije ispada samo jedan manji sastavni deo sistema, koji je lakše uspostaviti nego jednu snažnu glavnu napojnu transformatorsku stanicu; zona havarije naglo se smanjuje; smanjuju se struje opterećenja i kratkog spoja na sekundarnom naponu takvih manje snažnih transformatorskih stanica. Na odgovarajući način pojednostavnjuje se komutacija i u nizu slučajeva mogu da se izostave prigušnice u vodovima za ograničenje struja kratkog spoja ili da se koriste prigušnice za grupu vodova radi ograničenja struja kratkog spoja, kako bi se izbeglo postavljanje na izvodima i u sekcijama sabirnica skupih i glomaznih prekidača za velike jačine struja; osetno se olakšava problem regulacije napona; takođe se pojednostavnjuje dalji razvoj sistema snabdevanja električnom energijom.

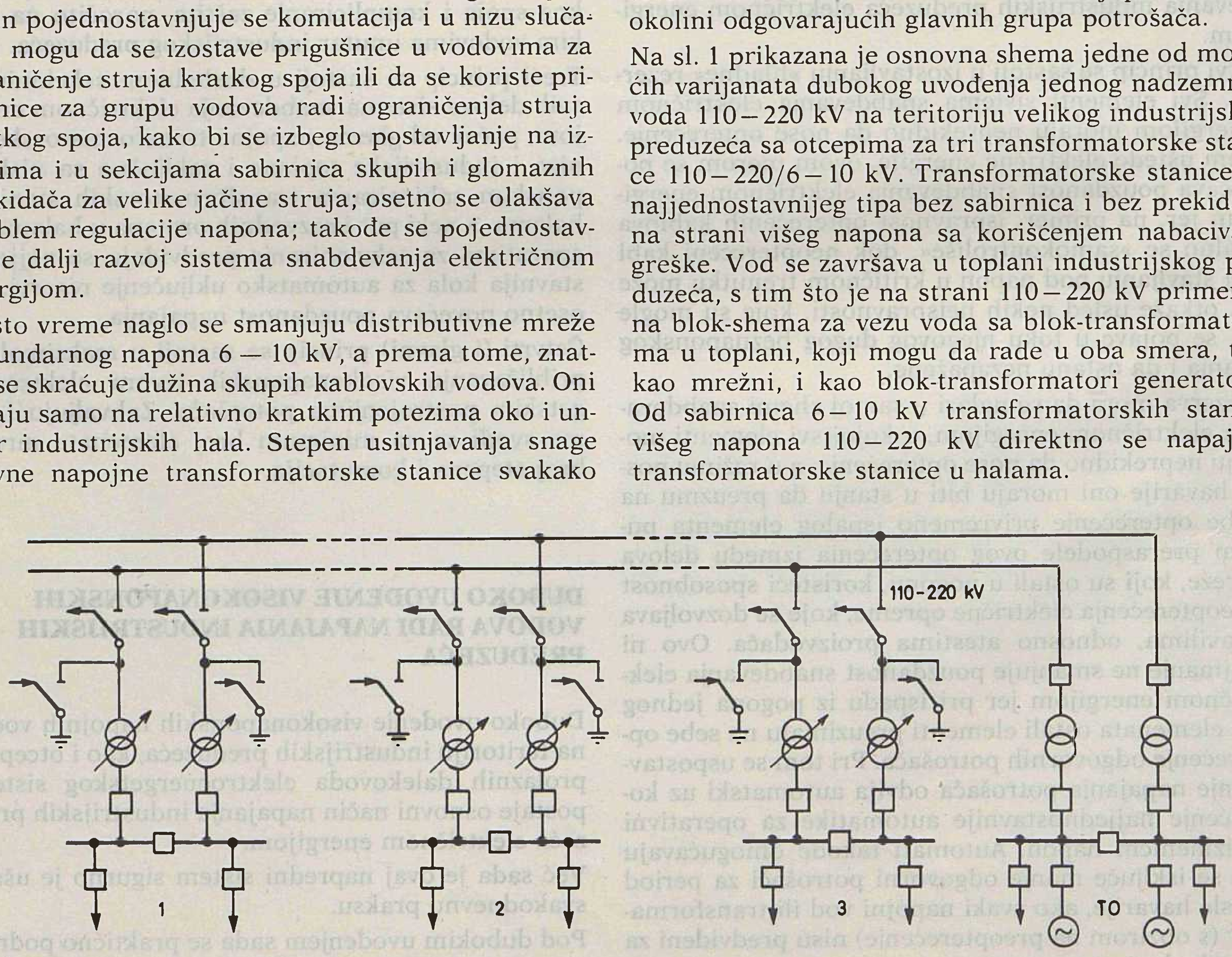
U isto vreme naglo se smanjuju distributivne mreže sekundarnog napona 6 — 10 kV, a prema tome, znatno se skraćuje dužina skupih kablovskih vodova. Oni ostaju samo na relativno kratkim potezima oko i unutar industrijskih hala. Stepen usitnjavanja snage glavne napojne transformatorske stanice svakako mora da se uskladi sa lokalnim uslovima, kao i granom industrije, a da se obrazloži tehničko-ekonomskim proračunima. Ovaj sistem snabdevanja električnom energijom mora da nađe najveću primenu u slučaju napajanja razbacanih potrošača i velikih teritorija industrijskih preduzeća: kombinati za oplemenjivanje rude, dnevni kopovi itd. U velikim preduzećima sa koncentrisanim opterećenjima, sa snažnim električnim pećima, elektromotorima velikih snaga itd. snaga glavne napojne transformatorske stanice stalno raste i smanjuje se stepen usitnjavanja snage.

Duboka uvođenja se izvode prema dvema shemama:

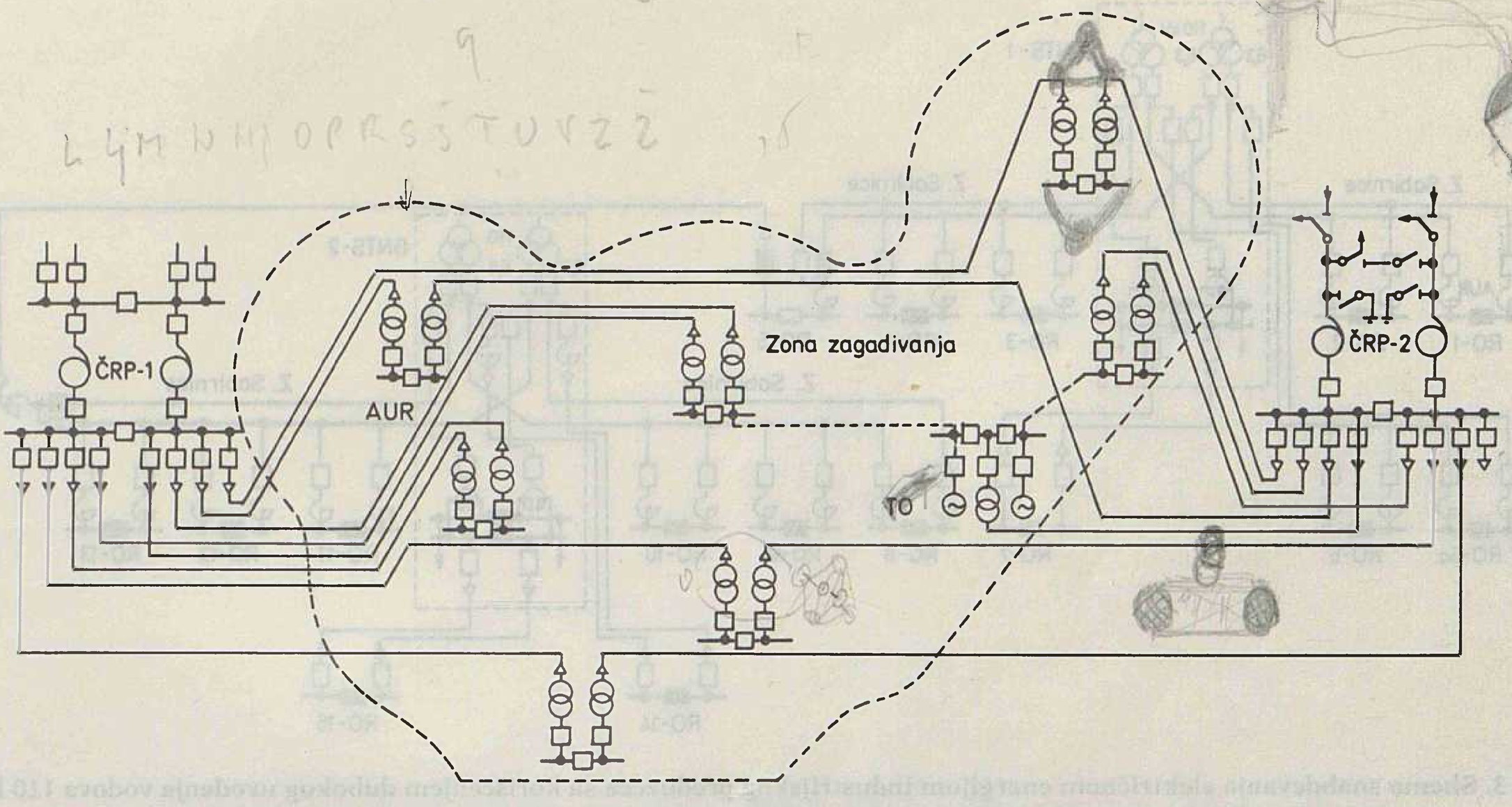
a) u vidu glavnih visokonaponskih nadzemnih vodova, koji prolaze u zoni glavnih opterećenja i napajaju nekoliko (do pet) transformatorskih stanica 110 – 220 kV usitnjenih snaga, priključenih preko otcepa na glavni visokonaponski vod prema pojednostavnjenoj shemi uz korišćenje nabacivača greške (naprave za kratko spajanje) i rastavljača snage;
b) u vidu radijalnih kablovskih ili nadzemnih vodova, koji napajaju transformatorske stanice usitnjenih snaga prema blok-shemi: vod — transformator.

Duboko uvođenje glavnih visokonaponskih vodova opravdano je i izvodljivo u slučaju normalne ili malo zagađene okoline i kada nema ozbiljnih prepreka za izgradnju nadzemnih vodova i lociranje transformatorskih stanica 110 – 220 kV na teritoriji preduzeća u okolini odgovarajućih glavnih grupa potrošača.

Na sl. 1 prikazana je osnovna shema jedne od mogućih varijanata dubokog uvođenja jednog nadzemnog voda 110 – 220 kV na teritoriju velikog industrijskog preduzeća sa otcepima za tri transformatorske stanice 110 – 220/6 – 10 kV. Transformatorske stanice su najjednostavnijeg tipa bez sabirnica i bez prekidača na strani višeg napona sa korišćenjem nabacivača greške. Vod se završava u toplani industrijskog preduzeća, s tim što je na strani 110 – 220 kV primenjena blok-shema za vezu voda sa blok-transformatorima u toplani, koji mogu da rade u oba smera, tj. i kao mrežni, i kao blok-transformatori generatora. Od sabirnica 6 – 10 kV transformatorskih stanica višeg napona 110 – 220 kV direktno se napajaju transformatorske stanice u halama.



Sl. 1. Shema dubokog uvođenja glavnog voda 110 – 220 kV u krug velikog industrijskog preduzeća



Sl. 2. Shema radijalnog (zrakastog) dubokog uvođenja vodova 110 – 220 kV:
ČRP-1; ČRP-2 — čvorišna razvodna postrojenja; AUR — automatsko uključenje rezervi

Radijalna duboka uvođenja treba prvenstveno koristiti u slučaju zagađene sredine, mada oni u nizu slučajeva mogu da se opravdaju i u slučaju normalne sredine. Kablovski radijalni vodovi su naročito pogodni ako je teritorija preduzeća skučena i postoje zgrade, objekti i nadzemni industrijski razvodi (pare, gasa, i sl.) koji ometaju polaganje nadzemnih vodova i lociranje na otcepima transformatorskih stanica 110 – 220 kV. Shema snabdevanja velikog industrijskog preduzeća električnom energijom uz korišćenje radijalnih dubokih uvođenja i sa usitnjavanjem snage transformatorskih stanica prikazana je na sl. 2. Radijalne sheme dubokih uvođenja imaju određene prednosti u odnosu na duboko uvođenje glavnih visokonaponskih nadzemnih vodova, jer havarije na vodu ili u jednom transformatoru ne utiču na pogon ostalih transformatorskih stanica.

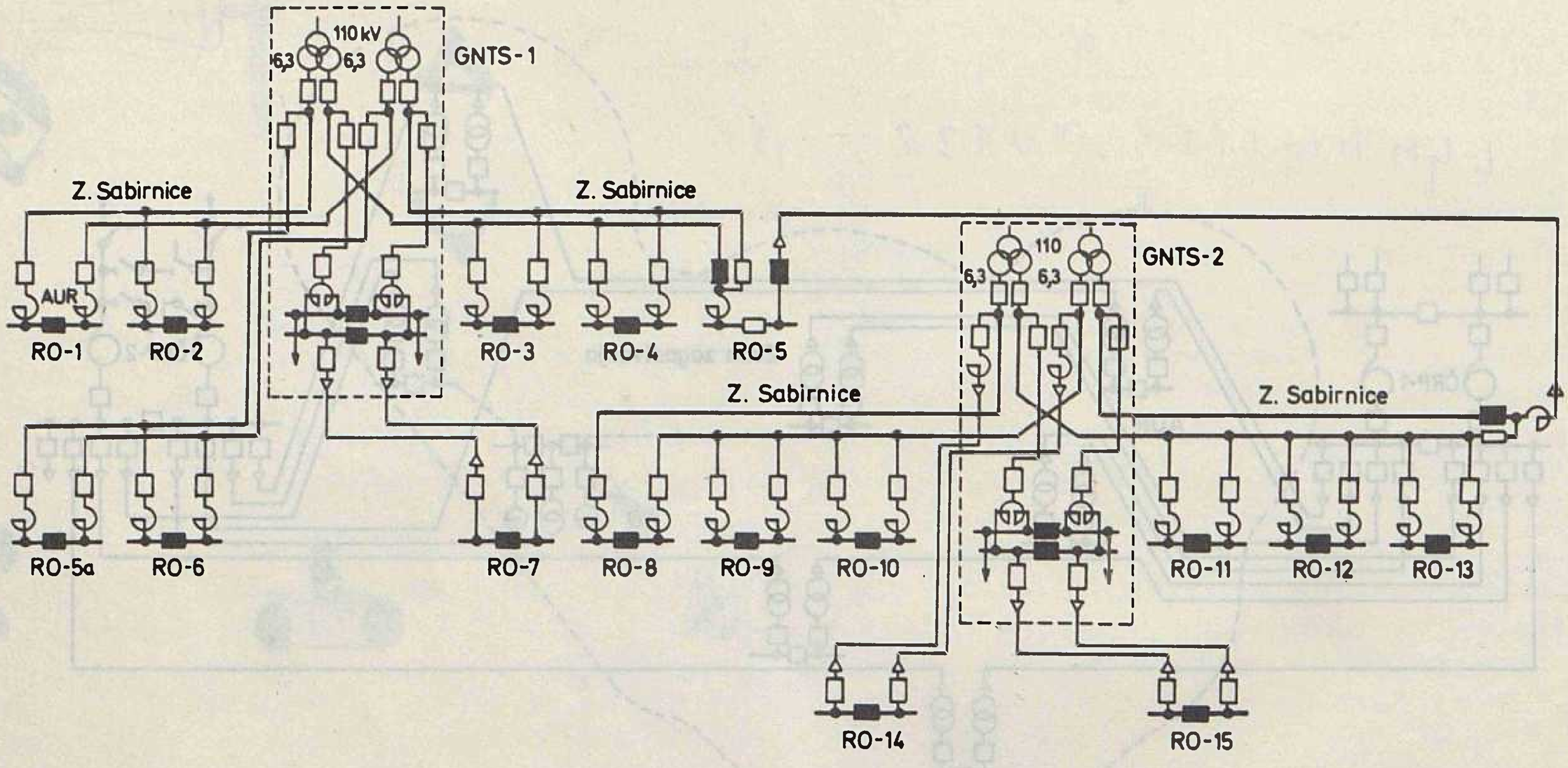
Pri maksimalnoj jednostavnosti i jevtinoći shema, prikazanih na sl. 1 i 2, one u pogledu pouzdanosti napajanja ni najmanje ne zaostaju od predašnih glomaznih shema centralizovanog snabdevanja električnom energijom. One su podesne za napajanje potrošača svih kategorija prioriteta.

Duboka uvođenja vodova 110 – 220 kV uz usitnjavanje snage transformatorskih stanica u izvesnim slučajevima nalaze se u suprotnosti sa glavnim sistemima razvođenja električne energije snažnim zatvorenim sabirnicama 6 – 10 kV. Ako se uspeva prema uslovima lokacije potrošača i generalnog plana preduzeća da se u maksimalnoj meri ostvari princip usitnjavanja snage transformatorskih stanica 110 kV, onda, prirodno, otpada potreba da se predvidi razvođenje energije snažnim zaštićenim sabirnicama. Ako se pak zbog lokacije velikog broja relativno malih transformatorskih stanica 35 – 220 kV pojavljuju teškoće za prolaz nadzemnih vodova s obzirom na planiranje kruga industrijskog preduzeća, onda postaje aktuelnom izgradnja snažnog razvoda zaštićenim sabirnicama. Pri izradi generalnog plana industrijskog preduzeća treba voditi računa o obema ovim okolnostima i usvojiti konačno rešenje na bazi brižljivog tehničko-ekonomskog upoređenja.

U nizu slučajeva mogu da postoje povoljni uslovi za istovremeno korišćenje oba ova sistema. Kao primer takve kombinacije može da posluži shema snabdevanja električnom energijom velikog industrijskog preduzeća prikazana na sl. 3. Na shemi vidimo dve glavne napojne transformatorske stanice sa po dva transformatora u svakoj na duboko uvedenim vodovima 110 kV. Transformatori su sa 2 sekundarna namotaja istog napona. Ovo je prava blok-shema. Osnovna raspodela električne energije se obavlja preko zaštićenih sabirnica 6 kV. Deo spoljnih potrošača, lociranih van trasa zaštićenih sabirnica, napaja se od sabirnica sekundarnog napona glavnih napojnih transformatorskih stanica ili iz spoljnih transformatorskih stanica, koje su priključene direktno na izvode sekundarnog napona transformatora. Na krajnjim deonicama zaštićenih sabirnica, snabdevanim iz raznih glavnih napojnih transformatorskih stanica, predviđena je rezervna veza koja se koristi u slučaju havarija.

Usled sve veće primene principa usitnjavanja snage glavnih napojnih transformatorskih stanica bitno se promenilo gledište da problem proširenja i rekonstrukcija transformatorskih stanica, kojem se ranije pridavalo vrlo veliko značenje, što je u nizu slučajeva izazivalo povećanje prvobitnih investicionih ulaganja, koja posle nisu uvek potpuno iskorišćavana.

Problem razvoja snabdevanja industrijskih preduzeća električnom energijom sada se rešava u većini slučajeva putem izgradnje novih transformatorskih sta-

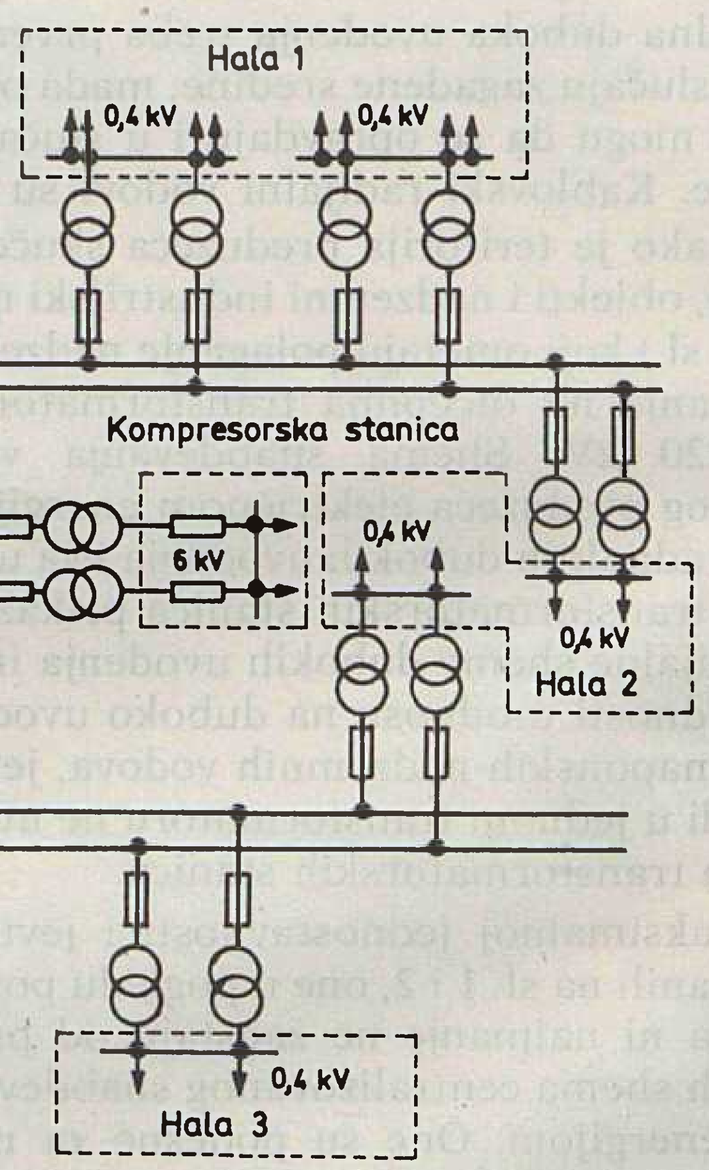


Sl. 3. Shema snabdevanja električnom energijom industrijskog preduzeća sa korišćenjem dubokog uvođenja vodova 110 kV i primenom simetričnih zaštićenih sabirnica 6 kV: GNTS-1; GNTS-2 — glavne napojne transformatorske stanice 110/6,3 kV; RO-1. . . RO-14 — razvodni ormani

nica u težištima novih potrošačkih područja, a ne putem povećanja snage postojećih transformatorskih stanica. Pri tom transformatorske stanice koje su u pogonu ili se uopšte ne uzimaju u obzir, ili se u njima predviđaju samo veze sa novim transformatorskim stanicama prvenstveno na sekundarnom naponu. Samo ponekad može da se opravda zamena postojećih transformatora u transformatorskoj stanici koja je u pogonu transformatorima većih snaga. Mogućnost zamene treba da se predvidi još pri izdavanju projektnog zadatka za građevinske radove, a u delu koji se odnosi na transformatorske temelje i jamu za sakupljanje ulja.

Usitnjavanje snage transformatorskih stanica 35 — 220 kV umnogome olakšava izgradnju industrijskih preduzeća u etapama. Tako, na primer, u jednom kombinatu za oplemenjivanje rude od 12 predviđenih transformatorskih stanica 110/6 kV, pri puštanju u pogon prve etape proradilo je samo 4, dok su se ostale transformatorske stanice dodale pri stavljanju u pogon druge etape i pri završetku izgradnje preduzeća. Analogna slika se dobija i u drugim preduzećima. Ovo omogućava da se najefikasnije (sa dobitkom u vremenu) iskoristi električna oprema i doznačeni novac za izgradnju. Sem toga pruža se mogućnost da se blagovremeno koriguje električno opterećenje druge etape, koje se u nizu slučajeva menja do trenutka ostvarenja druge etape izgradnje industrijskog preduzeća.

Na sl. 4. prikazan je duboko uvedeni glavni vod 35 kV, koji prolazi pored industrijskih hala paralelno njihovim podužnim osama i koristi se kao sabirnica transformatorskih stanica. Energetski transformatori su postavljeni pored zidova industrijskih hala i priključeni su direktno na nadzemni vod 35 kV prema najjednostavnijim shemama, bez sabirnica na



Sl. 4. Duboko uvođenje glavnog voda 35 kV

strani višeg napona, ali sa osiguračima 35 kV. Priključak transformatora na razvodno postrojenje nižeg napona, smešteno u hali, izveden je golim sabirnicama. U nizu slučajeva električna energija se transformiše na napon 380 ili 660 V. (Napon 660 V nije obuhvaćen JUS N. A2. 001, ali ga preporučuje IEC.)

Nađena su jednostavna konstruktivna i dispoziciona rešenja shema dubokog uvođenja vodova 35 — 220 kV, koja ne zahtevaju mnogo mesta za smeštaj i koja ne traže povećanje rastojanja osnovnih postrojenja preduzeća i produženje veza.

Energija, god. 33 (1984) 6, 499 — 504

Upoređenje troškova snabdevanja električnom energijom unutar industrijskog preduzeća prema uobičajenom načinu raspodele električne energije na naponu 6 – 10 kV i pri dubokom uvođenju napona 35 kV pokazuje da se u pojedinim slučajevima dubokog uvođenja uštedi do 40 % na obojenim metalima i do 50 % na investicionim ulaganjima.

Pri dubokom uvođenju napona 110 kV uštede iznose: na investicionim ulaganjima do 20 – 30 %, na gubicima električne energije do 5 – 10 % i na obojenim metalima do 50 – 60 %.

Pri izvođenju dubokog uvođenja nadzemnih vodova 35 – 220 kV mora da se računa s izvesnim teškoćama izazvanim njihovim prolazom preko teritorije industrijskog preduzeća. Ovaj zadatak treba rešavati pri razradi generalnog plana industrijskog preduzeća. Težnja da se što više smanji teritorija industrijskog preduzeća kako bi se smanjili troškovi uređivanja terena, kao i za unutrašnji saobraćaj i tehnološke veze, neki put primorava da se izvede skuplje uvođenje kablovima 35 i 110 kV, tako da spoljni nadzemni napojni vodovi pređu u kablovske na ulazu u krug industrijskog preduzeća.

Pri tehničko-ekonomskom ocenjivanju dubokog uvođenja napona 35 kV treba imati u vidu dodatne izdatke na radioničke mreže 380 V i 6 – 10 kV, jer je pri dubokom uvođenju napona 35 kV teže približiti radioničke transformatorske stanice centrima potrošnje koje one napajaju, a isto tako i snaga ove transformacije ponekad se dobija nešto veća od optimalne.

PRIMER IZ SEĆANJA

Na teritoriji našeg najvećeg industrijskog preduzeća, koje je pre rata brojilo više od 10 000 radnika, Nemci su pri povlačenju ostavili samo jedan strug, jedan benzinski agregat 3,5 kVA, mostovne dizalice u valjaonici i još jednoj radionici koje su do posljednjeg trenutka koristili za utovar mašina koje su odnosili i jedan transformator 35/0,5 kV za napajanje automobilske radionice opremljene najmodernijim mašinama, pa čak i glodalicama za rezanje zavojnih zupčanika, koju su oni pretvorili u centralnu automobilsku radionicu Nemačkih kopnenih oružanih snaga na Balkanu.

Na ostalom području preduzeća nije ostalo nijedne mašine, vodovodske mreže, električnih stubova i kablova, gvozdenih prozora, gvozdenih krovova. Noviji deo preduzeća (radionička površina preko 7.200 m²) Nemci su poravnali zemljom, rasprodavši seljacima čak i opeke obimnih zidova!

Pri obnovi preduzeća trebalo je rešavati mnoge probleme iz različitih oblasti.

Iz oblasti elektroenergetike postavljao se kompleksni problem snabdevanja električnom energijom počev od osnovne principijelne sheme s obrazloženim načinom napajanja i razvođenja: naponi, tačke napajanja, trase i vrste vodova i dr.

Posle oslobođenja nešto se izmenio zadatak preduzeća, valjaonica obojenih metala zajedno sa pripadajućom livnicom obojenih metala nestala je u vrtlogu rata, prestala je potreba u elektrolučnim pećima, nastale su i druge promene tako da se transformatorska stanica 35 kV, locirana i onako dosta ekscentrično u odnosu na teritoriju preduzeća, našla daleko od težišta potrošnje električne energije. Ipak je ona iz početka podmirivala potrebe preduzeća, ali to nije moglo dugo da potraje — samo do stavljanja u eksploataciju prvog obnovljenog pogona. Sem nedovoljne snage i nepodesne lokacije transformatorske stanice 35 kV pretila je direktna opasnost da će ona ubrzo potpuno ispasti iz uporebe, jer od dva kabla 35 kV, položenih za njeno napajanje do prvog stuba prvog dalekovoda 35 kV u Jugoslaviji jedan je probio marta 1941. godine, a odmah nije opravljen zbog vrlo loših atmosferskih prilika, dok posle rata nije se mogao naći potreban materijal za opravku. Kroz drugi kabl, koji je ostao pod naponom, zbog velike visinske razlike glave na stubu i glave u transformatorskoj stanici ulje je stalno curilo i on je radio skoro suv i pored stalnog dolivanja ulja u gornju kablovsku glavu. Postojala je ozbiljna pretnja da će probiti svakog časa.

Sve rečeno jasno je ukazivalo na potrebu da se napon 35 kV duboko uvede u krug preduzeća i da se napojna točka — nova transformatorska stanica 35 kV — što više približi težištu potrošnje. Ali se našli i protivnici ili neverice u takvo rešenje zato što se napon 35 kV tek počeo koristiti u nas i bilo je nečuveno da se kroz krug preduzeća polažu vodovi 35 kV (o nabavci kablova 35 kV tada nije moglo biti ni reči) — ljudi se bojali električnih trauma tim pre što je trebalo na više mesta preseći železničke pruge normalnog koloseka.

I sama realizacija ovog rešenja naišla je na teškoće. Svim našim organima u inostranstvu bilo je naređeno da obezbede materijal za taj priključak. Ali u opljačkanoj Evropi dugo nisu mogli da se nađu potporni izolatori VHD 30 za svega oko 3 km voda!

Najzad izgrađen je taj vod sa ogrankom za staru transformatorsku stanicu 35 kV, stavljena je pod napon nova transformatorska stanica 35/6 kV, na koju se priključile radioničke transformatorske stanice, uštedilo se oko 8 puta samo na dužini kablova 6 kV u poređenju sa dužinom razvodne mreže 10 kV koja bi se napajala iz stare transformatorske stanice 35 kV, a da se ne pominju i drugi izdaci — na rad, na tranformaciju radi napajanja većih elektromotora na naponu 6 kV i drugo.

Tako je u Jugoslaviji bilo ostvareno prvo napajanje industrijskog preduzeća električnom energijom putem dubokog uvođenja voda 35 kV.

LITERATURA

[1] ERMILOV A. A.: »Osnovy elektrosnabženija promyšlennyh predprijatij«, »Energija« (Moskva), 1969.
[2] Ukazanija po projektirovaniju elektrosnabženija promyšlenyh predprijatij, SN – 174 – 67, »Literatura po stroiteljstvu«, 1968.
[3] AFONIN N. S.: »Nadežnostj elektrosnabženija promyšlennyh predprijatij«, Gosenergoizdat, 1958.

INDUSTRY POWER SUPPLY BY HIGH VOLTAGE LINES INSTALED TO INDUSTRIAL AREA

In the article is described industry power supply by high voltage lines instaled to industrial area. This kind of supply has many advantages as decreased losses, material savings, lowering short circuit currents on lower voltages.

DAS SPEICHERN DER INDUSTRIEBETRIEBE MIT ELEKTRISCHER ENERGIE MIT HILFE DER TIEFEN EINFÜHRUNG DER HOCHSPANNUNGS — LEITUNGEN

Geschildert wurde die Versorgung der Industrie mit elektrischer Energie durch die Einführung der Hochspannungs — Leitungen in den Industriebetrieb selbst. In Verbindung mit einer solchen Versorgung werden viele Vorteile erreicht wie Verringerung der Verluste bei der Materialiensparung, Verringerung der Kurzschlußstrome auf niedrigen Spannungen usw.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЕМ ГЛУБОКОГО ВВОДА ЛИНИЙ ВЫСШИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Показано электроснабжение промпредприятий путем ввода линий высших напряжений вглубь территории промпредприятий. Такой способом электроснабжения обеспечивает многие преимущества, в том числе: уменьшение потерь, экономию материалов, уменьшение токов кз на более низких напряжениях и др.

Naslov pisca:

Kiril A. Tropin, dipl. ing.
11000 Beograd, Vj. Kovača 18
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis
1983 – 04 – 18.

RAZVOJ I STANJE KABELSKE TEHNIKE VISOKOG NAPONA DANAS U SVIJETU

Boris Markovčić, Zagreb

UDK 621.315.2
PREGLEDNI RAD

Stanje visokonaponske kabelske tehnike i njezina današnja problematika najbolje se može upoznati iz referata prezentiranih na zasjedanjima CIGRE u Parizu i radu odnosnog studijskog komiteta. U članku je dan pregled sadržaja referata grupe — Visokonaponski kabeli na zasjedanjima 1982. i 1984. kao i pregled rada radnih grupa koje se bave kabelima.

Ključne riječi: kabeli, prijenos električne energije, CIGRE.

Početkom sedamdesetih godina, nakon naftne krize, bitno su se u svijetu izmijenili pogledi na razvoj sistema za prijenos velikih električnih snaga. Primjena nove prijenosne tehnike, npr. ultravisokih prijenosnih napona i supravodljivih kabela, predviđa se danas mnogo kasnije nego prije petnaestak godina. Takve tendencije u promjeni trenda razvoja došle su naravno do punog izražaja i na dvogodišnjim generalnim zasjedanjima Međunarodne konferencije za velike električne mreže visokog napona CIGRE u Parizu. Na tim zasjedanjima, kako je poznato, vode se diskusije u 15 grupa. Svaka od njih ima na raspolaganju jedan cijeli dan. Grupa br. 21 posebno se bavi kabelima visokog napona. Iz referata i diskusija u ovoj grupi proizlaze najnoviji podaci iz visokonaponske kabelske tehnike, te njezino stanje i razvoj u svijetu.

Gledajući unatrag, u desetljeću prije naftne krize, diskutirani problemi kretali su se u okviru napora za povišenje napona i povećanje prijenosne moći kabela, dok su se nakon povećanja cijene energije i smanjenja trenda potrošnje električne energije tendencije kretale oko sniženja cijene kabelskih instalacija i njihove pouzdanosti. Koja je pak problematika danas aktualna, najbolje se može razabrati iz sadržaja referata grupe 21. CIGRE iznesenih 1982. i 1984. na zasjedanju u Parizu.

Prema pravilima zasjedanja, razmatrana se tematika mora uklopiti u preferencijalne teme. Za zasjedanje 1984. istaknute su ove teme:

1. Problem pouzdanosti energetskih podmorskih kabela
2. Konstrukcija, proizvodnja, ugradnja i održavanje kabela sa sintetskom izolacijom
3. Kabelski sistemi ultravisokog napona nove tehnike.

Vrlo slično su glasile preferencijalne teme i za prethodno zasjedanje 1982. godine.

Držeći se redoslijeda navedenih tema, promotrit ćemo sadržaj ukupno 21 referata iz obaju zasjedanja.

1. Preferencijalna tema imala je na oba zasjedanja ukupno 4 referata.

Na zasjedanju 1982. dan je izvještaj (Ref. 21 – 10/82) o studijama, projektiranju kabelske veze i ispitivanju prototipa kabela za prijenos električne energije između kanadskog kopna i otoka Vancouvera. Nakon vrlo opsežnih ispitivanja odlučeno je da se polože 2 trofazna kabelska sistema s jednofaznim uljnim kabelima, presjeka vodiča 1 600 mm², prijenosne snage 1 100 MVA. Odabrana kabelska trasa ide preko otoka Texada, pa ima dva podmorska prijelaza od 9 km i 30 km. Na krajevima i na otoku predviđena je kompenzacija kapacitivne jalove snage. Treba spomenuti da je već prije otok napajan s kopna preko 7 trofaznih i 2 istosmjerna kabela. Na zasjedanju 1984. referirano je (Ref. 21 – 04/84 — Kanada — Norveška — Italija) detaljno o tipu kabela, opremi, polaganju i pogonskom ispitivanju.

Švedani su dali izvještaj (Ref. 21 – 05/82) o popravku podmorskog kabela 400 kV, koji je bio oštećen sidrom. Kabel je pomoću kesona uspjelo popraviti pod morem. Iskustvo je pokazalo da za takve popravke treba prethodno donijeti detaljan plan akcije analizirajući najrazličitije moguće slučajeve kvara. Plan mora sadržati upute za određivanje mjesta kvara, metode popravka, odrediti odgovarajući brod, alat i rezervne dijelove.

Inatoč tome što je otok Sicilija već 1955. godine vezan s talijanskim kopnom nadzemnim trofaznim vodom preko Mesinskog tjesnaca, Talijani planiraju novu kabelsku vezu 400 kV, dužine 6,5 km, prijenosne snage 1 000 MVA. U referatu koji su prezentirali (Ref. 21 – 10/84) iznesene su studije koje su prethodile izradi kabela i projekta polaganja s obzirom na teške prilike konfiguracije morskog dna i morskih struja u tjesnacu.

Energija, god. 33 (1984) 6, 505 — 508

O drugoj preferencijalnoj temi, tj. o problemima kabela izoliranih plastičnom izolacijom podneseno je ukupno 8 referata. Iz toga se može razabrati da za tu vrstu kabela vlada znatan interes. Razvojem se želi omogućiti primjena plastične izolacije kod što viših napona, jer su prednosti takve izolacije višestruke. Nema tekućeg izolacijskog sredstva kao što je npr. u uljnim kabelima, jednostavnije je stavljanje u pogon i održavanje, povoljan je tg δ, a kapacitet kabela je niži u usporedbi s kabelima izoliranim nauljenim papirom. Ključni su problemi plastične izolacije vodno grananje (arborescencija, water treeing) i ponašanje kabela u dugim vremenskim razdobljima. Ti se problemi rješavaju u svim zemljama koje razvijaju plastične visokonaponske kabele, kako u laboratoriju, tako i na temelju opažanja kabela u pogonu. O rezultatima takvih radova izvijestili su Nijemci (Ref. 21–07/82), Nizozemci (Ref. 21–02/82) i Švedani (Ref. 21–11/82) na zasjedanju 1982, a 1984. iz Nizozemske je dan referat (Ref. 21–02/84) o pouzdanosti plastičnih visokonaponskih kabela u dugom vremenskom razdoblju.

U ostala 4 referata u okviru ove preferencijalne teme iznesen je razvoj iskustva i trend razvoja u pojedinim zemljama. Japanci su dali obavijest (Ref. 21–09/82) o termičkom i mehaničkom ponašanju polietilenskih kabela instaliranih u njihovoj zemlji. Također je govoreno o konstrukciji i procesu proizvodnje. Ima već 15 godina da je u Japanu u pogonu prvi plastični kabel 66 kV. Sada su u normalnom pogonu takvi kabeli 154 kV, a 1979. ugrađen je pokusni plastični kabel 275 kV. Pokazalo se da su kabeli do 154 kV potpuno zadovoljili, a to se predviđa i za 275 kV, no svakako treba i nadalje studirati njihovu pouzdanost i raditi na poboljšanju.

Sličan referat dala je Britanija (Ref. 21–01/84), gdje se govori o plastičnim kabelima do naponskih nivoa 230 kV odnosno 275 kV. Posebno su iznesena pitanja proizvodnje te električnih i termičkih ispitivanja.

Poznato je da je Francuska prva stavila u redovni pogon plastične kabele 225 kV, što je bio tada za takvu vrstu kabela daleko najviši napon u svijetu. U svom su referatu (Ref. 21–03/84) Francuzi iznijeli pogonske rezultate sakupljene u toku 20 godina na naponskim nivoima 63 kV do 225 kV. Spomenuti su također novorazvijeni tipovi polietilenskih kabela s aluminijskim ekranom do presjeka 1 600 mm².

U Norveškoj (Ref. 21–06/84) su polietilenski kabeli uvedeni 1967. na naponima 12 kV i 24 kV. Već 1976. položen je takav kabel napona 154 kV, a 1980. za napon 300 kV. Danas su instalirana u elektranama 2 kabela 300 kV. Oni doduše nisu dugački, svega 420 m, presjeka 630 mm², ali su se pokazali odličnima u pogonu. U referatu su opisani kabeli, pribor i instalacije, kao i metode ispitivanja.

Treća preferencijalna tema, gdje se obrađuju problemi kabelskih prijenosa velike snage, zastupljen je u oba zasjedanja s ukupno 9 radova.

Iz Sovjetskog Saveza podnesen je referat (Ref. 21–08/82) o razvoju izolacije uljnih kabela, kako bi se njihova prijenosna snaga povećala porastom pogonskog gradijenta električnog polja umjesto prisilnim hlađenjem, što povećava gubitke. Ispitani su sovjetski uljni kabeli 110 kV i 220 kV koji se upotrebljavaju u gradovima i 220 kV i 550 kV upotrebljavani u elektranama. Dobiveni rezultati bit će korišteni u razvoju uljnih kabela za napone 750 kV i 1 100 kV.

Britanci su referirali (Ref. 21–06/82) o poboljšanjima pouzdanosti kabela napona 275 kV i 400 kV koja su postignuta novim koncepcijama građe kabela, zamjene mineralnog ulja dodecil-benzenom, povećanjem unutrašnjeg tlaka i pojačanjem aluminijskog plašta.

Radi povećanja prijenosne moći uljnih kabela razvijaju se kabelski sistemi s klasičnim uljnim kabelima, ali prisilno hlađeni. Pri tome postoje tri rješenja: hlađenje tla oko kabela tekućom vodom i direktno hlađenje vodiča.

U nizozemskom referatu (Ref. 21–03/82) opisana su ispitivanja provedena u laboratoriju KEMA s kabelskim sistemom 400 kV. Sistem je hlađen lateralno, tj. paralelno s 3 jednofazne žile položene su plastične cijevi u kojima cirkulira voda. Pokusna duljina kabela iznosila je 100 m. Tim su se uređajem ispitivali praktički pogonski problemi i verificirale metode proračuna. Pokazalo se da se takvom konstrukcijom kabelskog sistema može prenijeti uljnim kabelom 400 kV do 1750 MVA.

Od navedenih mogućnosti hlađenja kabela svakako je najefikasnije direktno hlađenje vodiča bilo uljem, bilo tekućom vodom. Ovu tehniku naročito razvijaju Nijemci pa su o tome dali 2 referata. Za zasjedanje 1982. (REf. 21–01/82) opisano je ispitivanje 300 m dugačkog uljnog kabela 110 kV čiji je aluminijski vodič direktno hlađen vodom. Aluminij, presjeka 3 000 mm² pleten je na cijev od nerđajućeg čelika. Cijev ima promjer 55,1 mm, a u njoj cirkulira rashladna voda. Vanjski promjer kabela iznosi 152 mm. Prijenosna mu je moć 1 000 MVA. Opsežna su ispitivanja pokazala da su transport, montaža i spojni dijelovi takvi da nema poteškoća u serijskoj proizvodnji i gradnji, a pogon dovoljno siguran. Na posljednjem pak zasjedanju 1984. (Ref. 21–08/84) izneseni su rezultati ispitivanja 400 kV uljnog kabela čiji je vodič hlađen vodom, slično kao kod prije opisanog kabela 110 kV. Ispitivanja su obavljena u ispitnoj stanici u Berlinu. Pokazalo se da takav kabel može prenositi 5 000 MVA, da je vrlo pouzdan kao i klasičan kabel tog tipa, jer pouzdanost ovisi prvenstveno o kabelu kao takvom.

Posebno ambiciozni plan imaju Talijani (Ref. 21–09/84). Oni razvijaju kabel 1 100 kV, koji se uklapa u opsežne razvojne radove talijanskog sistema 1 100 kV, čija su istraživanja koncentrirana u ispitnoj stanici Suvereto. Na temelju ugovora između talijanske elektroprivrede ENEL i tvrtka Pirelli provode se ispitivanja uljnog kabela ultravisokog napona s unutarnjim hlađenjem uljem. Vodič presjeka 2 000 mm² pleten je u segmentima tako da čini šuplju cijev promjera 24 mm u kojoj cirkulira ulje. Vanjski promjer jednožilnog kabela iznosi 152 mm, a eksperimentalna duljina 300 m. Ispitivanja su pokazala da

takav kabel dužine 500 m može prenijeti uz unutarnje hlađenje uljem 9 000 MVA, a vanjskim hlađenjem vodom 3 500 MVA. Ako mu je pak duljina 1 000 m prijenosna snaga iznosi 4 000 MVA, odnosno 3 000 MVA. Pokazalo se nadalje da se rezultati proračuna i eksperimenata vrlo dobro slažu. Ispitivanja dugog trajanja su u toku.

S obzirom na izgradnju istosmjernih sistema velike snage u Velikoj Britaniji, provode se vrlo opsežna ispitivanja uljnih kabela s prirodnim hlađenjem za vrlo visoke istosmjerne napone (Ref. 21—07/84). Rezultati tih radova su pokazali da je moguće takve kabele upotrijebiti do istosmjernog napona od 1 000 kV, prijenosne snage 2 000 MW do 3 000 MW po polu. Limitirajući faktori su mogućnost savijanja za transport na bubnju i prenaponi. Ako bude moguće izraditi fleksibilniji kabel i ograničiti prenapone, napon se može dići do 1 200 kV između polova.

O plinskim SF_6 kabelima raspravljano je u jednom referatu na zasjedanju 1982. i u jednom 1984. Danas ima u svijetu, u redovnim pogonima, više kabela s plinskom SF_6 izolacijom, do maksimalne dužine od nekih 700 m. Veće duljine tek se predviđaju. U mnogim se zemljama radi na ispitivanju mogućnosti njihove primjene na što višim naponima te na poboljšanju proizvodnje i transporta. Eksperti iz SAD iznijeli su svoje radove na razvoju SF_6 kabela (Ref. 21—04/82). Opisan je trofazni SF_6 kabel za 362 kV, 2 000 A, prijenosne snage 1 250 MVA, ugrađen u mreži u SAD. Dužina kabela iznosi 180 m, promjer 771 mm, a tlak plina 4,4 bara. Na tom su kabelu provedena opažanja o ponašanju kroz dugo vremensko razdoblje.

Posebna laboratorijska ispitivanja provedena su u ispitnoj stanici Waltz-Mill na dva kabela. Prvi je tip bio za 1 200 kV, 5 000 A, prijenosne snage 10 000 MVA krut, a drugi fleksibilan. Prvi pokusni kabel imao je dužinu 40 m, a drugi 18 m u cijevi od valovitog aluminijskog lima. Naročito je ispitivano ponašanje kabela pri različitim udarnim naponima i tlakovima od 4,4 bara do 5,5 bara. Osim toga, u ispitivanje su uključeni i kabelski zaglavci do napona od 1 200 kV. Dobiveni su zadovoljavajući rezultati, jer se pokazalo da plinski SF_6 kabeli mogu zadovoljiti prijenose do 10 000 MVA upotrebljivi su na svim naponskim nivoima trofazno i istosmjerno.

Na zasjedanju 1984. o plinskim kabelima i njihovu razvoju izvijestili su Japanci (Ref. 21-05/84). U Japanu su od 1979. u pogonu plinski SF_6 kabeli napona 154 kV i 275 kV, a sada se razvijaju do napona od 500 kV s mogućnošću strujnog opterećenja od 12 kA i 8 kA. Prema onome što je izneseno u referatu Japan bi izgradio svoju prvu kabelsku liniju 500 kV godine 1984/85. Prenosila bi se snaga od 5 400 MVA na daljinu od 140 m. Takav bi kabel imao vanjski promjer aluminijske cijevi od 480 mm, aluminijski vodič kao cijev promjera 180 mm, debljine stijenke 17 mm, a unutrašnji tlak plina SF_6 iznosio bi 5 bara.

Rezimirajući ono što je izneseno u referatima možemo konstatirati da je uspjelo položiti pod morem 525 kV uljni kabel, 1 600 mm² prijenosne snage 1 200 MVA i vrlo teški 400 kV kabel također 1 600 mm² na dubinu od 300 m. Tehničke mogućnosti polaganja, popravka i mehaničke zaštite sve su bolje.

Za kabele sa sintetičkom izolacijom postoji u svijetu vrlo velik interes. U mnogim zemljama vrše se vrlo opsežni pokusi, osobito oni dugog trajanja, kako bi se takvi kabeli mogli primijeniti na što višim naponima. Danas je već dosegnut napon od 300 kV.

Pokazalo se da se prisilnim hlađenjem klasičnog kabela mogu prenijeti vrlo velike snage, naročito ako se primijeni direktno hlađenje vodiča. No takva tehnika prijenosa izaziva visoke gubitke pa će upotreba prisilno hlađenih kabela biti ograničena bilo za velike prijenose na kraćim razdaljinama, bilo kao rezerva pri vršnim opterećenjima i kvarovima.

Uspješni pokusi izvedeni su s uljnim prisilno hlađenim kabelima do 1 100 kV, za prijenos snage do 9 000 MVA, dok su mogućnosti prijenosa plinskim SF_6 kabelima do 10 000 MVA. Naravno da su ovako velike prijenosne mogućnosti potpuno otklonile interes za krio i supravodljive kabele.

Između dvogodišnjih generalnih zasjedanja CIGRE sastaju se studijski komiteti i njihove radne grupe da raspravljaju o aktualnoj svjetskoj problematici iz njihova područja djelovanja. Promotrit ćemo stoga rad radnih grupa Studijskog komiteta br. 21 »Kabela« i na taj način dobiti uvid u današnje probleme kabelske tehnike visokog i ultravisokog napona koji su u kontinuiranoj obradi.

U ovom studijskom komitetu djeluju sljedeće radne grupe.

21.01. Istosmjerni kabeli

Dva su problema koji se razrađuju:

a) upotreba istosmjernih kabela izoliranih papirom,
b) izrada smjernica za razvojna ispitivanja visokonaponskih kabela sa sintetičkom izolacijom.

Tu je uključeno ispitivanje utjecaja trajnog opterećenja na razdiobu električnog polja u izolaciji i ispitivanje sintetičnih podvodnih kabela.

21.02. Prijenosne mogućnosti (strujno opterećenje)

Grupa se bavi ugrijavanjem kabela u različitim pogonskim uvjetima i različitom načinu ugradnje (metode računanja pomoću računala, proračun toplinskog otpora zemljišta nejednake toplinske vodljivosti, promjene vlažnosti tla).

21.05. Antikorodivni zaštitni plašt

Grupa treba izraditi preporuke za ispitivanja u vezi sa zaštitom od korozije plašta kabela. Posebno je zanimanje za metalni ekran od aluminijske žice i aluminijske folije za lijepljene na vanjski dio kabela.

21.06. Podmorski kabeli

Rad je koncentriran na izradu referata o mehaničkim kvarovima podmorskih kabela i metodama njihovog sprečavanja. Rad će se osnivati na anketi o kvarovima na postojećim kabelskim vezama.

21.07. Kabelski pribor (spojnice)

Proučava se pouzdanost spojnica s obzirom na kvalitetu izolacije i električna naprezanja, uzimajući u obzir uređaje za ograničenje napona.

21.08. Problem prisilnog hlađenja

Zadatak je ove grupe da proučava povećanje dopunskog opterećenja klasičnih kabela primjenom forsiranog hlađenja.

21.09. Kabeli visokog napona sa sintetičnom izolacijom

Grupa je bila osnovana da utvrdi metode ispitivanja za klasifikaciju i preuzimanje kabela s ekstrudiranom sintetskom izolacijom. Sada se pak grupa bavi problemima termomehaničkog ponašanja kabela, pouzdanosti, ispitivanjem kvalitete spojnog pribora i iskustvima o upotrebi takvih kabela u svijetu.

21.10. Statistika kvarova

Na temelju provedene ankete u više zemalja, za ukupno 4 500 km kabela, od čega 60 % izoliranih papirom, sređuje podatke o pogonskim iskustvima.

21.11. Grananje (water treeing) uzrokovano vodom

Povećavaju se metode otkrivanja i lokacije grananja i nastoji predložiti ispitivanja kojima bi se odredilo ponašanje kabela izoliranog sintetičnom izolacijom u vodi.

21.12. Kabeli izolirani komprimiranim plinovima

Grupa studira koncepcije, izvedbe i ponašanje u pogonu takvih kabela velike prijenosne moći. U 1983. godini bilo je u svijetu već 53 kabela sa SF_6 izolacijom ukupne dužine 13 km.

21.13. Grupa za tehniku prijenosa u budućnosti

Ova se grupa bavi istraživanjima tehnike prijenosa električnim izoliranim sistemima u sljedećim desetljećima. Sada radi na izradi posebnog sintetiziranog dokumenta o svojoj problematici.

DEVELOPMENT AND CONDITION OF HIGH VOLTAGE TECHNIC TO DAY IN THE WORLD

Condition of high voltage technic and to day problems is presented in papers from CIGRE Paris and from work of study commitee. In the article is given review of papers from group highvoltage cables from meetings 1982 and 1984 as well as review of works of other groups dealing with cables.

ENTWICKLUNG UND LAGE DER KABELTECHNIK HOCHSPANNUNG BEI UNS UND IM AUSLAND

Mit der Lage der Hochspannungs — Kabeltechnik und ihrer heutigen Problematik kann man sich am besten aus den letzten Referaten der Sitzungen CIGRA in Paris sowie der Arbeit des betreffenden Studienausschusses vertraut machen. Im Artikel wird eine Übersicht des Inhaltes der Arbeitsgruppe — Hochspannungs Kabel auf den Sitzungen 1982 und 1984 sowie eine Übersicht der Tätigkeit der Arbeitsgruppen die sich mit Kabeln befassen, gegeben.

РАЗВИТИЕ И НЫНЕШНЕЕ СОСТОЯНИЕ МИРОВОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

С состоянием высоковольтной кабельной техники. нее нынешней проблематикой лучше всего можно ознакомиться из докладов, представленных на заседании ЦИГРЭ в Париже и по работам соответствующего научно-исследовательского комитета. В статье дан обзор содержания докладов группы »Высоковольтные кабели по заседаниям 1982 и 1984 гг., а также обзор работ ряда групп, занимающихся кабелями.

Naslov pisca:

Boris Markovčić, dipl. ing.
41000 Zagreb

Uredništvo primilo rukopis
1984 – 09 – 28.

REVERZIBILNA HE OBROVAC U POGONU

Sredinom svibnja 1984. godine u reverzibilnoj HE »Obrovac« pušten je u pogon jedan od dva agregata, a drugi krajem ove godine. RHE »Obrovac«, instalirane snage 310 MW, građena je na području dviju općina — Obrovac i Gračac. Izgradnja je započela u travnju 1978. godine. RHE »Obrovac« na rijeci Zrmanji uglavnom će se koristiti hidroenergetskim potencijalom ponornica Otuča, Ričica i Opsenica na području općine Gračac. Ponori tih triju rijeka danas su zatvoreni. Umjesto njih sagrađena su dva umjetna jezera Štikada i Opsenica, kapaciteta oko 17 milijuna m³ vode.

Voda iz akumulacijskih jezera prolazi 8 152 metra dugačkim tunelom ispod Velebita, zatim tlačnim čeličnim cjevovodom dužine 2,2 km, širine 3,3 m s nadmorske visine 550 m. Voda teče do turbina u količini od 60 m³/sek.

Tehničke karakteristike

Prva reverzibilna HE »Obrovac« u Hrvatskoj ima ove karakteristike:

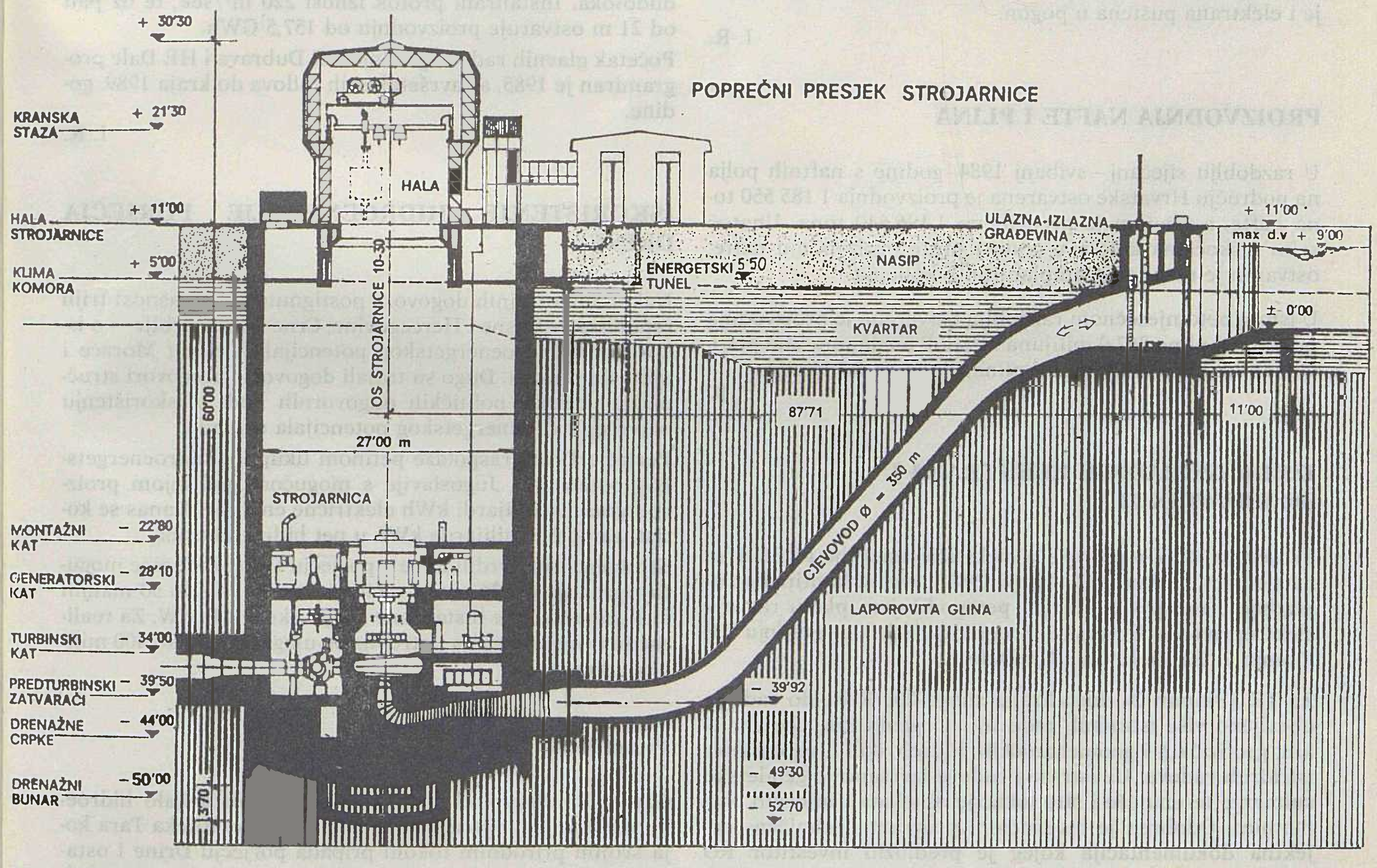
— ukupna korištena površina sliva	306,2 km²
— ukupni srednji godišnji dotok	11,9 m³/sek
— instalirana protoka u turbinskom radu 2 × 30 m³/s.	60,0 m³/sek
— instalirana snaga generatora 2 × 155 MVA	276,0 MW
— bruto – pad	548 m
— prijenosni napon	380 kV
— prosječna godišnja proizvodnja od prirodnog dotoka	430 GWh
— prosječna godišnja dodatna proizvedena energija reverzibilnog rada	225 GWh
— utrošak el. energije za crpni pogon (oko 1 300 sati/g. po grupi)	310 GWh.

RHE »Obrovac« je reverzibilno postrojenje koje se koristi vodom područja Gračaca kroz Velebit, na padu prema Zrmanji. U slučaju manjih voda na gornjem platou omogućava se crpljenje vode iz donjeg bazena na Zrmanji u gornji bazen na platou Gračac.

Za rad crpki troši se noćna struja ili struja iz doba dana kada je najjeftinija.

Gradnja objekata i montaža opreme

Strojarnica RHE »Obrovac locirana je u selu Muškovcima kod Obrovca i ukopana je 68 metara pod zemlju. Promjer strojarske hale je 27,0 m. Gradnja podzemne strojarnice bio je složen posao jer je teren vrlo težak.



Strojarnica ukopana u podzemlje. Desno je cjevovod kojim upotrebljena voda odlazi u donji bazen, a za vrijeme reverzibilnog rada elektromotori tim putem uzimaju vodu i prebacuju je u gomji bazen na visini od 553 m

U strojarnici su montirane dvije turbine: jednu je izradila austrijska tvrtka »VOIT«, a drugu tvornica »Litostroj«. Od generatora snage 155 MVA jedan je proizvod švicarske tvrtke »Escher Wyss«, a drugi je isporučila RO »Rade Končar«.

Umjetna jezera Štikada i Opsenica, kao i sistem hvatanja vode izveli su radnici građevnog poduzeća »25. maj« iz Splita. Podlogu za tlačni cjevovod montažne poslove izvele su stručne ekipe Hidroelektre, a izrada tlačnog cjevovoda i kompletna montaža povjerena je poduzeću »Metalna« Maribor.

U novoizgrađenu hidroelektranu ugrađeno je 85 posto domaće opreme. Glavni isporučioci opreme su: RO »Rade Končar« Zagreb, »Litostroj« iz Ljubljane, »Metalna« iz Maribora, Brodograđevna industrija Split i druga poduzeća strojogradnje i elektroindustrije.

U izvedbi građevnih radova na pojedinim objektima sudjelovali su »Industrogradnja«, »Hidroelektra«, »Geotehnika« (svi iz Zagreba), poduzeće »25. maj« iz Splita i dr.

Građevna operativa izgradila je ukupno oko sedamdeset raznih objekata.

Prema proračunima investitora za izgradnju RHE »Obrovac« utrošeno je oko 10 milijardi dinara. Od ukupnih ulaganja oko 3,5 milijarde otpada na opremu nabavljenu uglavnom od domaćih proizvođača. Za kupnju uvozne opreme utrošeno je oko 15 posto od ukupnog ulaganja utrošenu za opremu.

RHE »Obrovac« priključena je na 380 kV vod Konjsko – Miline po sistemu »ulaz – izlaz« dužine 2 × 6 km. Ovaj vod je napravljen na vrijeme tako da je istovremeno uključen kad je i elektrana puštena u pogon.

I. R.

PROIZVODNJA NAFTE I PLINA

U razdoblju siječanj – svibanj 1984. godine s naftnih polja na području Hrvatske ostvarena je proizvodnja 1 185 550 tona nafte, a planom je predviđeno 1 196 640 tona. Unatoč svim teškoćama koje ove godine prate proizvodnju nafte, ostvaren je rezultat blizu planiranih količina.

U istom petomjesečnom razdoblju ostvarena je proizvodnja prirodnog plina 867,0 milijuna m³, dok je planom bilo predviđeno oko 873 milijuna m³ plina, što je za 0,7 manje.

I. R.

IZBOR IZGRADNJE ELEKTRANA U SR HRVATSKOJ

Skupština RSIZ-a potrošača električne energije i ZEOH su na sjednici održanoj 12. srpnja 1984. utvrdili kontinuitet izgradnje elektrana u idućem petogodišnjem planu razvoja elektroprivrede Hrvatske. Program obuhvaća gradnju TE Plomin 2, HE Dubrava i HE Đale.

Za TE »Plomin 2«, instalirane snage 200 MW, do sada je obavljeno više istražnih radova, i to geoloških, geotehničkih, geofizičkih i geomehaničkih, hidroloških i, ekoloških i istražnih radova. Uz istražne radove izvršeno je geodetsko snimanje terena uže i šire lokacije objekata i internih prometnica. Odobren je investicioni program i tehnička projektna dokumentacija kojeg je predložio investitor RO »Elektroprivreda« Rijeka. Dogovoreno je da se u izgradnju uključi domaća elektroindustrija i strojogradnja. Već je prihvaćen izbor predloženih domaćih ponuđača opreme.

Pripremni radovi počet će u listopadu ove godine, a glavni radovi u 1985. godini.

Hidroelektrane na Dravi i Cetini

HE Dubrava, snage 77 MW, bila je treća dravska hidroelektrana na području SR Hrvatske. HE Dubrava, s mogućom godišnjom prosječnom proizvodnjom oko 405 milijuna kWh, predstavlja višenamjensko postrojenje, a koristit će se vodnom snagom Drave nizvodno od HE Čakovec. Uz proizvodnju električne energije direktnu korist imat će vodoprivreda (zaštita od poplava i erozije, poboljšanje odvodnjavanja), utjecat će na unapređenje poljoprivrede, šumarstva, i stvoriti dobre mogućnosti za razvoj lova (sitna divljač) i ribarstva.

HE Dubrava sa svojom proizvodnjom električne energije povećava stabilnost elektroenergetskog sustava Hrvatske.

HE Đale, snage 38 MW, godišnjom proizvodnjom 157,5 milijuna kWh predstavlja još jednu stepenicu energetskog iskorištenja voda rijeke Cetine.

Veliki padovi, široka slivna područja, kao i velika količina vode svrstavaju rijeku Cetinu u vodotoke vrlo interesantne za energetsko korištenje. Zato su do sada već izgrađene dvije velike akumulacije (Peruća i Buško blato), kao i hidroelektrane (Kraljevac, Peruća, Orlovac i Zakučac 1 i 2), čime je porječje Cetine izregulirano.

HE Đale je pribranska elektrana, sama strojarnica je smještena u betonskoj brani, koja s prirodnim kanjonom Cetine formira bazen zapremine 3,70 milijuna m³ vode. Koristi vode koje dolaze iz akumulacije Peruća i Buško blato, te međudotoka. Instalirani protok iznosi 220 m³/sek, te uz pad od 21 m ostvaruje proizvodnju od 157,5 GWh.

Početak glavnih radova gradnje HE Dubrava i HE Đale programiran je 1985, a završetak svih radova do kraja 1989. godine.

I. R.

ISKORIŠTENJE HIDROENERGIJE PORJEČJA DRINE

Nakon dugotrajnih dogovora postignuta je suglasnost triju republika — Bosne i Hercegovine, Crne Gore i Srbije — o iskorištenju hidroenergetskog potencijala Drine i Morače i njihovih pritoka. Dugo su trajali dogovori i pregovori stručnjaka i drugih političkih odgovornih ljudi o iskorištenju najvećeg hidroenergetskog potencijala u zemlji.

Porječje Drine raspolaže petinom ukupnog hidroenergetskog potencijala Jugoslavije s mogućom godišnjom proizvodnjom 13 milijardi kWh električne energije. Danas se koristi samo 3,5 milijarde kWh u pet hidroelektrana.

Stručnjaci su utvrdili da je u porječju Drine i Morače moguća izgradnja još 26 novih većih elektrana i 40 do 50 manjih elektrana ukupne instalirane snage oko 3 000 MW. Za realizaciju ovog programa potrebna su ulaganja od oko 400 milijardi dinara.

Pitanje oko Tare

Glavna smetnja kod dogovaranja je predstavljalo hidroenergetskog iskorištenja vode porječja Tare. Rijeka Tara koja svojim prirodnim tokom pripada porječju Drine i ostalim njezinim pritocima dragocjeni je energetski potencijal. U Crnoj Gori, koja je bez Tare siromašna hidroizvorima, predlagano je rješenje da se prirodni tok Tare izmijeni tako

da se ona prevede u Moraču, što bi Crnoj Gori osiguralo dovoljan potencijal za podmirenje njezinih energetskih potreba. Promjena toka Tare osiromašila bi, međutim, potencijal Drine kojim ona sada raspolaže. Protiv takvog rješenja bili su Srbija i Bosna i Hercegovina.

Prema postignutom dogovoru ostavlja se Tari njezin prirodni tok. Na njoj će, 14 kilometra uzvodno, od mjesta gdje se sastaju Piva i Tara, biti izgrađena hidroelektrana »Bijeli brijeg«. Podizanjem te hidroelektrane Crnoj Gori se osigurava električna energija i po količini i po kvaliteti jednaka onoj koju gubi neprovođenjem Tare u Moraču.

U financiranju izgradnje HE »Bijeli brijeg«, koja će proizvoditi oko 800 milijuna kWh godišnje, sa 50% nepovratnih sredstava sudjelovat će u jednakim dijelovima elektroprivreda Bosne i Hercegovine i Srbije. Cjelokupna proizvodnja buduće elektrane ići će u energetski sustav Crne Gore.

Postignuti društveni dogovor o tome ogromnom prirodnom bogatstvu bit će uskoro usvojen u nadležnim republičkim skupštinama.

I. R.

REKONSTRUKCIJA HIDROELEKTRANE MANOJLOVAC

Hidroelektrana »Manojlovac« na rijeci Krki izgrađena je za opskrbu električnom energijom tvornice karbida u Šibeniku, vlasništvo talijanske tvrtke »SUFID«. Gradnja je počela 1902., a u pogon je stavljena 1907. godine s četiri agregata — 4 × 4,8 MW. Pri izgradnji elektrane nisu iskorištene sve prirodne mogućnosti na toj stepenici Krke. Uočeno je da je HE »Manojlovac« nisko instalirano postrojenje s obzirom na prirodne protoke Krke u profilu zahvata, a nije iskorišten i sav raspoloživi pad, jer je od raspoloživih 136 metra iskorišteno svega 105 metara.

Tijekom dugogodišnjeg rada vršene su razne dogradnje i rekonstrukcije na objektima i pojedinim uređajima.

Opsežna rekonstrukcija izvedena je u razdoblju 1952 – 1956. godine kada su ugrađena 3 nova agregata, instalirane snage 3 × 6,4 MW s tlačnim cjevovodom, a četvrti agregat s pripadnim tlačnim cjevovodom je popravljen i rekonstruiran. Tada je elektrana dobila novo rasklopno postrojenje i komandne uređaje, a zamijenjen je i veći dio ostale opreme. Nakon ovih zahvata utvrđeno je da HE Manojlovac kroz 27 godina rada ostvaruje vrlo visoku pogonsku spremnost. Prosječna godišnja proizvodnja je oko 128 GWh električne energije.

Program proširenja

Na osnovi temeljitih ispitivanja utvrđeno je da postoje povoljni hidroenergetski uvjeti proširenja proizvodnih kapaciteta HE Manojlovac.

Ispitivanja današnjeg pogonskog stanja HE Manojlovac izvršili su stručnjaci Instituta »Milan Vidmar« i Instituta za turbostrojeve iz Ljubljane s rezultatom da postoje realna i prihvatljiva rješenja za produženje vijeka eksploatacije ove hidroelektrane najmanje 15 do 20 godina. Potrebno je rekonstruirati hidromehaničku i elektrostrojarsku opremu i izvesti neke građevinske zahvate.

Za ostvarenje ovog programa potrebno je uložiti 93 milijuna dinara, računajući na osnovi cijena iz 1983. godine. Najveći dio investicija, oko 53,7 milijuna, odnosi se na elektrostrojarsku opremu i građevinske radove oko 28 milijuna dinara.

Investicijski plan

Prema odluci Republičke samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije i Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske investicijski program HE »Manojlovac« napravljen je u RO »Elektroprivreda Dalmacije« — OOUR Hidroelektrane na Krki i Zrmanji u Kninu.

Prema samoupravnom sporazumu o uređenju međusobnih odnosa RSIZ-a potrošača električne energije i ZEOH-a, imenovana je Komisija za pregled i ocjenu izrađenog i predloženog investicionog programa rekonstrukcije HE Manojlovac. U sastavu komisije su predstavnici investitora, elektroprivrede, Instituta za elektroprivredu, projektnih organizacija, proizvođača opreme i drugih zainteresiranih organizacija.

Zadatak komisije da izvrši stručnu reviziju predloženog programa, time da utvrdi sljedeće:

— sadržaj i stupanj obrađenosti dokumentacije za investicije, opseg potrebnih radova rekonstrukcije,
— realnost vremenskog plana izvedbenih radova i
— realnost planiranih financijskih ulaganja.

I. R.

NOVE TERMOELEKTRANE U POGONU

Sredinom 1984. godine puštena su u probni rad dva važna proizvodna objekta: TE »Bitola 2« i TE »Kosovo B«. U termoelektrani »Bitola 2« uključen je u probni rad drugi blok, instalirane snage 210 MW, maksimalne godišnje proizvodnje od 1 200 milijuna kWh. Prema elektroenergetskoj bilanci u TE »Bitola 2« drugi blok je postavljen nekoliko mjeseci prije planiranog roka. Završetku prije roka pridonijeli su izvođači radova, investitor REK »Bitola« i stručne službe Elektrostopanstva — Makedonije.

U srpnju 1984. godine u TE »Kosovo B« uključen je u rad i drugi turboagregat, snage 339 MW. Puštanjem u pogon i tog agregata završena je kompletna izgradnja TE »Kosovo B«.

U isporuci opreme sudjelovali su domaći i inozemni proizvođači elektroopreme. Građevne radove i montažu izvela su domaća poduzeća. Nova elektrana uključena je u jedinstveni elektroenergetski sustav preko 400 kV mreže.

I. R.

GENERATORSKI TRANSFORMATOR 725.000 kVA

Nedavno su radnici tvornice »Rade Končar« — OOUR-a »Veliki transformatori« završili proizvodnju i ispitivanje generatorskog transformatora, snage 725 000 kVA i napona 420 kV namijenjen TE »Nikola Tesla« u Obrenovcu. Ovaj uređaj najveća je i najsnažnija transformatorska jedinica dosad proizvedena u našoj zemlji.

Ovaj divovski transformator plod je dugogodišnjeg samostalnog razvoja u Zavodu za transformatore Elektrotehničkog instituta »Rade Končar« i OOUR-a »Veliki transformatori«. Bogato iskustvo u proizvodnji transformatora zasniva se na ugradnji većeg broja takvih uređaja snage 400 kV u našim elektranama, kao HE Đerdap, TE Šoštanj, TE Bitola 1 i 2, TE »Nikola Tesla« Obrenovac, NE Krško i dr., te za prijenosnu mrežu »Nikola Tesla«.

I. R.

STANDARDI ZA SUNČEVE KOLEKTORE

Jugoslavensko udruženje za Sunčevu energiju — JUSE — i Zavod za standardizaciju pokrenuli su inicijativu za donošenje jedinstvenih standarda koji bi se primjenjivali u gradnji i postavljanju solarnih kolektora.

Posljednjih godina u našim, naročito u primorskim krajevima prošireno je korištenje sunčane energije, i to najviše za potrebe turizma, zdravstvenih ustanova, poljopriuvrede i dr. S obzirom na taj razvoj u našoj zemlji izradom sunčanih kolektora i prateće opreme trenutno se bavi više od 20 proizvođača. Većina se koristi stranim licencama. Među njima nema ni prave specijalizacije ni zajedničkog nastupa u plasmanu proizvoda, pa su mnogi u teškoćama. U zemlji je dosad postavljeno oko 70 tisuća četvornih metara solarnih kolektora.

Cijene domaćih kolektora su visoke i udruženje JUSE izradilo je prijedlog povezivanja proizvođača, uvođenjem standarda, specijalizacija proizvodnje i sl.

I. R.

ŠESTO SAVJETOVANJE ENERGETIČARA JUGOSLAVIJE

U organizaciji Saveza energetičara Jugoslavije i Saveza pronalazača i tehničkih unapređenja Jugoslavije u suradnji sa Saveznim komitetom za energetiku, industriju i zanatstvo održano je u Opatiji od 31. svibnja do 2. lipnja 1984. šesto Savjetovanje energetičara Jugoslavije. Ovom naučnom skupu prisustvovalo je više od 500 sudionika iz zemlje i inozemstva.

Ovo savjetovanje o energiji koje treba da odgovori na neka bitna pitanja vezana za smjernice dugoročnog razvoja energetike u zemlji, održano je u četiri tematska područja:

— Aktualna pitanja dugoročnog razvoja energetike SFRJ,
— Novi i obnovljeni oblici energije,
— Racionalizacija potrošnje i proizvodnje energije i
— Energija i zaštita čovjekove okoline.

Prvu temu je detaljno obradio profesor dr Hrvoje Požar i upozorio je na sporost dogovaranja i poduzimanja akcija kad je riječ o energetskoj preorijentaciji.

O svim temama vođene su stručne diskusije u kojima su sudjelovali stručnjaci iz područja energetike, elektroprivrede, naučnih zavoda, projektnih i drugih organizacija.

Na Savjetovanju o energiji ukupno je podneseno 52 referata i 13 saopćenja, od kojih pet iz inozemstva, čime je ova manifestacija dobila međunarodni karakter. Najveći broj referata proizlazio je iz realnih iskustava i ostvarenih rezultata u praksi.

Na temelju iznešenih referata i diskusije donešeni su odgovarajući zaključci o problemima energije u našoj zemlji.

I. R.

ELEKTROENERGETSKA BILANCA JUGOSLAVIJE ZA 1985.

Na Skupštini Zajednice jugoslavenske elektroprivrede održane 27. i 28. lipnja 1984. usvojena je verzija Elektroenergetske bilance Jugoslavije za 1985. godinu.

Najveći dio električne energije, 40 milijardi kWh, planirano je da prioizvedu termoelektrane na ugljen. Predviđa se da bi hidroelektrane trebale proizvesti 26 milijardi kWh. Prema bilanci nuklearna elektrana »Krško« ostvarit će proizvodnju od 4 milijarde kWh.

Nadalje termoelektrane koje koriste tekuće gorivo proizvest će oko 3 milijarde kWh.

Da bi se ostvarila planirana proizvodnja u 1985. godini, trebat će osigurati 57,5 milijuna tona ugljena i 950 tisuća tona mazuta.

Prema ranijim sagledavanjima potrošnja će se podmiriti predviđenom proizvodnjom. Na području elektroprivrede Slovenije i Kosova ostvarit će se višak električne energije od 2,3 milijarde kWh. Isti toliki manjak iskazat će elektroprivreda Bosne i Hercegovine, Crne Gore, te Srbije i Vojvodine.

I. R.

ULAGANJA U STUDIJSKO-ISTRAŽIVAČKI RAD

Razrađen je Plan studijsko-istražnih radova za objekte proizvodnje i prijenosa za 1984. godinu koji će realizirati elektroprivreda Hrvatske. U plan su uključeni izvršeni prethodni radovi ranijih godina. Programirana su istraživanja ugljena i urana u republici, izrada studija od općeg značaja i zajedničkog interesa, te studije i istražni radovi za objekte proizvodnje.

Za realizaciju predloženog programa elektroprivreda Hrvatske uložit će potrebna sredstva u visini 662 milijuna dinara.

Istraživanja ugljena već se vrše u suradnji elektroprivrede i rudarskih organizacija. Proširuje se istraživanje urana na području »Elektroslavonije« Osijek, područje istočnog Papuka na lokaciji Ninkovača, Veliki Sankovac, Remetska rijeka i dr.

Nastavit će se i rad na dobivanju urana iz pepela i ugljena Raše. Predviđa se provjera tehnologije na poluindustrijskom postrojenju za utvrđivanje urana koje bi se gradilo kod TE Plomin I.

Za istraživanje urana u organizaciji »Elektroslavonije« Osijek i »Elektroprivrede« Rijeka planirana su ulaganja od oko 110 milijuna dinara.

Za studije, istražne i prethodne radove za objekte proizvodnje predviđena su ulaganja oko 458 milijuna dinara.

Započeti radovi ove godine nastavit će se i u idućem planskom razdoblju.

I. R.

ELEKTROPRENOS — ULAGANJA U OBJEKTE

Na sjednicama Skupštine RSIZ-a potrošača električne energije i Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske od 31. svibnja usvojen je plan izgradnje prijenosne mreže. Na području OOUR-a »Elektroprenos« Zagreb usvojeni plan obuhvatio je samo objekte čija je izgradnja u toku i njihova novelacija. Plan nije obuhvatio gradnju nijednog novog objekta prijenosne mreže.

»Elektroprenos« u planu izgradnje za 1984. i 1985. godinu programira dovršenje 21 objekata. Potrebna su ukupna ulaganja u iznosu 646 milijuna dinara, uključivo 125,7 milijuna za zamjene i rekonstrukcije i 45,6 milijuna dinara za izradu studija i istraživanja.

Najveći dio objekata je već u probnom radu i predviđeno je da budu potpuno završeni u razdoblju 1984-1985. godine. Spomenimo objekte koji još nisu ušli u rad:

Rasplet 220 kV za TS Međurić, DV 110 kV Međurić — Nova Gradiška, TS Straža, TS Karlovac 2, TS Zagreb — Jug 2 (Botinec), proširenje TS 110/30 kV Resnik, zatim DV 2 × 110 kV Resnik — Zagreb sjever i DV 110 kV Vojnić — Slunj.

I. R.

NOVE KNJIGE

J. Šimović: **Elektroprivreda i privredni razvoj**
Izdavač: Informator — Zagreb, 1984.
Opseg 200 strana, format 17 × 23 cm, broširano

Ova najnovija knjiga iz oblasti ekonomije posvećena je razvoju i općoj problematici elektroprivrede. Prvenstveno je pisana s društveno-ekonomskog gledišta, ali uzimajući u obzir i neophodne tehničko-tehnološke aspekte. Takvom koncepcijom ispunjava prazninu u našoj stručnoj literaturi koja se bavi elektroprivredom. Ovaj rad čini vezu između ekonomskih i tehničkih pitanja i problema elektroprivrede, pa time postaje interesantna i korisna, kako za ekonomiste, tako i za tehničare koji se bave ili zanimaju ovom privrednom granom. Prateći pregledno izložen razvoj i tehničke karakteristike proizvodnje i potrošnje električne energije ekonomisti će upoznati bitne specijalnosti elektroprivrede koji se toliko razlikuju od ostalih industrijskih grana. Tehničari će pak dobiti uvid u ekonomska pitanja i ulogu elektroenergetike u energetici i privredi zemlje.

Knjiga ima 6 poglavlja i zaključno razmatranje s opširnim popisom literature na kraju.

U prvom poglavlju su iznesene karakteristike električne energije kao robe, kao i specifičnosti elektroprivredne djelatnosti. Nakon ovog uvodnog dijela u drugom poglavlju se govori o utjecaju elektroprivrede na društveno-ekonomski razvoj, i izlažu ciljevi razvojne elektroprivredne politike. Treće je poglavlje posvećeno različitim oblicima energije, energetskim rezervama i ulozi elektroprivrede u razvoju energetike u svijetu i u Jugoslaviji.

U četvrtom poglavlju, gdje su obrađene temeljne karakteristike elektroprivrede Jugoslavije, obuhvaćene su po razdobljima karakteristike plana izbora i izgradnje elektroprivrednih objekata i karakteristike sistema financiranja.

Postavke sistema samoupravnog planiranja razvoja elektroprivrede razrađene su u petom poglavlju. Iznesena su temeljna obilježja planiranja u samoupravnom socijalističkom društvu i opće postavke o samoupravnom planiranju u razvoju elektroprivrede.

Šesto poglavlje je najopsežnije, a razmatra probleme financiranja. Pod naslovom »Postavke samoupravnog sistema financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi« iznesene su temeljne postavke takvog načina financiranja, izvori sredstava, instrumenti društvenog financiranja kao i problem kredita i kreditnih odnosa.

Kao što se vidi iz prikaza ovo se djelo može preporučiti stručnjacima u praksi kao i studentima ekonomije i tehnike.

B. M.

H. Allhorn — U. Birnbaum — W. Huber: **Kohleverwendung und Umwettschutz**
Springer Verlag, Berlin — Heidelberg — New York — — Tokyo, 1984. 215 stranica, 29 slika, broširano, format 17 × 23 cm, cijena 58 DM ili 22,50 USA $

Pokriće svjetskih energetskih potreba koje su u stalnom porastu, uz naftnu krizu, nije moguće ni zamisliti bez povećane potrošnje ugljena. S druge pak strane ovakav razvoj sve više prijeti zagađenju okoliša pa se nužno nalaže potreba njegove zaštite. Knjiga se bavi ekološkim problemom koji nastaje zbog izgaranja ugljenom, pa će biti vrijedna pomoć i savjetnik svima koji se općenito bave zaštitom čovjekove okoline, a posebno onima zaštitom od posljedica izgaranja ugljena.

Knjiga ima ukupno 6 poglavlja sa zaključkom i popisom literature.

U prvom se poglavlju općenito govori o problemima zagađenja okoliša i štetnim sastojinama koje emitiraju ložišta velikih potrošača ugljena (elektrane, industrija).

U slijedećem poglavlju obrađeno je dobivanje kamenog i mrkog ugljena, utjecaj na okoliš i mjere za smanjenje štetnih emisija.

U trećem su poglavlju obrađene koksare. Obrađena je tehnologija rada i emisija štetnih sastojaka i upozoreno na one kancerogene. Opisane su mjere za smanjenje štetnih emisija i mogućnost zaštite okoliša.

Na sličan je način u četvrtom poglavlju obrađeno briketiranje ugljena. Peto poglavlje vrlo je opširno, a bavi se posljedicama izgaranja različitih vrsta ugljena u termoelektranama i toplanama. Potanko su navedeni i opisani svi planski sastojci, prašina, kancerogene i radioaktivne materije kao i emisija topline.

Posljednje, šesto poglavlje opisuje različite postupke za oplemenjivanje ugljena kao Lurgi, Texaco, Shell, Saarberg-Otto itd. postupke i tehničke mogućnosti. Za energije.

Kao što se iz prikazanog sadržaja vidi knjiga je i za nas vrlo interesantna i aktuelna zbog naših tendencija da se što više okrenemo domaćim krutim gorivima.

B. M.

A. Schwab: **Ḥohspannungsmesstechnik**
drugo prerađeno i prošireno izdanje.
Izdavač: Springer — Verlag Berlin — Heidelberg — — New York. Izdanje 1981. sa 278 stranica, 256 slika, tvrdo ukoričeno.
Cijena 118 DM; 55.- US dolara

Ova je knjiga pisana na podlogama predavanja koja je autor održao na univerzitetu u Karlsruhe, kao profesor i rukovodilac Instituta za visoki napon. Već u predgovoru je istaknuto da je veliki dio knjige posvećen nesinusoidnim brzopromjenljivim visokim naponima i strujama, problemu koji nije samo interesantan u tehnici visokog napona, već također u fizici plazme i industrijskoj elektronici. Mjerenje takvih napona i struja naročito je teško zbog popratnih visokih naponskih smetnji. Nadalje treba spomenuti mjerenja faktora gubitaka pomoću mostova i strujnih komparatora kao i dielektrička mjerenja.

Knjiga ima 7 poglavlja s vrlo opširnim popisom svjetske literature.

U prvom se poglavlju govori o mjernoj tehnici pomoću osciloskopa za mjerenje brzopromjenljivih visokih napona i struja, a u drugoj o mjerenju udarnih napona pomoću naponskih djelitelja i osciloskopa. Tu su također obuhvaćeni omski djelitelji napona i kapacitivni djelitelji napona s koncentriranim i podijeljenim visokonaponskim kapacitetom. U trećem poglavlju obrađeno je mjerenje visokih istosmjernih napona i efektivnih vrijednosti visokih izmjeničnih napona. Obuhvaćena su mjerna kuglasta iskrišta i uređaji za mjerenje na generatorskom principu, kao i mjerenja elektrostatičkih naboja. U četvrtom poglavlju iznjete su metode mjerenja brzopromjenljivih struja pomoću osciloskopa, a u

petom nekonvencionalna mjerenja visokih napona i struja. Dielektričnim mjerenjima posvećeno je šesto poglavlje. Tu su opisani mostovi za mjerenje kapaciteta i faktora gubitaka. Detaljno su opisani elementi mostova, kondenzatori za uspoređivanje, zakriljenje, osjetljivost itd. U posljednjem sedmom poglavlju obrađena je tehnika mjerenja parcijalnih izbijanja.

Knjiga je namijenjena svima koji se bave mjerenjima na visokom naponu, kako stručnjacima u razvojnim institucijama tako i onima koji se bave takvim problemima u industriji. Prema prvom izdanju knjiga je nadopunjena i dovedena na nivo najnovijeg stanja visokonaponske mjerne tehnike.

B. M.

R. Laufen: **Kraftwerke**
Izdavač: Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo, Izdanje 1984. Sa 202 stranice, 160 slika, broširano,
Cijena 64 DM ili 25,10 US dolara.

Knjiga obrađuje klasične termoelektrane, nuklearne elektrane i hidroelektrane i daje njihov opis i djelovanje. Kako su ovdje obuhvaćene i ostale naučno tehničke discipline kao termodinamika, prikaz jezgri, gospodarstvo vodama, proizvodnja pare i električni strojevi knjiga daje inženjerima i svima onima koji se bave elektranama sažeti pregled njihove problematike.

Knjiga ima 6 poglavlja i dodatak sa pregledom literature.

U prvom je poglavlju izložen historijski razvoj elektroenergetike, a u drugom se govori o energetskim rezervama, potrošnji i proizvodnji električne energije. Treće je poglavlje posvećeno termoelektranama na fosilna goriva, a počinje sa termodinamikom pa obuhvaća različite vrste toplinskih procesa, proizvodnju pare, goriva, izgaranje i prijenos topline. Zatim su izloženi turboagregati i opisan rad termoelektrane u cjelini. Rad nuklearnih elektrana sadržan je u 4. poglavlju. Počinje s fizikom jezgre, zatim se prelazi na reaktore, a po tome i na opis kompletnih nuklearnih elektrana. Hidroelektrane su tretirane u 5. poglavlju. Poglavlje počinje s mehaničkom snagom vode i iskorištenjem vodnih snaga, pa se nastavlja prikazom mogućnosti izgradnje hidroelektrana, njihove vrste, a završava vodnim turbinama i hidrogeneratorima. U zadnjem, 6. poglavlju izložene su energetske rezerve i novi energetski izvori.

Odlika je ove knjige što u sažetom obliku daje potpun uvid u proizvodnju električne energije, pa se kao takva može preporučiti.

B. M.

H. Schilling: **Wärme und Energie**
Izdavač VEB Fachbuchverlag, Leipzig, Izdanje 1984. 327 stranica, sa 106 proračunanih primjera, 321 zadatka s rješenjima.
Tvrdo ukoričeno, format 16,5 × 23 cm, cijena 28 DM.

Ova knjiga o toplini i energiji nastavak je serije knjiga izašlih u biblioteci »Fizika u primjerima«, a bavi se termodinamikom reverzibilnih procesa. Osim teoretskih osnova opisani su važni fizikalni i fizikalno-tehnički procesi i modeli.

Ovo djelo ima 4 poglavlja sa popisom literature.

U prvom su poglavlju izloženi zakoni o pretvorbi energije (prvi, drugi princip termodinamike, entropija, entalpija itd.), statistički model energetskih stanja i stanja pri niskim temperaturama.

Drugo se poglavlje bavi plinovima, procesima u parnim strojevima i strojevima za hlađenje, te teorijom o ravnoteži stanja.

Treće je poglavlje posvećeno termodinamičkim ireverzibilnim procesima, a četvrto se bavi i prelazom topline.

Na kraju su dana rješenja zadataka i mnogo tabela, zatim fizikalne konstante i oznake važnih veličina.

Knjiga je namijenjena studentima, inženjerima, stručnim nastavnicima iz područja fizike, fizikalne kemije, toplinske tehnike i energetike. Ona može poslužiti kao vrlo dobar udžbenik, jer obiluje brojnim interesantnim i instruktivnim primjerima.

B. M.

STATISTIČKI PREGLED

ELEKTROPRIVREDE SR HRVATSKE U SKLOPU ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE

OSNOVNI PODACI

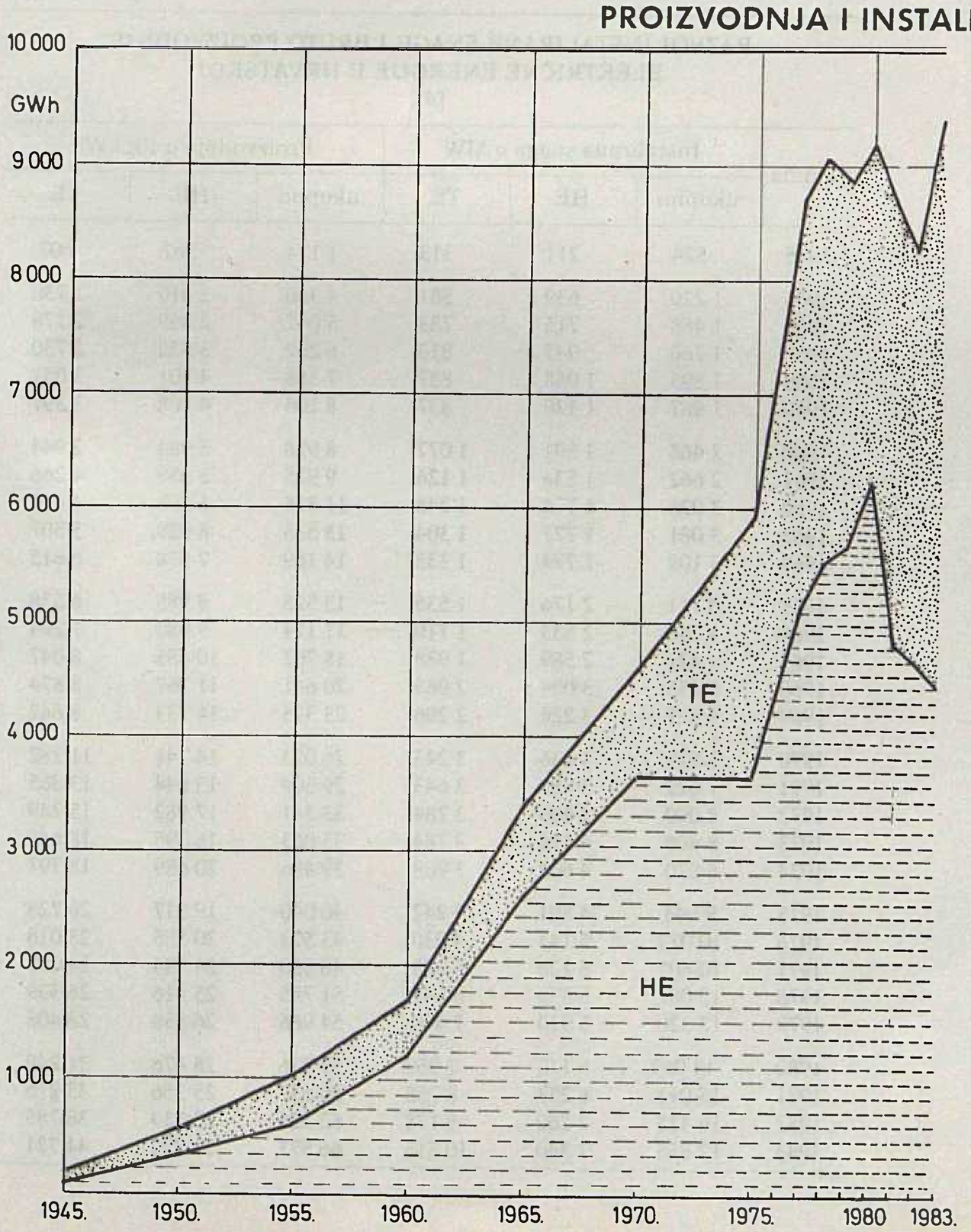
Tablica 1

OSNOVNI PODACI ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE
po stanju od 31. XII 1983. [2]

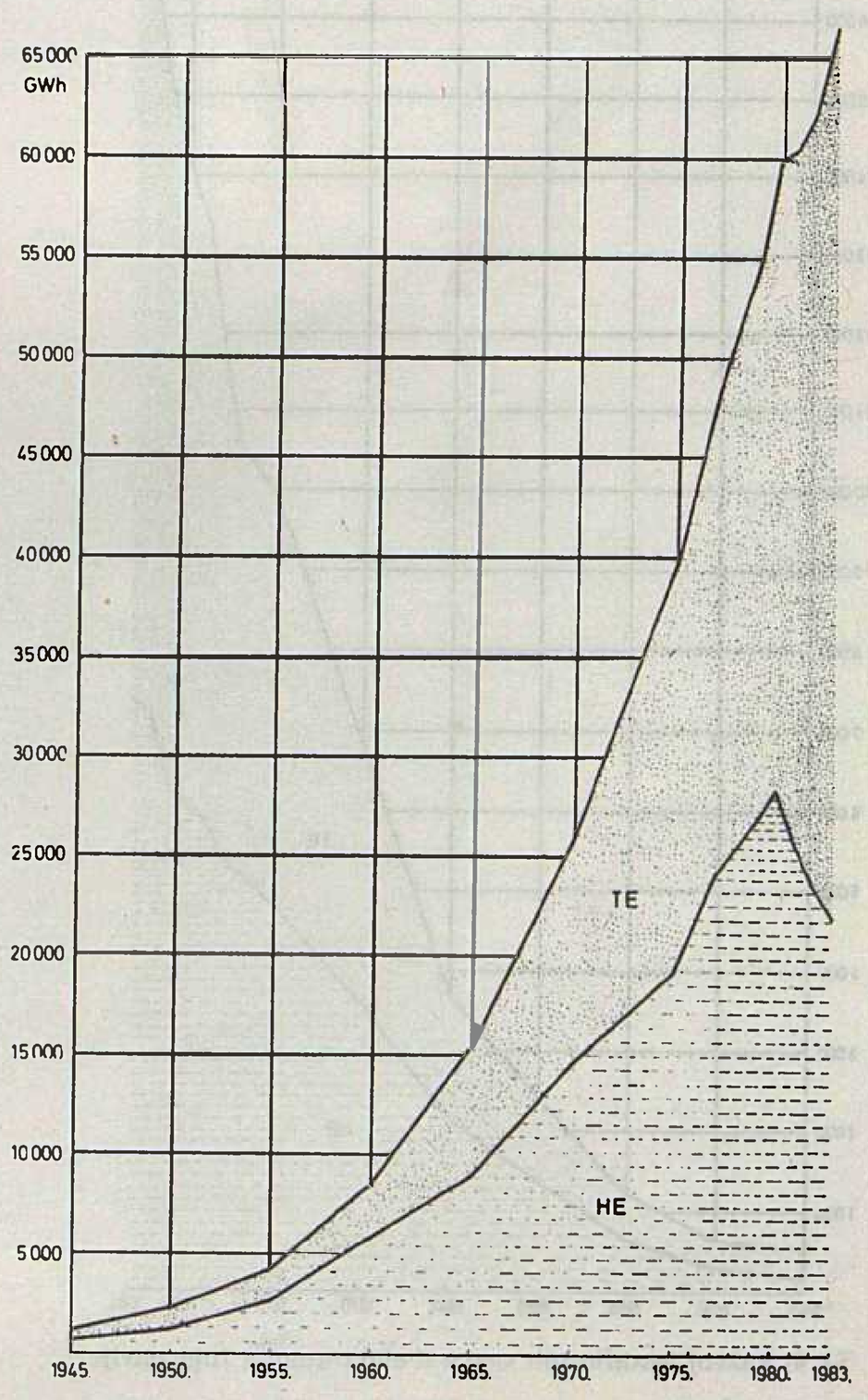
Naziv postrojenja		1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Hidroelektrane	broj	19	19	20	21	21	22	21	20	19	21	22
	snaga MW	1023,6	1024	1310	1200	1200	1302	1448	1558	1577	1665	1676
od toga Udružene	MW	1007,5	1007	1213	1185	1185	1284	1431	1542	1557	1645	1669
Termoelektrane	broj	40	41	41	41	41	43	35	39	32	33	33
	snaga MW	568,4	768	836	887	877	1177	1202	1299	1345	1677	1677
od toga Udružene	MW	491,4	691	800	771	720	720	1090	1093	1240	1572	1572
Ukupno elektrane	MW	1592,0	1792	2146	2087	2077	2479	2650	2641	2922	3342	3353
Transformatorske stanice:		—	—	—	—	—	1	2	2	2	4	4
380/110 kV	broj stanica	—	—	—	—	—	2	3	4	4	6	6
	broj transformatora	—	—	—	—	—	600	900	1200	1200	2000	2000
	snaga MVA											
220/110 kV	broj stanica	6	6	6	6	6	6	6	8	8	9	9
	broj transformatora	11	11	11	12	12	14	14	16	17	19	18
	snaga MVA	1600	1600	1600	1800	1450	2050	2350	2100	2250	2550	2550
110/35 kV	broj stanica	44	46	50	71	59	57	57	59	71	70	86
	broj transformatora	80	82	86	137	114	105	108	110	135	133	165
	snaga MVA	1980	2060	2140	3118	3018	3121	3217	3672	4119	4148	4638
35/10 kV	broj stanica	270	280	286	280	245	258	260	264	311	423	318
	broj transformatora	487	510	520	497	476	509	500	280	587	592	623
	snaga MVA	2010	2090	2130	2104	2172	2308	2400	2553	2943	3087	3146
Dalekovodi:												
380 kV	km	—	—	—	—	271	389	612	612	732	733	733
220 kV	km	1158	1158	1251	1065	1125	1005	996	1019	967	1020	1139
110 kV	km	2483	2533	2539	3384	3143	2560	3049	3152	3309	3347	3566
50 – 30 kV	km	3725	3799	3814	3682	3297	3451	4152	4023	4631	6582	8049
10 – 3 kV	km	19320	20010	20546	21050	18913	18383	21036	22758	25152	21647	23786
niski napon 0,4 kV	km	37340	37995	38415	43750	36403	38325	43072	43318	42011	44191	49380
Vršno opterećenje SRH	MW	1227	1271	1576	1595	1673	1744	1864	2003	1988	1985	2062

Mrežni transformatori u HE i TE uključeni su u transformatorskim stanicama 220/110 i 110/35 kV.

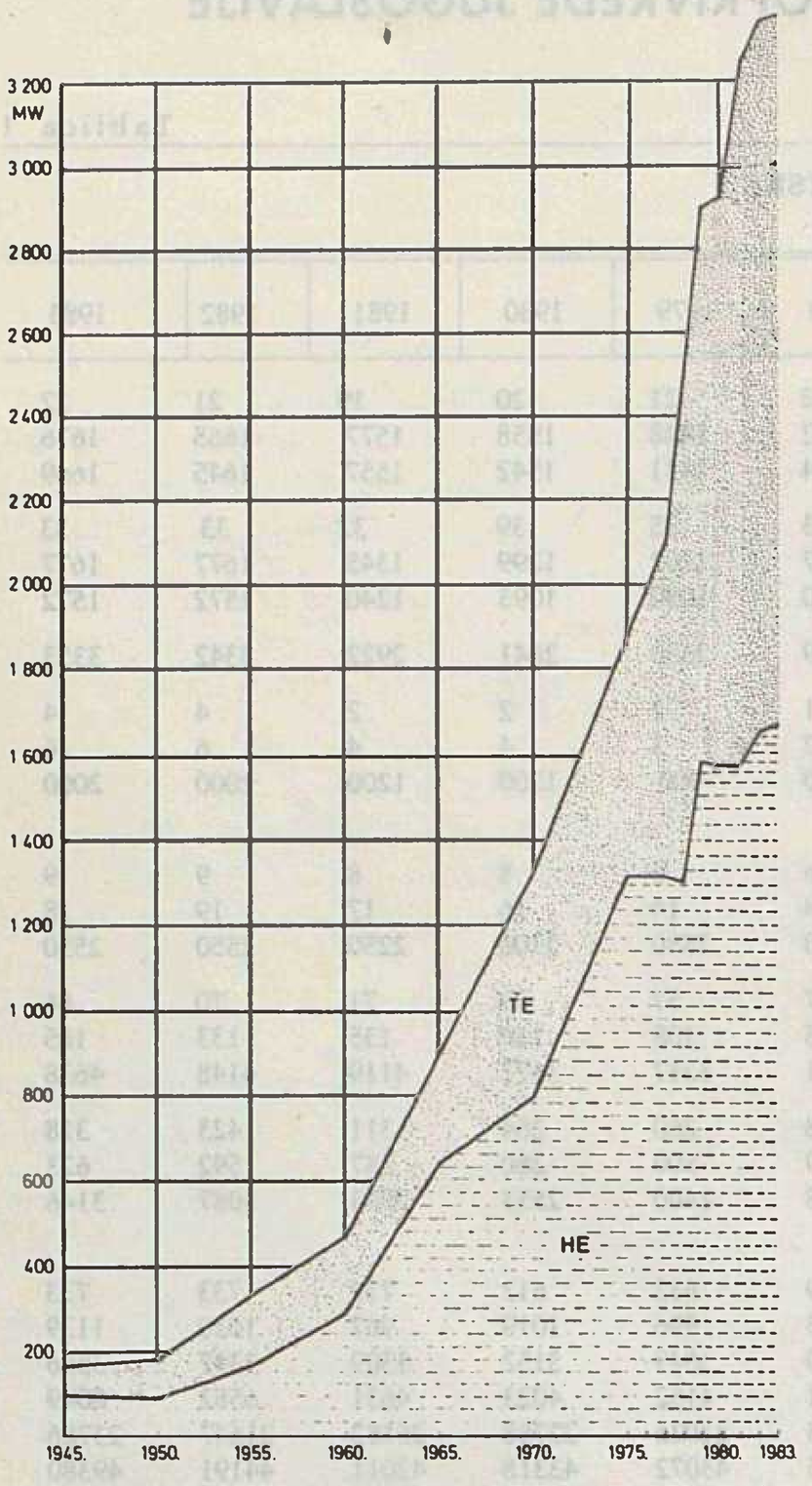
PROIZVODNJA I INSTALIRANE SNAGE



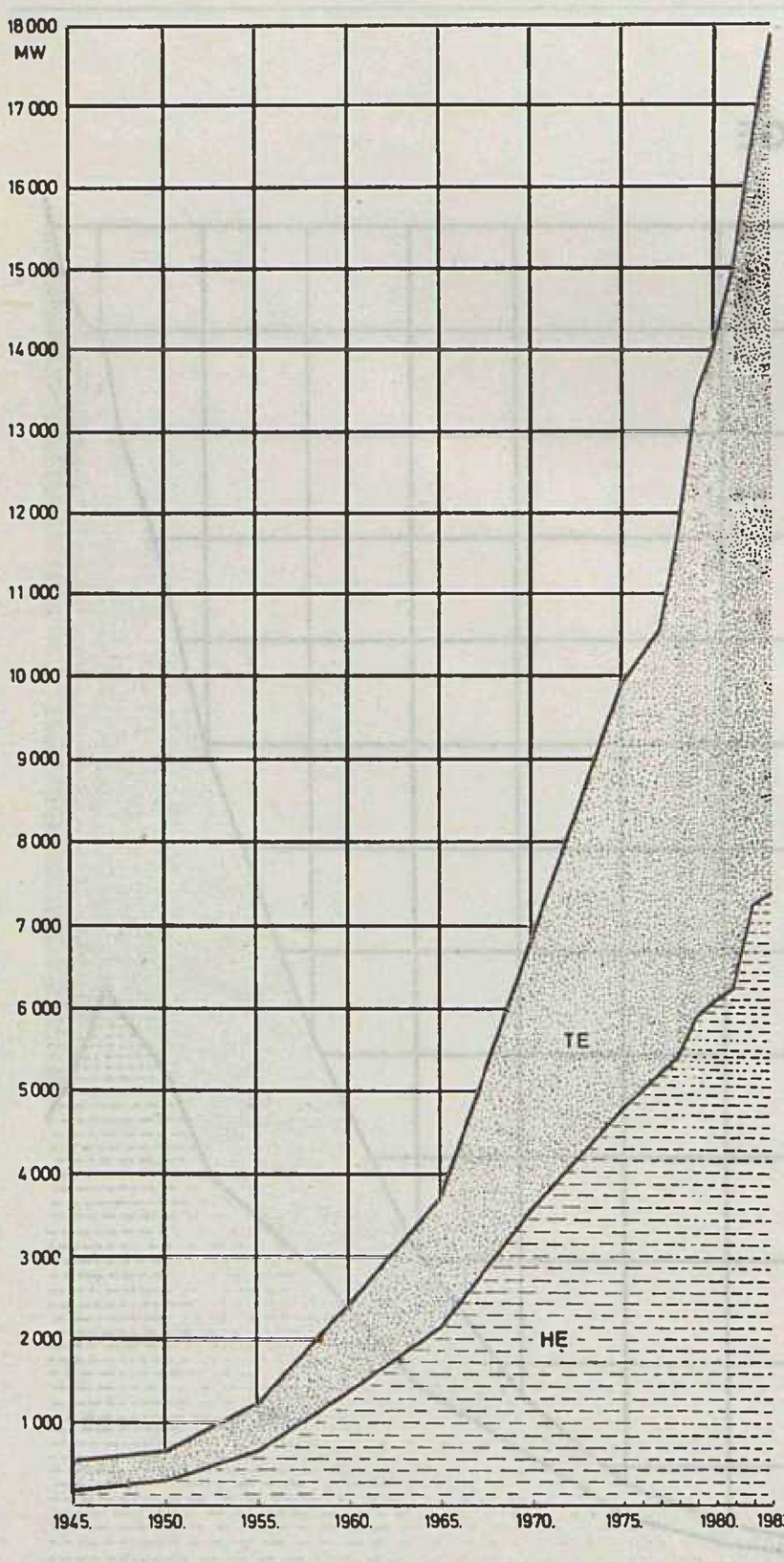
Sl. 1. Ukupna proizvodnja električne energije u Hrvatskoj



Sl. 2. Ukupna proizvodnja električne energije u Jugoslaviji



Sl. 3. Razvoj instaliranih snaga u elektranama Hrvatske



Sl. 4. Razvoj instaliranih snaga u elektranama Jugoslavije

Tablica 2

RAZVOJ INSTALIRANE SNAGE I BRUTO PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ
[4]

Godina	Instalirana snaga u MW			Proizvodnja u 10^6 kWh		
	ukupno	HE	TE	ukupno	HE	TE
1945	178	97	81	171	79	92
1955	327	179	148	1 021	587	434
1956	347	192	155	1 006	564	442
1957	365	196	169	1 074	638	436
1958	381	200	181	1 168	670	498
1959	429	248	181	1 396	851	545
1960	470	289	181	1 671	1 197	474
1961	576	397	179	1 555	1 103	452
1962	746	505	241	2 339	1 913	426
1963	746	505	241	3 000	2 224	776
1964	746	505	241	2 914	2 068	846
1965	895	649	241	3 391	2 609	782
1966	962	721	241	4 000	3 257	743
1967	999	739	260	3 963	3 184	779
1968	1 035	775	260	4 094	3 304	790
1969	1 035	775	260	4 528	3 980	548
1970	1 334	798	595	4 622	3 656	966
1971	1 393	798	595	4 957	3 222	1 725
1972	1 363	798	565	5 500	3 718	1 782
1973	1 577	1 012	565	5 334	2 640	2 694
1974	1 577	1 012	565	6 299	4 233	2 066
1975	1 878	1 313	505	5 939	3 641	2 298
1976	2 198	1 313	885	7 644	4 566	3 078
1977	2 198	1 313	885	8 738	5 159	3 579
1978	2 648	1 443	1 205	9 088	5 549	3 539
1979	2 913	1 587	1 326	8 874	5 375	3 499
1980	2 922	1 577	1 345	9 208	6 253	2 955
1981	3 254	1 577	1 677	8 739	4 731	4 008
1982	3 342	1 655	1 677	8 231	4 649	3 582
1983	3 353	1 676	1 677	9 410	4 401	5 009

Tablica 3

RAZVOJ INSTALIRANE SNAGE I BRUTO PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ
[4]

Godina	Instalirana snaga u MW			Proizvodnja u 10^6 kWh		
	ukupno	HE	TE	ukupno	HE	TE
1945	524	211	313	1 174	567	607
1955	1 220	639	581	4 340	2 610	1 730
1956	1 488	715	733	5 047	2 869	2 178
1957	1 760	947	813	6 252	3 522	2 730
1958	1 895	1 058	837	7 358	4 301	3 057
1959	1 967	1 130	837	8 105	4 708	3 397
1960	2 468	1 391	1 077	8 928	5 984	2 944
1961	2 662	1 536	1 126	9 925	5 659	4 266
1962	3 026	1 778	1 248	11 315	6 896	4 419
1963	3 081	1 777	1 304	13 536	8 029	5 507
1964	3 109	1 774	1 335	14 189	7 574	6 615
1965	3 711	2 176	1 535	15 523	8 985	6 538
1966	4 243	2 533	1 710	17 174	9 880	7 294
1967	4 427	2 589	1 938	18 702	10 655	8 047
1968	5 155	3 094	2 065	20 641	11 767	8 874
1969	5 522	3 226	2 296	23 375	14 733	8 642
1970	6 879	3 636	3 243	26 023	14 741	11 282
1971	7 623	3 980	3 643	29 509	15 644	13 865
1972	8 090	4 306	3 784	33 241	17 982	15 249
1973	8 408	4 624	3 784	35 063	16 395	18 668
1974	8 570	4 602	3 968	39 456	20 659	18 797
1975	9 043	4 801	4 242	40 040	19 317	20 723
1976	10 073	5 143	4 930	43 573	20 555	23 018
1977	10 601	5 226	5 375	48 580	24 384	24 197
1978	12 081	5 539	6 542	51 755	25 416	26 339
1979	13 320	5 910	7 410	54 966	26 558	28 408
1980	14 069	6 110	7 959	59 716	28 476	31 240
1981	15 011	6 253	8 758	60 632	25 356	35 276
1982	16 428	7 250	9 178	62 324	23 539	38 785
1983	17 855	7 340	10 515	66 571	21 850	44 721

Tablica 4

INSTALIRANE SNAGE ELEKTRANA 1983. PO REPUBLIKAMA
U MW [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
Jugoslavija	17 743	16 950	793	7 330	7 330	—	10 413	9 620	793
BiH	3 097	2 852	245	1 425	1 425	—	1 672	1 427	245
C. Gora	890	866	24	656	656	—	234	210	24
Hrvatska	3 352	3 247	105	1 675	1 675	—	1 677	1 572	105
Makedonija	1 009	952	57	412	412	—	597	540	57
Slovenija	2 198	2 153	45	672	672	—	1 526	1 481	45
Srbija	7 167	6 880	317	2 490	2 490	—	4 707	4 390	317

Tablica 5

BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1983. PO REPUBLIKAMA
u GWh [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
Jugoslavija	67 054	63 954	3 100	21 836	21 836	—	45 218	42 118	3 100
BiH	11 590	10 610	980	3 769	3 769	—	7 821	6 841	980
C. Gora	2 269	2 199	70	1 233	1 233	—	1 036	966	70
Hrvatska	9 537	9 137	400	4 427	4 427	—	5 110	4 710	400
Makedonija	3 008	2 938	70	991	991	—	2 017	1 947	70
Slovenija	10 466	10 066	400	2 671	2 671	—	7 795	7 395	400
Srbija	30 184	29 004	1 180	8 745	8 745	—	21 439	20 259	1 180

Napomena: Udružene elektrane sadrže i distributivne a ostale samo industrijske TE.

Tablica 6

SPECIFIČNA BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
kWh po stanovniku [4]

Stanovn. Godina	SFRJ	BiH	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
1960.	484	561	304	404	295	1 692	290
1961.	533	589	725	373	320	2 006	318
1962.	597	578	994	555	313	2 008	364
1963.	706	680	1 837	707	314	2 133	423
1964.	736	790	1 866	685	375	1 982	477
1965.	796	850	1 693	792	389	2 177	506
1966.	870	916	1 676	928	418	2 137	585
1967.	937	1 015	1 571	913	513	2 197	694
1968.	1 024	1 201	1 769	938	436	2 354	778
1969.	1 149	1 302	2 101	1 033	563	2 721	865
1970.	1 268	1 435	1 818	1 051	754	2 844	1 043
1971.	1 439	1 702	1 679	1 121	727	2 573	1 381
1972.	1 602	1 716	1 605	1 237	548	3 112	1 641
1973.	1 673	1 784	1 322	1 196	697	3 110	1 795
1974.	1 852	1 977	1 788	1 404	860	3 358	1 960
1975.	1 878	2 070	1 357	1 318	569	3 699	2 006
1976.	2 025	2 135	2 363	1 556	550	3 736	2 078
1977.	2 237	2 357	3 806	1 928	688	3 755	2 250
1978.	2 356	2 403	4 031	1 986	877	4 189	2 347
1979.	2 486	2 548	4 232	1 943	1 007	4 221	2 579
1980.	2 673	2 645	3 766	1 995	1 036	4 345	2 955
1981.	2 703	2 740	3 142	1 899	1 203	4 442	3 010
1982.	2 804	2 642	2 773	2 081	1 208	5 145	3 087
1983.	2 984	2 802	3 872	2 071	1 567	5 523	3 234

Tablica 7

RAZVOJ PROIZVODNJE NA GENERATORU I RAZMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE SR HRVATSKE

u GWh [1] [2]*

Godina	Proizvodnja												Ukupna razmjena (saldo)			Raspoloživo bruto
	Hrvatska			Udružene elektrane			Distr. i lokalne			Industr. elektrane						
	Ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	tu-zemna	ino-zemna	
1950.	556	327	229	446	311	135	4	1	3	106	15	91	225	225	—	781
1951.	591	378	213	475	359	116	4	1	3	112	18	94	266	266	—	857
1952.	623	417	206	504	398	106	5	1	4	114	18	96	249	236	13	872
1953.	716	460	256	571	441	130	6	1	5	139	18	121	212	210	2	928
1954.	810	456	354	610	438	172	6	1	5	194	17	177	210	195	15	1020
1955.	1025	591	434	781	569	212	6	2	4	238	20	218	254	254	—	1279
1956.	1007	564	443	741	546	195	6	2	4	260	16	244	398	397	1	1405
1957.	1075	637	438	830	620	210	5	2	3	241	16	225	579	579	—	1655
1958.	1169	672	497	930	654	276	4	1	3	235	17	218	739	792	— 53	1908
1959.	1392	854	539	1129	835	294	5	1	4	258	18	240	714	771	— 57	2106
1960.	1671	1197	474	1412	1176	236	6	2	4	253	19	234	622	716	— 94	2293
1961.	1555	1102	453	1333	1087	246	5	2	3	217	13	204	977	1051	— 74	2532
1962.	2331	1903	428	2122	1888	234	5	—	5	204r	15	189r	480	519	— 39	2814
1963.	3089	2311	778	2792	2212	580	90	83	7	207	16	191	286	348	— 62	3375
1964.	2910	2068	842	2555	1976	579	106	74	32	249	18	231	519	558	— 39	3429
1965.	3430	2620	810	3040	2513	527	90r	86	4r	300r	21	279r	374	413r	— 39	3804r
1966.	4000	3254	746	3616	3158	458	77r	74r	3	304r	19r	285r	171	187r	— 16	4168r
1967.	3962	3183	779	3580	3098	482	70r	70r	—	312r	15	297r	516	502r	+ 14	4478r
1968.	4091	3301	789	3707	3211	496	77	77	—	306	13	293r	815	817r	— 2r	4905r
1969.	4520	3979	541	4155	3881	274	84	84	—	281	14	267	904	921	— 17	5424
1970.	4692	3726	966	4362	3640	722	73	73	—	257	13	244	1303	1351	— 48	5995
1971.	4953	3229	1724	4606	3152	1454	66	66	—	281	11	270	1509	1579	— 70	6462
1972.	5509	3727	1782	5166	3632	1534	80	80	—	263	15	248	1505	1505	—	7014
1973.	5333	2640	2693	4971	2569	2401	61	61	—	302	10	292	2018	1975	43	7352
1974.	6281	4226	1055	5916	4119	1797	85	85	—	280	22	258	2262	2359	— 97	8543
1975.	5922	3626	2296	5501	3538	1963	77	77	—	344	11	333	3188	2472	+716	9110
1976.	7633	4555	3078	7199	4466	2733	74	74	—	360	15	345	1908	1681	+227	9541
1977*	8782	5204	3578	8350	5114	3236	75	75	—	357	15	342	1419	1463	— 44	10201
1978*	9089	5562	3526	8648	5474	3174	76	76	—	365	13	352	1857	1679	+178	10946
1979*	8850	5680	3170	8399	5242	3157	80	80	—	371	13	358	2658	2809	—151	11508
1980.	9200	6244	2956	8779	6149	2630	81	81	—	340	14	326	3097	3248	—151	12297
1981.	8767	4790	3977	8365	4702	3663	77	77	—	325	11	314	3797	3397	400	12564
1982.	9445	4697	4748	9000	4613	4387	73	73	—	372	11	361	2909	2840	64	12354
1983.	9410	4401	5009	8898	4333	4565	60	60	—	452	8	444	3342	3416	—74	12752

Do uključivo 1962. nalazile su se distribut. elektrane u sastavu udruž. elektropriv. Od 1965. uključeno 28 % HE Dubrovnik

RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tablica 8

MEĐUREPUBLIČKA RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1983.

u MWh [4]

Primila / predala	Ukupno	Bosna i Hercegovina	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
UKUPNO	16333	1208	1327	3579	2107	695	7297
BiH	2453	—	4	1635	10	605	20
C. Gora	675	7	—	7	1	1	659
Hrvatska	289	89	75	—	3	37	84
Makedonija	108	16	2	3	—	2	85
Slovenija	1318	630	48	184	156	—	300
Srbija	11670	466	1198	1750	2057	50	—

Tablica 9

RAZMJENA IZMEĐU PODRUČJA UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE SRH 1983.

u GWh [2]*

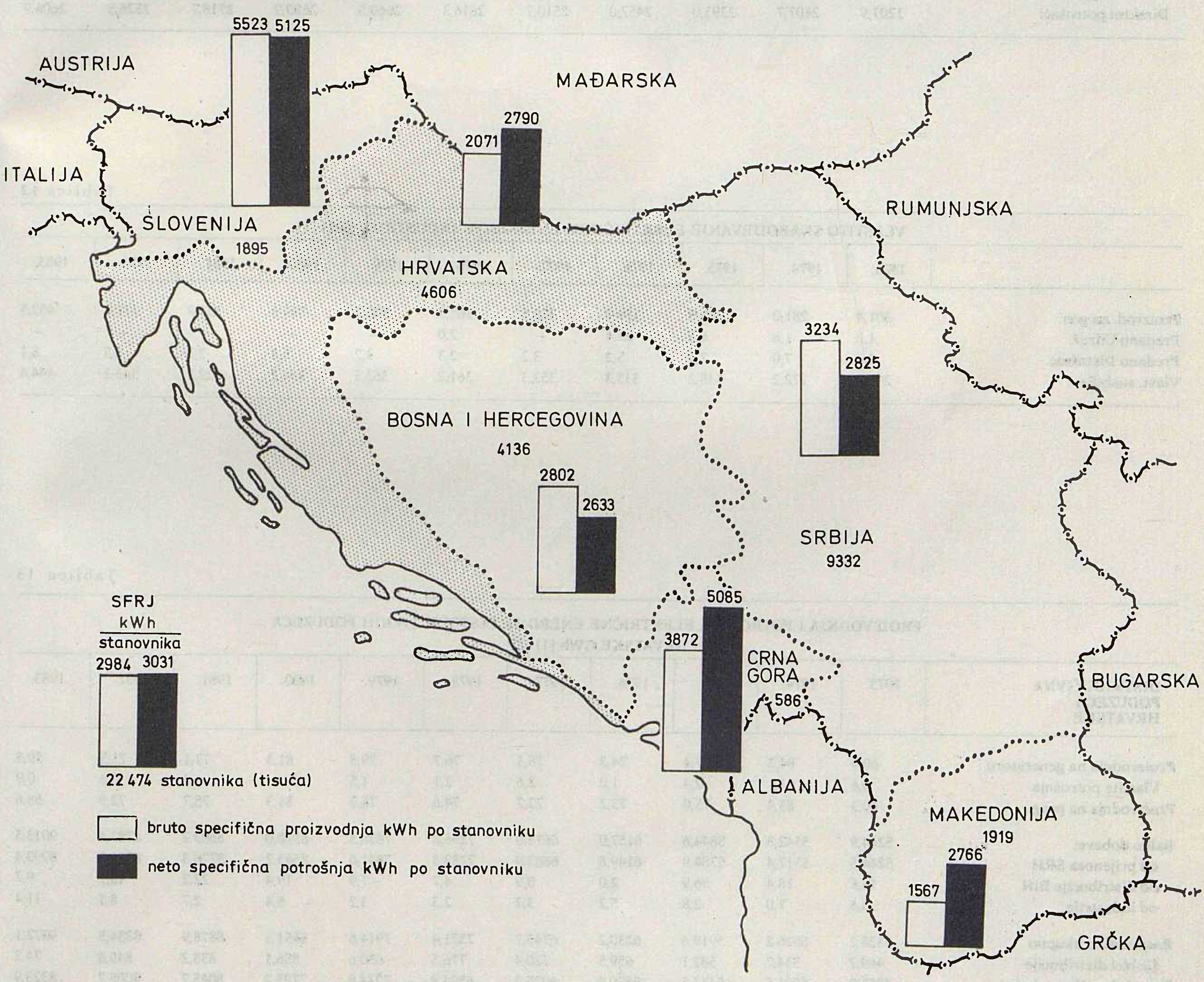
Područje SRH	Osijek	Rijeka	Split	Zagreb	Hrvatska
Proizvodnja na pragu	53	2202	2182	3953	8676
Saldo dobave	—	—	—	—	3335
Primljeno od ZEOH	1560	27	1501	1070	—
Predano ZEOH	—	472	—	63	—
Raspoloživo BTTO	1613	1756	3683	4959	12012
Gubici prijenosa	44	58	113	196	412
Predano distribuciji	1423	1696	1789	4084	8992
Direktni potrošači	146	2	1780	679	2607

Tablica 10

RAZVOJ RAZMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE SRH
u GWh*[2]

Razmjena	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.
Nabava iz Slovenije	85,2	15,4	166,0	46,0	48,0	79,0	19,0	36,5	175	26	184
Predaja u Sloveniju	28,1	50,9	26,0	26,0	66,0	50,0	109,0	68,1	33	29	37
Saldo	+ 57,1	− 35,5	+ 140,0	+ 20,0	− 18,0	+ 29,0	− 90,0	− 31,6	+ 142	− 3	+ 147
Nabava iz Bosne	1925,0	2397,4	2401,0	1689,0	1510,0	1731,0	3112,0	3388,1	3444	1433	1635
Predaja u Bosnu	2,1	2,1	75,0	18,0	37,0	87,0	193,0	142,1	87	142	66
Saldo	+ 1918,8	+ 2395,3	+ 2326,0	+ 1671,0	+ 1473,0	+ 1644,0	+ 2919,0	+ 3246,0	+ 3357	+ 1291	+ 1569
Nabava iz inozemstva	42,6	50,0	739,0	331,0	55,0	234,0	81,0	76,3	430	245	355
Predaja u inozemstvo	0,0	146,6	23,0	104,0	100,0	56,0	232,0	213,1	30	176	429
Saldo	+ 42,6	− 96,6	+ 716,0	+ 227,0	− 45,0	+ 178,0	+ 151,0	− 136,8	+ 400	+ 69	− 74
Ukupno nabava	2052,8	2462,8	3306,0	2066,0	1613,0	2044,0	3212,0	3500,0	4049	2432	3993
Izvoz i predaja	34,3	199,6	124,0	148,0	203,0	193,0	534,0	423,3	150	523	651
Saldo razmjene	+ 2028,5	+ 2263,2	+ 3182,0	+ 1918,0	+ 1410,0	+ 1851,0	+ 2658,0	+ 3077,6	+ 3899	2909	3342

U tablici je sadržana razmjena na svim naponima. Razmjena sa SR Crnom Gorom i SR Srbijom uključena u SR BiH.



Sl. 5. Specifična proizvodnja i potrošnja električne energije (kWh/stanovnik)

Energija, god. 33/1984/6, 515—535

POTROŠNJA I BILANCE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tablica 11

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE
u MWh [1] [2]*

UDRUŽENA ELEKTROPRIVREDA HRVATSKE	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.
Proizvodnja na generatoru	4971,3	5916,0	5518,6	7198,5	8349,7	8647,2	8399,5	8779,0	8365,0	8998,2	8898,3
Vlastita potrošnja	207,3	173,5	174,4	223,4	248,9	252,6	253,6	249,5	278,2	248,1	222,2
Proizvodnja na pragu	4764,0	5742,5	5344,2	6975,1	8100,8	8394,6	8145,9	8529,5	8086,8	8750,1	8676,1
Razmjena saldo:	2018,5	2262,7	3187,4	1937,5	1411,9	1853,3	2664,2	3077,6	3774,3	2898,3	3335,2
sa Slovenijom	57,1	– 35,6	121,2	19,2	– 18,6	28,9	– 89,6	– 31,6	18,4	– 2,8	147,0
sa Bosnom i H.	1643,1	1905,2	1990,5	1565,4	1300,3	1323,2	1512,5	1513,5	1457,6	1262,4	1569,0
sa drugim republ.	275,7	489,8	360,5	125,9	187,5	323,0	1392,3	1732,5	1898,7	1569,4	1693,2
sa inozemstvom	42,6	– 96,7	715,2	227,1	– 44,4	178,2	– 151,0	– 136,8	399,6	69,3	– 74,0
Nabava od industrije	1,8	1,8	6,3	21,4	–	2,0	–	–	–	–	–
Raspoloživo ukupno	6784,3	8006,1	8537,9	8934,0	9512,7	10249,9	10810,1	11607,1	11861,1	11648,4	12011,3
Gubici prijenosa	267,2	324,8	319,9	303,4	336,7	342,9	302,2	380,9	364,1	364,9	412,0
Predano distr. BiH	64,4	56,2	47,1	23,8	1,4	0,9	0,0	0,1	0,0	0,1	–
Razlika voz. reda ±	–	–	–	–	–	–	6,4	–	–	–	–
Potrošnja u Hrvatskoj	6452,7	7625,1	8177,9	8606,8	9174,6	9906,1	10501,5	11226,1	11497,0	11283,4	11599,3
Distribut. poduzeća	5244	5517,4	5784,9	6149,8	6663,9	7289,8	7841,0	8545,2	8778,3	8756,9	8992,4
Direktni potrošači	1207,9	2107,7	2393,0	2457,0	2510,7	2616,3	2660,5	2680,9	2718,7	2526,5	2606,9

Tablica 12

VLASTITO SNABDIJEVANJE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM INDUSTRIJE SRH [1]

	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.
Proizvod. na gen.	301,4	281,0	343,5	359,9	356,5	365,5	370,7	339,6	324,9	371,7	452,5
Predano Udruž.	1,8	1,8	6,3	21,4	–	2,0	–	–	–	–	–
Predano Distribuc.	3,6	7,0	2,0	5,2	3,2	2,3	3,2	5,4	2,7	8,5	8,1
Vlast. snabdjev.	296,0	272,2	335,2	333,3	353,3	361,2	367,5	334,2	322,2	363,2	444,4

Tablica 13

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE DISTRIBUTIVNIH PODUZEĆA HRVATSKE GWh [1] [2]*

DISTRIBUTIVNA PODUZEĆA HRVATSKE	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.
Proizvodnja na generatoru	60,9	84,5	77,4	74,2	75,3	76,7	79,8	81,3	77,1	73,5	59,5
Vlastita potrošnja	0,6	1,1	2,4	1,0	2,6	2,1	1,5	0	1,4	0,6	0,9
Proizvodnja na pragu	60,3	83,4	75,0	73,2	72,7	74,6	78,3	81,3	75,7	72,9	58,6
Saldo dobave:	5264,9	5542,8	5844,6	6157,0	6673,0	7296,8	7836,3	8570,0	8803,2	8781,6	9013,5
od prijenosa SRH	5244,8	5517,4	5784,9	6149,8	6663,9	7289,8	7841,0	8545,2	8778,3	8756,9	8992,4
od distribucije BiH	16,5	18,4	56,9	2,0	5,9	4,7	–7,9	19,4	22,2	16,2	9,7
od industrije	3,6	7,0	2,8	5,2	3,2	2,3	3,2	5,4	2,7	8,5	11,4
Raspoloživo ukupno	5325,2	5626,2	5919,6	6230,2	6745,7	7371,4	7914,6	8651,3	8878,9	8854,5	9072,1
Gubici distribucije	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856,1	833,2	845,8	74,2
Potrošnja u Hrvatskoj	4856,0	5091,5	5337,5	5570,7	6025,3	6594,9	7234,9	7795,2	8045,7	8008,7	8323,9

Tablica 14

POTROŠNJA DIREKTNIH POTROŠAČA UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE u GWh [1] [2]*

UDRUŽENA ELEKTROPRIVREDA HRVATSKE	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.*	1978.*	1979.*	1980.	1981.	1982.	1983.
Direktni potrošači ukupno	1207,9	2107,7	2393,0	2457,0	2510,7	2616,3	2660,5	2680,9	2718,7	2526,1	2473,4
Elektrovuča ŽTP-a	138,3	128,6	122,3	123,8	140,4	156,5	176,1	187,2	199,1	214,6	224,9
Industrija ukupno	1069,6	1979,1	2270,7	2333,2	2370,3	2459,8	2484,4	2493,7	2519,6	2311,5	2248,5
Ugljenokopi											
Raša, Labin	37,7	42,3	43,3	48,1	47,0	44,4	44,4	38,8	–	–	–
Cementare											
Sloboda, Zagreb	–	1,0	30,6	35,9	68,3	68,8	61,1	51,0	55,1	51,7	44,2
Cementara, Našice	–	–	–	–	–	–	0,6	21,5	39,9	46,9	57,3
Elektrokemija	466,0	567,4	537,1	532,1	522,1	552,4	566,8	557,1	610,8	575,4	595,9
Karbid, D. Rat	184,8	267,9	248,9	218,8	182,0	211,0	222,0	223,7	238,7	191,6	196,7
Jugovinil, Kaštel S.	52,8	73,3	65,4	65,5	83,8	68,1	95,5	97,8	112,2	110,8	84,7
Gnojivo, Kutina	228,4	226,2	222,8	247,8	256,3	253,3	249,3	235,6	259,9	273,0	312,4
DINA Krk	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,1
Elektrometalurgija	347,9	1145,3	1422,3	1472,5	1480,4	1540,4	1550,0	1569,9	1543,8	1380,9	1288,2
Aluminij, Lozovac	151,8	169,0	162,3	170,8	189,3	195,6	192,1	196,6	188,7	169,5	145,9
TLM, Ražine	72,9	813,6	1096,3	1115,7	1134,4	1169,1	1161,2	1185,8	1151,9	1050,9	976,4
Ferolegure, Šibenik	123,2	162,7	163,7	186,0	156,7	175,7	196,7	187,5	203,2	160,4	165,9
Ostali potrošači	218,0	223,1	237,4	244,6	252,5	253,8	261,5	255,4	270,0	256,6	262,9
Željezara, Sisak	142,4	153,2	165,4	171,4	181,9	182,9	189,4	182,1	182,4	179,8	185,9
Valjaonica, Ražine	67,6	63,0	62,2	69,2	68,6	70,4	70,6	72,1	71,6	67,9	68,4
Ostali	8,0	6,9	5,8	4,0	2,0	0,5	1,5	1,2	16,0	8,9	8,6

Tablica 15

DOBAVA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŽELJEZNIČKOM PROMETU SRH [1]

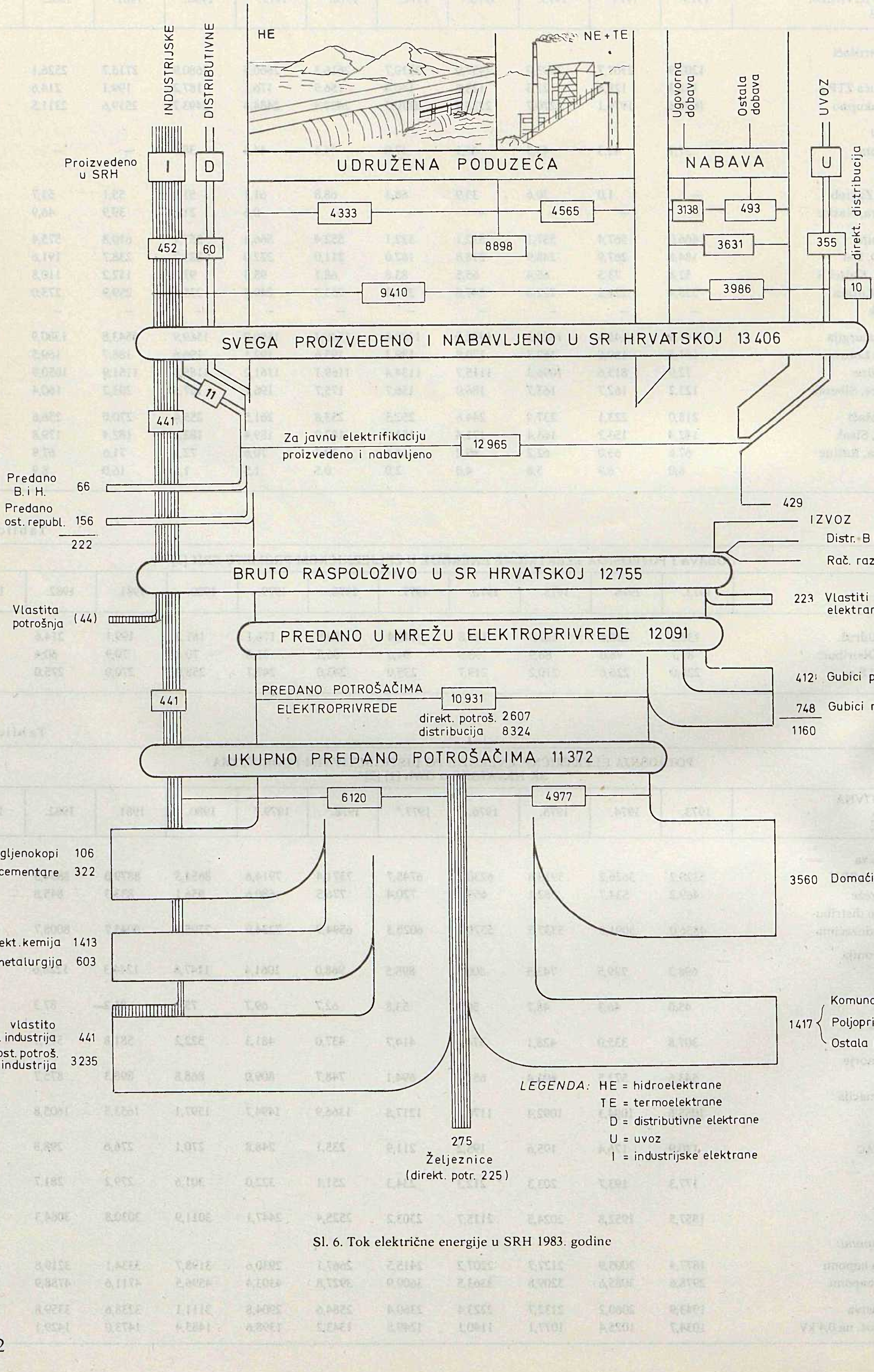
	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.
Dobava od Udruž.	138,3	128,6	122,3	123,8	140,4	156,5	176,1	187,2	199,1	214,6	224,9
Dobava od Distribuc.	87,7	98,0	86,9	95,9	94,6	86,5	71,6	70,8	70,9	60,4	55,1
Potrošnja ŽTP-a	226,0	226,6	210,2	219,7	235,0	243,0	247,7	258,0	270,0	275,0	280,0

Tablica 16

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE PO DISTRIBUTIVNIM PODRUČJIMA SR HRVATSKE u GWh [1] [2]*

DISTRIBUTIVNA PODUZEĆA HRVATSKE	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.*	1978.*	1979.*	1980.	1981.	1982.	1983.
Raspoloživo za potrošnju u SRH	5325,2	3626,2	5919,6	6230,2	6745,7	7371,4	7914,6	8651,3	8879,0	8854,5	9072,2
Gubici mreže	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856,1	833,3	845,8	748,2
Potrošnja po distributivnim poduzećima	4856,0	5091,5	5337,5	5570,7	6025,3	6594,9	7234,0	7795,2	8045,7	8008,7	8324,0
Elektroslavonija OSIJEK	698,3	729,5	743,5	800,5	895,5	968,0	1061,4	1147,8	1244,3	1228,6	1318,7
Elektrolika GOSPIĆ	45,0	46,3	48,7	50,5	53,8	62,7	69,7	75,6	81,2	87,3	93,0
Elektroistra PULA	307,8	335,0	428,1	374,5	414,7	437,0	481,3	522,2	581,8	579,9	593,0
Elektroprimorje RIJEKA	543,6	573,5	601,4	651,7	694,1	748,7	809,0	868,8	898,3	875,7	882,4
Elektrodalmacija SPLIT	1055,6	1084,3	1092,4	1170,3	1217,8	1366,9	1494,7	1597,1	1653,5	1605,8	1656,9
Elektra KARLOVAC	170,9	176,4	195,6	195,2	211,9	235,1	248,8	270,1	276,6	298,8	307,7
Elektra SISAK	177,3	193,7	203,3	212,3	234,3	251,1	322,0	301,6	279,2	281,7	278,5
Elektra ZAGREB	1857,5	1952,8	2024,5	2115,7	2303,2	2525,4	2447,1	3011,9	3030,8	3064,3	3205,6
Prema naponu:											
Na visokom naponu	1877,4	2005,9	2127,7	2207,2	2415,5	2667,1	2930,6	3198,7	3334,1	3219,8	3297,6
Na niskom naponu	2978,6	3085,6	3209,8	3363,5	3609,9	3927,8	4303,4	4596,5	4711,6	4788,9	5026,4
— Domaćinstva	1943,9	2060,2	2132,7	2223,4	2360,4	2584,6	2904,8	3111,1	3238,6	3359,8	3560,5
— Ost. potroš. na 0,4 kV	1034,7	1025,4	1077,1	1140,1	1249,5	1343,2	1398,6	1485,4	1473,0	1429,1	1465,9

TOK ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR HRVATSKOJ 1983.
milijuna kilovatsati (GWh)



Sl. 6. Tok električne energije u SRH 1983. godine

Tablica 17

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR HRVATSKOJ
u GWh [1] [2]*

Potrošači	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.*	1978.*	1979.*	1980.*	1981.	1982.	1983.
Proizvodnja na generatoru	5333,5	6280,7	5940,3	7632,6	8781,5	9089,8	8850,0	9200	8767,0	9443,4	9410,3
Saldo dobave	1970,7	2224,9	3197,3	1915,6	1416,4	1856,6	2649,9	3097	3796,5	2914,5	3344,9
Raspoloživo bruto	7304,2	8505,6	9137,6	9548,2	10197,9	10946,4	11499,9	12297	12563,5	12357,4	12755,2
Vlastita potrošnja	207,9	174,7	176,9	224,3	251,5	254,6	255,1	250	279,6	248,7	223,1
Gubici prijenosa	267,2	324,8	312,9	303,4	336,7	342,9	302,2	381	364,1	364,9	412,0
Gubici distribucije	469,2	534,7	582,1	659,5	720,4	776,5	680,6	856	833,2	845,8	748,2
Potrošnja neto	6359,9	7471,4	8065,7	8361,0	8889,3	9572,4	10262,0	10810	11086,6	10898,5	11371,9
Industrija	3178,5	4159,2	4645,7	4777,8	5044,4	5401,6	5733,0	5977	6105,0	5834,7	6065,5
Ugljenokopi	41,8	45,5	45,3	53,9	47,0	44,4	44,4	50	50,4	53,0	47,3
Cementare	225,2	248,5	304,4	287,3	277,8	278,8	361,7	367	394,1	395,0	400,0
Elektrokemija	466,0	567,4	537,1	532,1	522,1	552,4	566,8	557	610,9	575,4	595,9
Elektrometalurgija	347,9	1154,3	1422,3	1472,5	1480,4	1540,4	1550,0	1570	1543,7	1380,9	1288,2
Ostala prodaja	1801,6	1871,3	2001,4	2098,7	2363,8	2624,4	2842,6	3099	3183,7	3430,4	3289,7
Vlast. snabdjev. ind.	296,0	272,2	335,2	333,3	353,3	361,2	367,5	334	322,2	363,2	444,4
Elektro vuča ŽTP	226,0	226,6	210,2	219,7	235,0	243,0	225,6	237*	270,0	275,0	280,0
Opća potrošnja	2955,4	3085,6	3209,8	3363,5	3609,9	3927,8	4303,4	4596	4711,6	4788,8	5026,4
Domaćinstva	1943,9	2060,2	2132,7	2223,4	2360,4	2584,9	2904,8	3111	3238,6	3359,8	3560,5
Komunal. potr.	*261,0	263,0	291,0	473,0	572,0	622,0	667,0	649	692,3	664,6	701,5
Ost. potrošnja	750,5	762,4	786,1	667,1	677,5	720,9	731,6	836	780,7	764,4	764,4

Tablica 18

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SFRJ 1983.
u GWh [5]

Jugoslavija 1981.	SFRJ	Bosna i Hercegovina	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija			
							svega	terit. SRS van. terit. SAP	Kosovo	Vojvodina
Proizvodnja na generatoru	66 547	11 484[1])	2 278	7 585[1])	3 042	12 436	24 723	24 794	3 614	1 315
Vlastita potrošnja	4 251	883	106	305	191	793	1 973	1 485	370	118
Proizvodnja na pragu elektrana	62 296	10 601	2 172	7 280	2 851	11 643	27 750	23 310	3 244	1 196
Izvoz[2])	1 626	485	318	323	4	171	325	284	34	7
Uvoz[2])	2 681	910	365	356	157	45	848	809	8	31
Primljeno od drugih republika	18 184	1 208	1 327	5 430	2 227	695	7 297	1 434	321	5 542
Isporučeno drugim republikama	18 184	2 274	675	288	108	3 169	11 670	9 877	1 554	239
Gubici prenosa i razvoda	6 461	1 012	261	924	524	697	2 323	1 915	354	774
Raspoloživo za potrošnju	56 890	8 948	2 610	11 531	4 599	8 346	20 856	13 476	1 631	5 749
Industrija i rudarstvo	31 823	5 632	1 975	6 515	3 056	5 529	9 114	5 628	772	2 714
Rudnici uglja	959	242	6	94	30	134	453	341	112	—
Cementare	1 102	87	56	360	86	190	323	157	—	166
Elektrohemija	4 102	206	349	1 399	218	873	1 057	329	53	675
Elektrometalurgija	8 000	3 001	—	537	1 916	1 123	1 423	1 153	214	56
Ostala industrija	17 660	2 096	1 564	4 125	808	3 209	5 858	3 648	393	1 817
Pumpanje vode u akumulacione basene HE	923	61	—	—	—	—	862	862	—	—
Elektroželeznička vuča	1 196	150	23	478	14	220	311	253	—	58
Tramvaji i trolejbusi	111	19	—	56	—	—	36	36	—	—
Javni vodovod	647	75	26	200	21	57	268	214	12	42
Javno osvetljenje	428	34	17	132	20	60	165	99	10	56
Domaćinstva (osvjetljenje i aparati)	17 733	2 348	439	3 560	1 284	1 818	8 284	5 205	727	2 352
Poslovne i društvene prostorije	1 253	144	79	351	128		551	407	71	73
Motori i aparati ostalih potrošača	1 463	125	35	161	29		1 118	746	33	339
Poljoprivreda — ukupno	1 308	360	16	78	45	662	147	26	6	115
Melioracija	78	23	—	2	10	11	37	7	—	25
Poljoprivredni motori	280	11	16	49	35	72	97	10	1	86
Ostalo	950	326	—	27	—	579	18	9	5	4

[1]) Kod SR Bosne i Hercegovine uključeno 78 % proizvodnje HE »Trebišnjica«, a kod SR Hrvatske 22 %.
[2]) Podaci zajednice jugoslovenske elektroprivrede.

Tablica 19

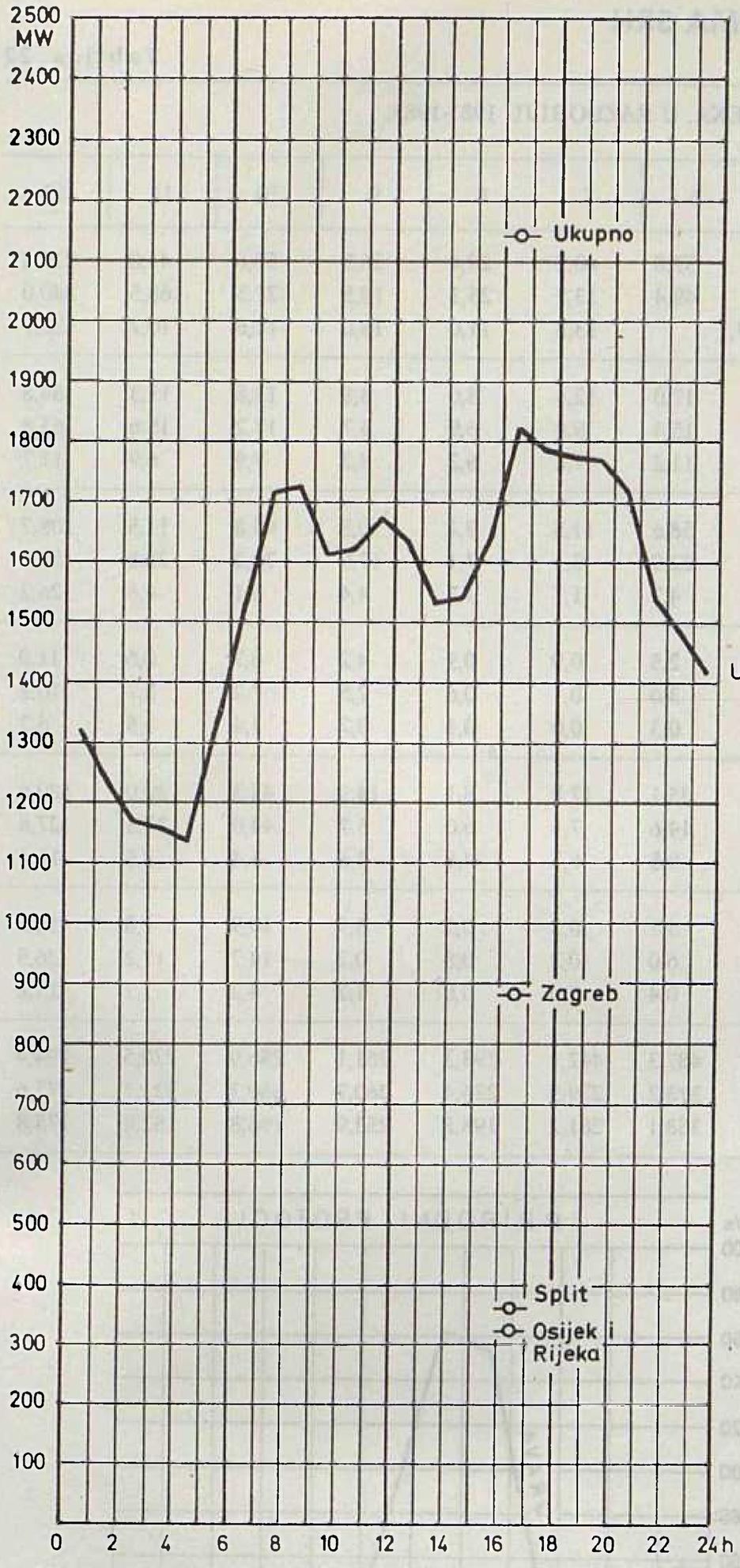
POGONSKA SNAGA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE PREMA TEHNOLOŠKOJ NAMJENI U INDUSTRIJSKIM ORGANIZACIJAMA SR HRVATSKE ZA 1981. GODINU
u MWh [3]

	Ukupna pogonska snaga	Snaga elektro-motora	Ukupno utrošena električna energija	Za termičke svrhe	Za elektrolize i galvanizaciju	Za elektro-motore	Ostalo
UKUPNO	2 210[2]	2 057[2]	6 121 317	732 318	1 422 763	3 627 623	338 613
Elektroprivreda	232	207	472 918	3 470	2 402	421 277	45 769
Proizvodnja ugljena	30	30	50 373	306	—	50 003	64
Prerada ugljena	12	8	22 866	—	—	21 618	1 248
Proizvodnja nafte i zemnog plina	55	32	66 188	315	—	58 160	7 713
Proizvodnja naftenih derivata	128	103	209 851	1 126	110	201 268	7 347
Crna metalurgija	82	82	538 831	429 799	—	101 803	7 229
Proizvodnja ruda obojenih metala	17	1	1 157	19	—	1 105	33
Proizvodnja obojenih metala	29	29	1 399 493	5 564	1 339 334	50 589	4 006
Prerada obojenih metala	40	40	71 894	15 057	65	55 958	814
Proizvodnja nemetalnih minerala	11	10	10 688	200	—	9 270	1 218
Prerada nemetalnih minerala	31	29	142 035	51 767	—	82 249	8 019
Metaloprerađivačka djelatnost	156	140	229 730	52 956	7 719	151 529	17 526
Strojogradnja	87	86	79 480	7 128	984	60 067	11 301
Proizvodnja prometnih sredstava	23	23	27 494	3 920	800	18 453	4 321
Brodogradnja	94	93	74 332	2 272	—	55 533	16 527
Proizvodnja električnih strojeva i aparata	63	63	89 598	23 282	4 850	46 978	14 488
Proizvodnja osnovnih kemijskih proizvoda	125	119	593 660	81 489	58 060	434 103	20 006
Prerada kemijskih proizvoda	76	75	137 288	18 524	3 319	103 655	11 790
Proizvodnja kamena, šljunka i pijeska	62	41	49 425	289	—	46 981	2 155
Proizvodnja građevnog materijala	228	221	564 991	2 560	—	583 895	28 536
Proizvodnja rezane građe i ploča	44	44	70 864	718	—	65 401	4 745
Proizvodnja finalnih proizvoda od drveta	97	95	130 498	983	74	115 191	94 250
Proizvodnja i prerada papira	82	82	242 568	602	101	234 311	7 554
Proizvodnja tekstilnih prediva i tkanina	86	86	252 545	2 774	—	223 425	26 346
Proizvodnja gotovih tekstilnih proizvoda	31	31	69 148	5 159	30	50 942	13 017
Proizvodnja kože i krzna	11	11	11 847	506	—	10 611	730
Proizvodnja kožne obuće i galanterije	16	15	28 393	986	—	21 929	5 478
Prerada kaučuka	23	23	52 831	2 589	—	45 248	4 994
Proizvodnja prehrambenih proizvoda	172	168	309 409	12 955	3 576	257 570	35 808
Proizvodnja pića	26	26	49 715	1 075	—	41 062	7 578
Proizvodnja stočne hrane	18	18	24 012	777	—	20 911	2 324
Proizvodnja i prerada duhana	4	4	10 578	613	—	8 539	1 426
Grafička djelatnost	19	19	30 939	2 335	683	23 678	4 243
Proizvodnja raznovrsnih proizvoda	3	3	5 678	203	656	4 311	508

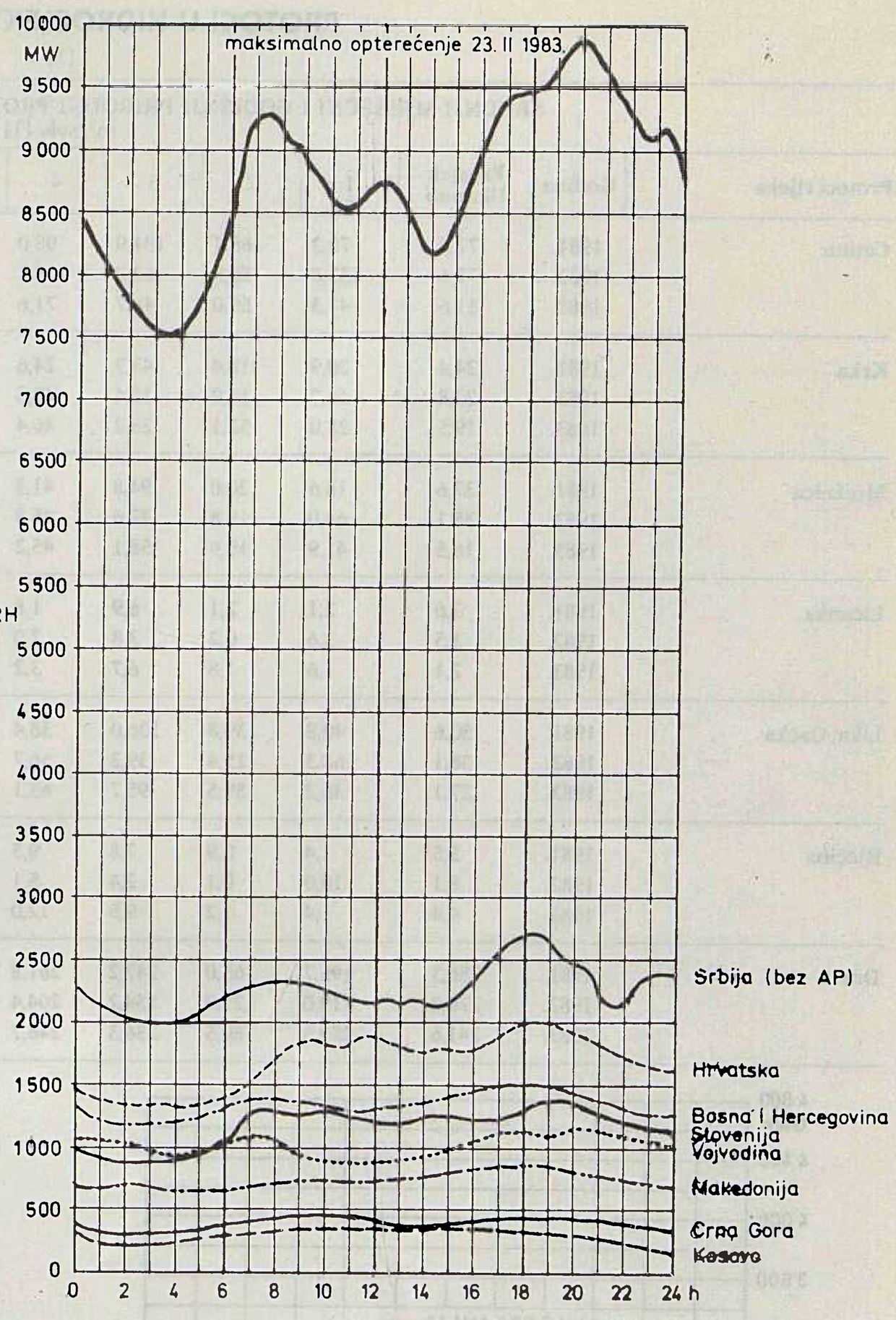
Tablica 20

RAZVOJ NETO SPECIFIČNE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE SR HRVATSKE
[1]

Godina	Stanovništvo × 1000	Neto proizvodnja		Neto potrošnja		Potrošnja domaćinstava	
		Ukupna GWh	Specifična proizvod. kWh/stanovnik	Ukupna GWh	Specifična potrošnja kWh/stanovnik	Ukupna GWh	Elektroenergetski standard kWh/stanovnik
1955.	4 013	1 025	255	1 076	268	165	41
1956.	4 040	1 007	249	1 180	292	227	56
1957.	4 067	1 076	264	1 404	345	281	60
1958.	4 089	1 169	286	1 577	384	376	90
1959.	4 115	1 392	338	1 767	429	426	104
1960.	4 140	1 671	404	1 943	469	409	99
1961.	4 169	1 555	373	2 132	511	457	110
1962.	4 198	2 334	555	2 380	567	554	132
1963.	4 229	2 948	697	2 853	677	689	163
1964.	4 252	2 793	657	2 903	683	768	183
1965.	4 281	3 308	772	3 204	749	813	190
1966.	4 312	3 903	906	3 508	814	924	214
1967.	4 430	3 861	889	3 783	872	1 064	246
1968.	4 364	3 996	917	4 200	964	1 187	271
1969.	4 406	4 447	1 009	4 650	1 055	1 333	302
1970.	4 411	4 572	1 036	5 134	1 164	1 497	339
1971.	4 376	4 767	1 089	5 543	1 266	1 638	377
1972.	4 469	5 319	1 195	6 041	1 357	1 770	398
1973.	4 450	5 096	1 140	6 330	1 416	1 938	434
1974.	4 490	6 078	1 354	7 451	1 660	2 060	460
1977.	4 507	5 732	1 272	8 009	1 777	2 150	521
1976.	4 527	7 399	1 634	8 360	1 950	2 223	477
1977.	4 532	8 487	1 873	8 837	1 847	2 360	491
1978.*	4 566	8 835	1 935	9 572	2 096	2 585	566
1979.*	4 576	8 620	1 883	10 265	2 243	2 905	635
1980.*	4 584	8 950	1 952	10 810	2 538	3 111	679
1981.	4 601	8 487	1 845	11 087	2 410	3 239	704
1982.	4 621	9 195	1 990	10 899	2 359	3 360	727
1983.	4 666	9 187	1 969	11 372	2 437	3 561	763



Sl. 7. Dnevni dijagram opterećenja za SRH
srijeda 23. XII 1981.



Sl. 8. Dnevni dijagram opterećenja za SFRJ
22 XII 1981.

Tablica 21

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
u GWh [5]

	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.*	1980	1981.	1982.	1983.
Proizvodnja na generatoru	35 062	39 456	40 040	43 573	48 580	51 755	54 966	59 716	60 632	62 324	66 547
Potrošnja u elektrani	1 746	1 807	1 897	2 150	2 171	2 421	2 614	3 438	3 424	3 808	4 251
Proizvodnja na pragu	33 416	37 649	38 143	41 423	46 409	49 344	52 352	56 278	57 208	58 516	62 296
Uvoz	304	625	676	1 263	340	642	1 952	1 713	2 400	3 199	2 681
Izvoz	353	625	433	1 063	1 505	1 294	1 088	1 304	1 073	1 243	1 626
Gubici prenosa i razvoda	3 753	4 253	4 445	4 646	5 127	4 965	5 233	4 858	4 467	5 567	6 461
Raspoloživo za potrošnju	29 514	33 396	33 941	36 977	40 117	43 717	46 255	51 011	54 033	54 905	56 890
Domaćinstva	8 621	9 431	10 351	11 019	12 058	13 076	14 162	15 566	16 377	17 225	17 733
Poslov. i društv. prost.	1 129	948	1 080	1 069	1 142	1 106	1 245	1 290	1 351	1 439	1 253
Motori i aparati	1 435	1 541	1 367	1 468	1 603	1 594	1 658	1 749	1 627	1 689	1 468
Javno osvjetljenje	322	321	334	352	390	413	443	539	487	426	428
Javni vodovod	347	382	380	398	447	471	515	553	580	619	647
Tramvaji i trolejbusi	69	75	62	66	81	85	89	134	144	111	111
Poljoprivreda	304	272	422	511	598	636	650	738	818	830	1 308
Opća potrošnja ukupno	12 227	12 970	13 996	14 883	16 319	17 381	18 762	20 569	21 384	22 339	22 948
Elektroželježnička vuča	648	729	699	707	745	790	771	894	1 126	1 131	1 196
Industrija i rudarstvo	16 639	19 697	19 246	21 387	23 053	25 546	26 722	29 548	31 521	31 435	32 746
od toga: elektrokemija i elektrometalurgija	6 223	7 004	7 088	8 307	10 128	10 724	10 594	11 510	10 535	11 586	12 102

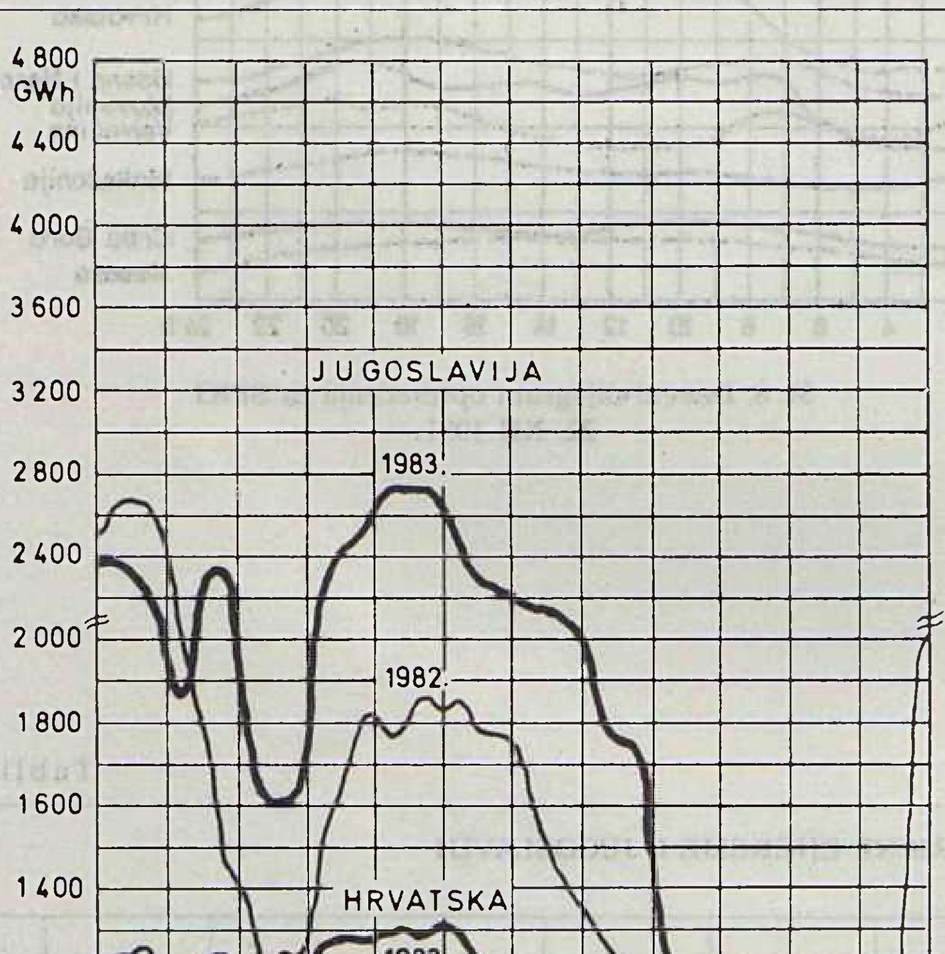
PROTOCI U HIDROELEKTRANAMA SRH

[1]

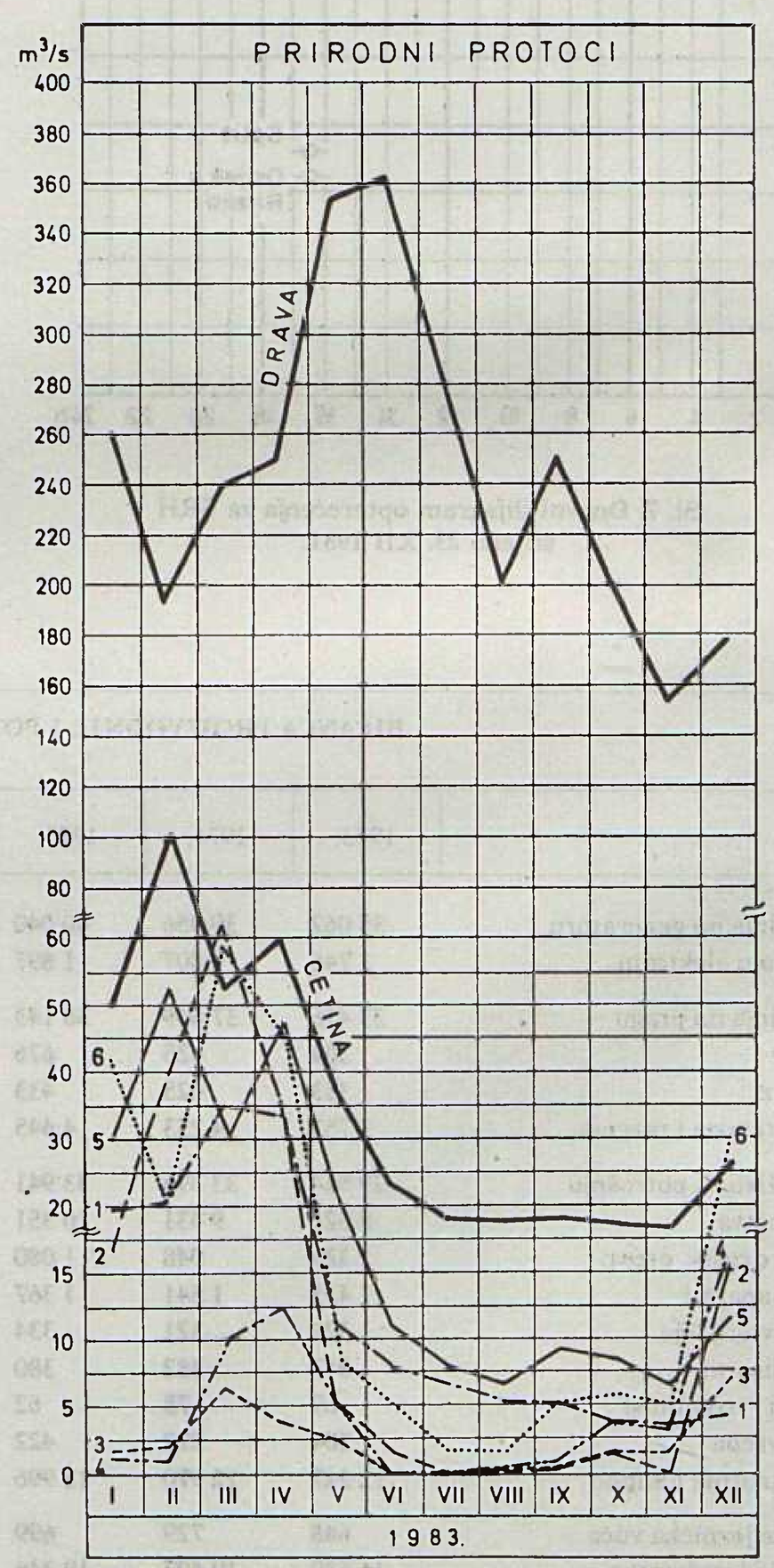
Tablica 22

SREDNJI MJESEČNI I GODIŠNJI PRIRODNI PROTOCI RIJEKA, U RAZDOBLJU 1981-1983.
m³/sek. [1]

Protoci rijeka	Godina	Prosjek Ukupno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cetina	1981.	77,9	70,2	68,4	131,9	98,0	95,3	57,8	40,7	28,4	26,5	57,6	41,0	219,4
	1982.	77,6	133,8	50,5	63,2	108,3	61,1	49,4	33,7	25,1	19,5	77,5	68,5	240,0
	1983.	31,6	41,3	59,0	48,7	71,6	38,127,1		13,8	11,0	18,0	11,6	10,7	28,7
Krka	1981.	24,4	20,9	18,4	43,7	24,6	29,8	17,0	12,4	8,0	8,8	13,8	11,3	84,8
	1982.	22,8	46,7	14,9	18,4	40,8	18,6	15,4	9,0	6,9	6,7	17,2	15,6	63,8
	1983.	19,5	28,0	52,1	28,2	46,4	19,9	11,2	7,6	6,2	8,2	7,9	6,9	11,7
Mrežnica	1981.	37,6	18,6	20,0	94,8	41,3	37,5	58,6	11,8	2,1	0,8	45,8	11,5	108,7
	1982.	35,1	64,0	19,8	27,6	45,8	27,7	22,9	3,1	7,1	17,9	70,2	28,8	86,7
	1983.	18,5	41,9	19,9	58,1	45,2	7,8	4,7	1,7	1,7	4,4	6,1	4,6	26,2
Ličanka	1981.	3,6	2,1	2,1	6,9	1,8	4,1	2,5	0,9	0,5	4,2	6,7	0,6	11,0
	1982.	3,5	3,6	0,2	3,8	2,0	3,6	3,0	0,1	0,6	2,5	7,2	5,7	10,2
	1983.	2,1	1,6	1,8	6,7	3,2	2,1	0,3	0,0	0,1	0,7	1,4	1,5	6,2
Lika, Gacka	1981.	50,6	40,8	39,8	126,0	38,4	33,3	35,1	17,8	8,1	14,9	43,3	20,0	189,4
	1982.	38,1	68,3	15,4	39,3	66,7	34,6	14,6	7,4	6,0	5,7	44,0	27,3	127,8
	1983.	27,1	36,2	59,5	95,7	65,1	16,2	9,5	6,7	4,8	4,6	5,4	3,5	18,4
Rječina	1981.	5,5	1,4	0,9	7,8	9,3	9,4	5,1	0,3	0,2	3,9	10,9	1,8	14,6
	1982.	8,1	10,0	0,1	2,4	5,1	13,4	6,0	0,2	0,8	0,2	14,7	17,2	26,5
	1983.	4,4	1,4	1,2	9,5	12,0	4,8	0,4	0,0	0,0	1,2	4,2	2,7	15,6
Drava	1981.	286,3	195,7	165,0	247,2	261,8	380,5	487,3	442,1	293,3	261,1	286,9	220,5	194,4
	1982.	276,3	219,0	127,9	154,2	204,4	338,7	373,2	279,3	276,4	260,7	380,3	323,7	377,6
	1983.	241,6	259,5	189,5	236,3	246,7	349,6	358,1	281,2	198,8	253,9	196,8	152,8	175,8



Sl. 9. Kretanje akumulacija u SRH i SFRJ



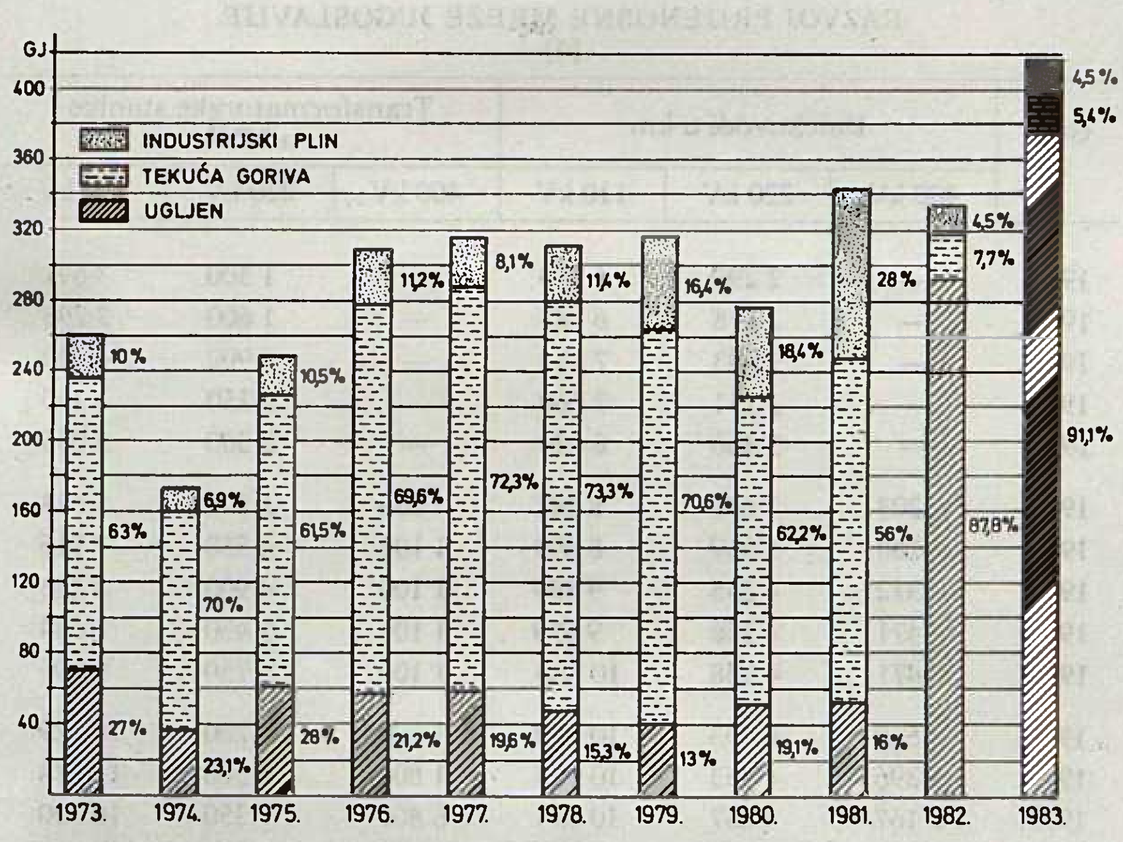
Sl. 10. Hidraulicitet vodotoka u hidrološkoj godini 1980/1981,: 1. Cetina, 2. Krka, 3. Dobra — Mrežnica, 4. Ličanka — Lokvarka — Križ, 5. Lika — Gacka, 6. Riječina, 7. Drava

POTROŠNJA GORIVA U TERMOELEKTRANAMA

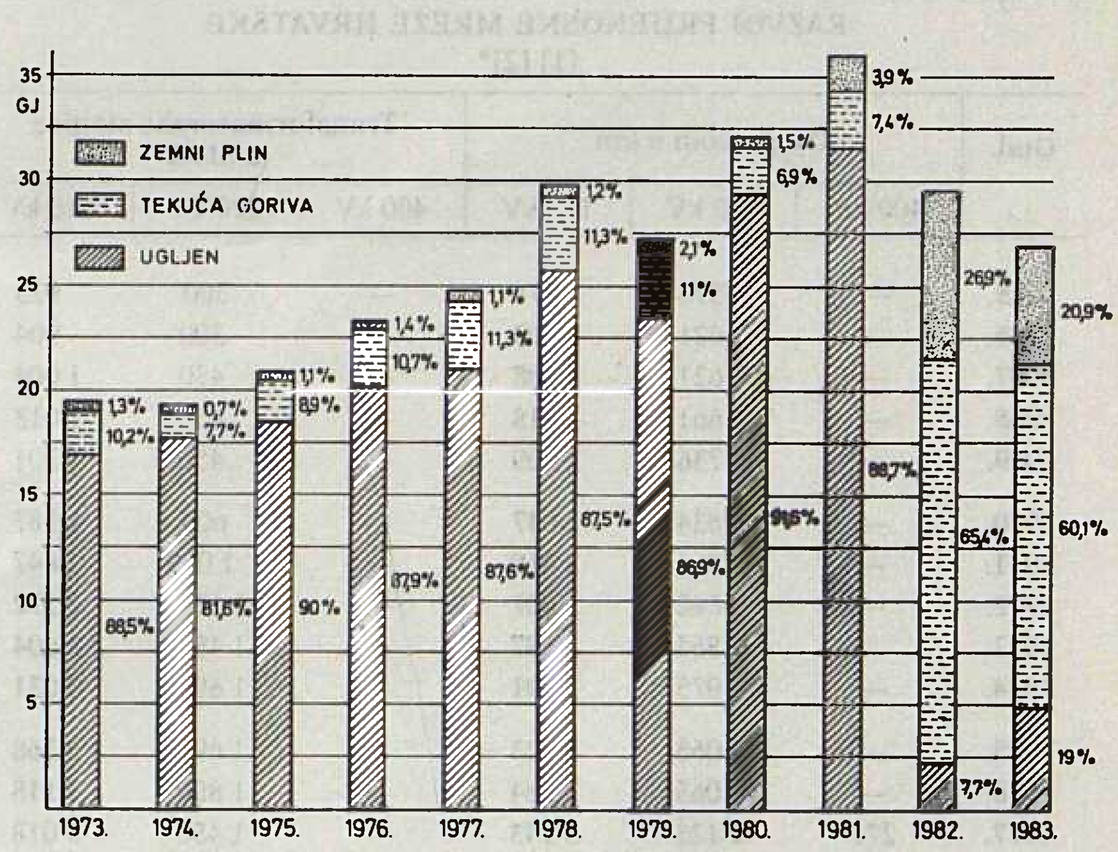
Tablica 23

POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA JUGOSLAVIJE
[4]

	Kameni	Mrki	Lignit	Ukupno ugljen		Tekuća goriva		Industrijski plin		Ukupno energija	Spec. potr. prag
	tis t	tis t	tis t	tis t	TJ	tis t	TJ	min Nm³	TJ	TJ	kJ/kWh
1970.	192,2	2580,3	9048,5	11821,0	106 757	203,4	8 421	68,6	2 191	117 369	13 553
1971.	250,8	2781,3	11889,3	14921,6	134 160	284,0	11 655	49,6	1 811	147 626	13 712
1972.	197,5	254,6	13308,8	16046,1	147 593	274,0	11 311	66,1	2 681	160 187	13 578
1973.	311,4	3070,9	15559,2	18941,5	185 499	482,6	19 843	64,6	2 619	207 960	12 967
1974.	281,5	3040,0	15910,2	19231,6	174 168	394,2	14 748	62,1	2 491	191 407	12 578
1975.	284,7	3251,6	17333,4	20869,7	189 866	454,5	18 689	58,1	2 326	210 881	12 582
1976.	364,5	3388,2	19246,4	22999,2	210 409	636,1	25 750	85,7	3 469	239 629	12 783
1977.	344,0	3248,5	20119,2	23915,9	217 163	692,1	28 136	64,1	2 495	247 795	12 557
1978.	338,0	3222,7	22897,3	26458,0	230 850	769,7	31 087	90,1	3 436	265 378	12 657
1979.	370,2	4121,3	21211,1	25678,9	234 839	736,8	29 775	150,6	5 625	270 239	12 423
1980.	252,0	3979,0	28666,0	32897,0	294 348	552,6	22 324	141,1	4 836	321 508	12 430
1981.	300,0	3376,0	33830,0	37506,0	322 806	666,2	26 913	409,3	14 028	363 747	12 350
1982.	157,2	4526,0	29162,0	33845,1	295 167	644,5	26 044	461,1	15 024	336 235	12 021
1983.	. . .	. . .	. . .	43503,0	. . .	669,2	. . .	487,7	. . .	456 959	11 893



Sl. 11. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana Jugoslavije



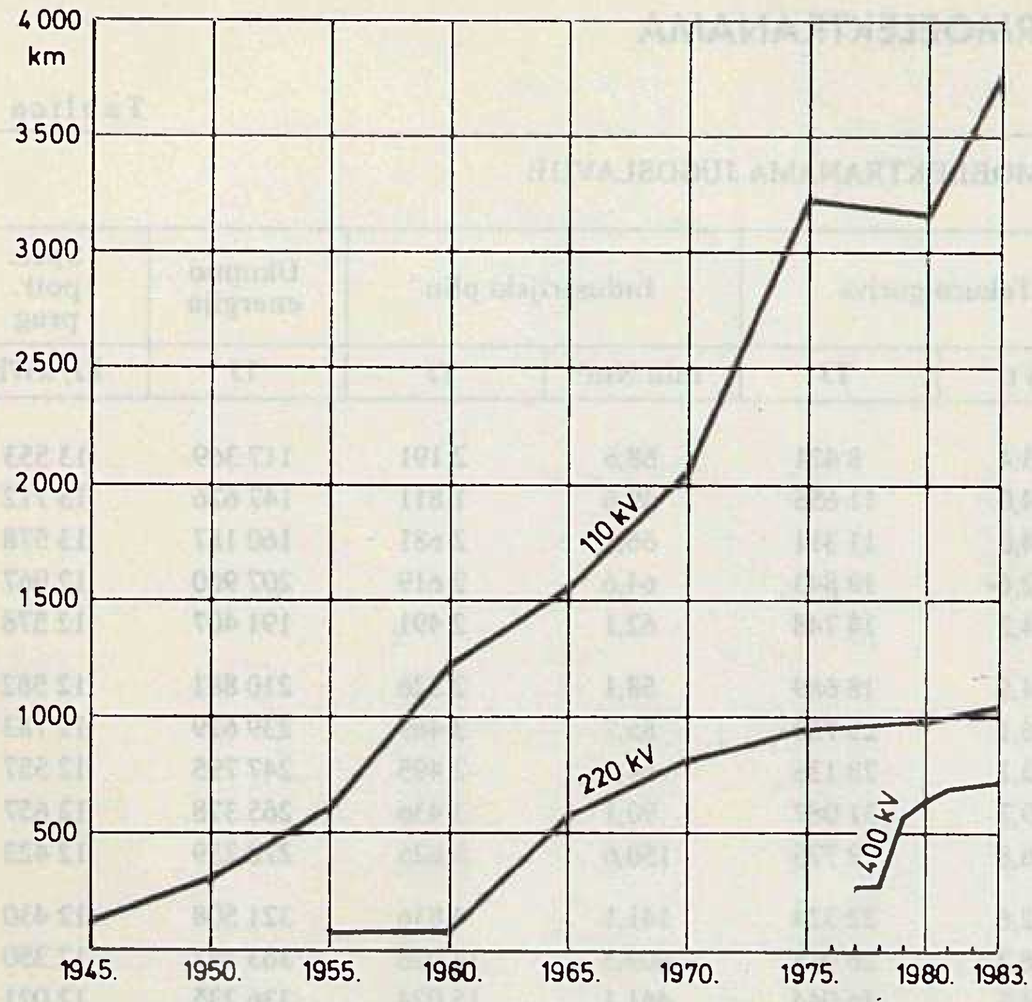
Sl. 12. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana SR Hrvatske

Tablica 24

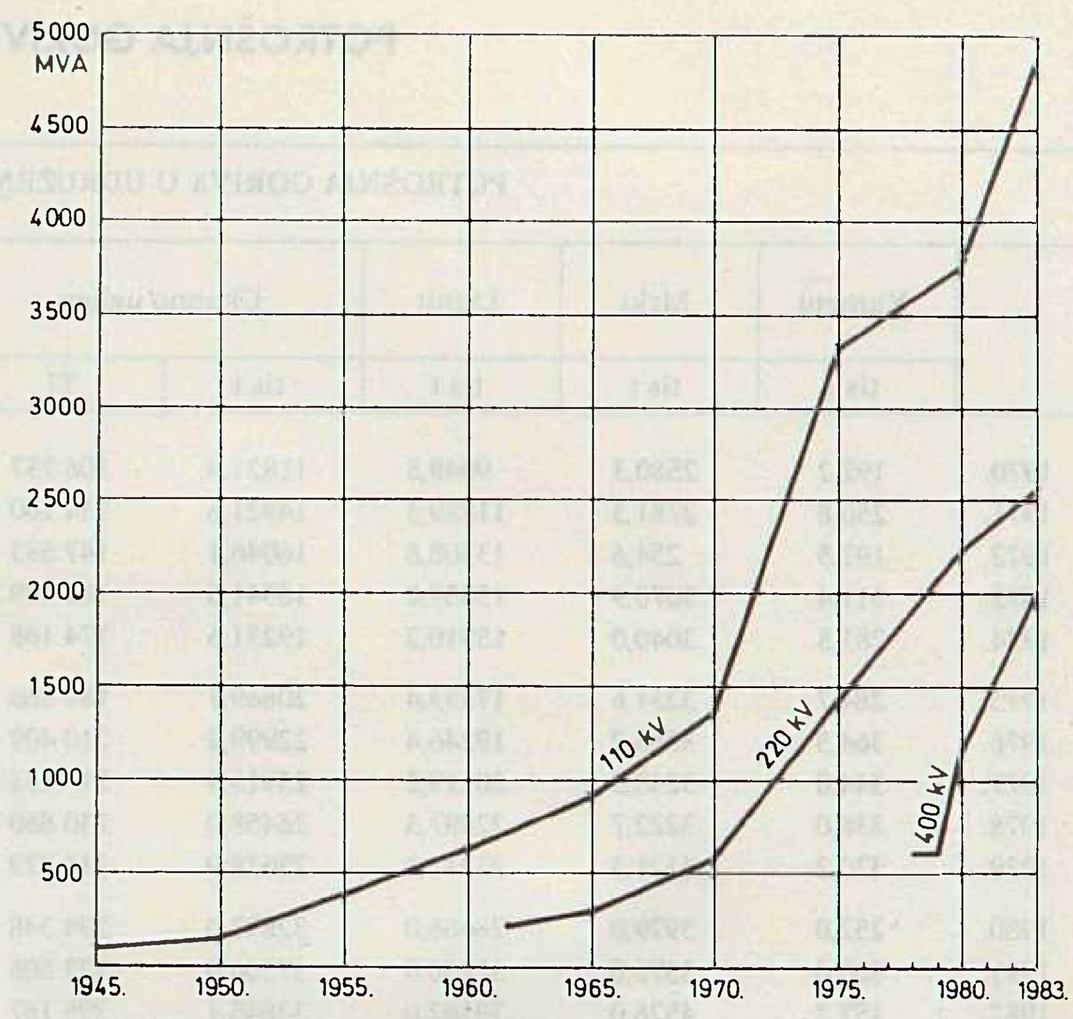
POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA HRVATSKE
[2]

	Kameni	Mrki	Lignit	Ukupno ugljen		Tekuća goriva		Zemni plin		Ukupno energija	Spec. potr. prag
	tis t	tis t	tis t	tis t	TJ	tis t	TJ	min Nm³	TJ	TJ	kJ/kWh
1970.	91,5	—	76,0	167,5	2 930	96,6	3 837	52,5	2 124	8,891	13 700
1971.	199,8	—	79,9	279,8	5 573	220,6	9 005	43,8	1 777	16 356	12 469
1972.	169,5	—	7,0	245,6	4 793	220,9	9 044	66,1	2 681	16 517	11 899
1973.	254,2	—	104,2	358,4	7 043	407,6	16 628	64,6	2 619	26 289	11 933
1974.	125,5	—	26,0	178,4	3 920	326,0	11 830	62,1	2 491	18 242	10 287
1975.	259,1	—	—	259,1	6 293	337,3	13 751	58,1	2 396	22 371	12 402
1976.	268,7	—	—	268,7	6 526	510,3	20 745	85,7	3 469	30 741	10 593
1977.	267,5	—	—	267,5	6 487	569,0	22 925	64,1	2 495	31 907	10 610
1978.	207,5	—	—	267,5	6 487	577,6	23 201	90,1	3 436	31 703	10 740
1979.	175,8	—	—	175,8	4 259	573,4	23 081	144,4	5 366	32 706	12 423
1980.	204,9	—	—	204,9	4 947	395,6	15 924	149,6	5 169	26 040	10 834
1981.	258,3	—	—	258,3	5 537	478,5	19 261	278,7	9 630	34 428	10 495
1982.	106,2	—	—	106,2	2 578	481,9	19 419	261,4	7 999	29 996	10 056
1983.	254,5	—	—	254,5	6 123	400,9	16 155	155,6	4 761	27 039	10 657

Napomena: Gorivo samo za proizvodnju električne energije



Sl. 13. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Hrvatske



Sl. 14. Instalirana snaga transformatora u elektroprivredi Hrvatske

Tablica 25

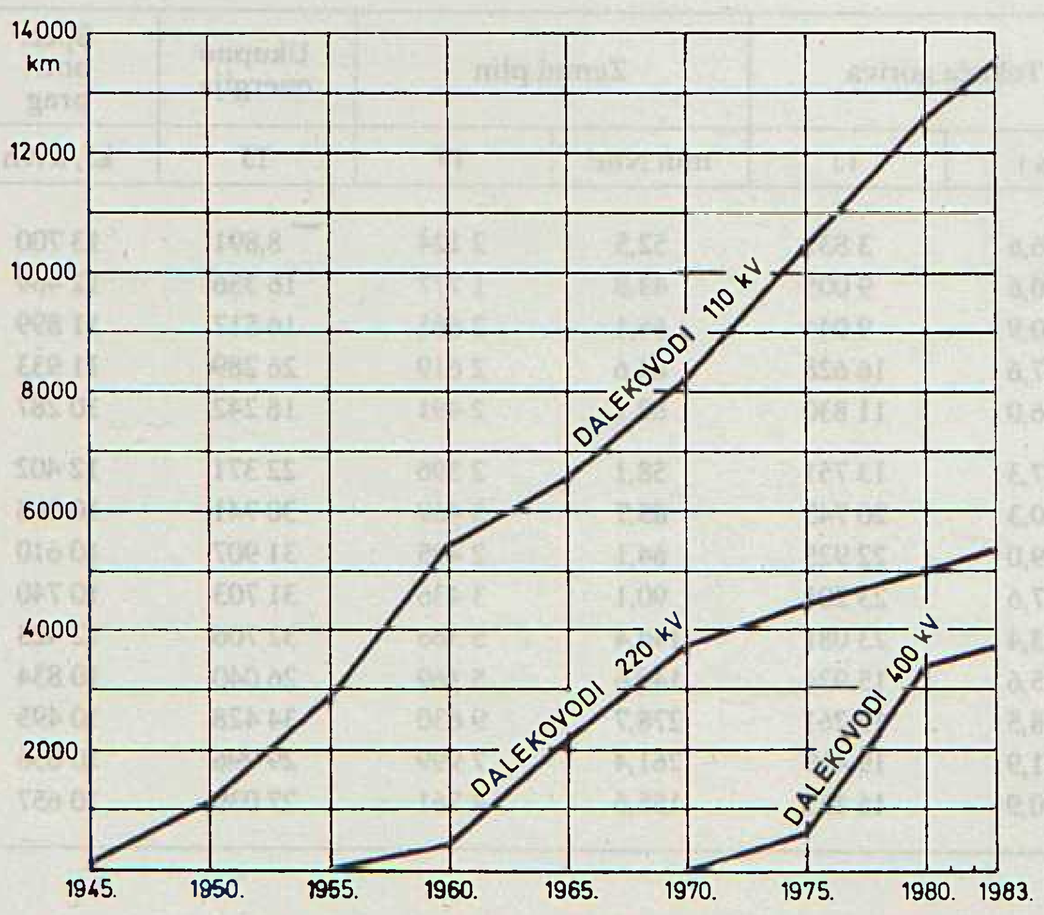
RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE HRVATSKE
[1] [2]*

God.	Dalekovodi u km			Transformatorske stanice u MVA		
	400 kV	220 kV	110 kV	400 kV	220 kV	110 kV
1965.	—	578	1 574	—	300	923
1966.	—	621	1 603	—	300	904
1967.	—	621	1 708	—	450	1 004
1968.	—	661	1 818	—	450	1 013
1969.	—	736	2 009	—	450	1 301
1970.	—	834	2 047	—	600	1 387
1971.	—	866	2 410	—	1 000	1 847
1972.	—	892	2 607	—	1 150	2 272
1973.	—	864	2 587	—	1 450	2 604
1974.	—	975	2 791	—	1 690	3 031
1975.	—	1 065	3 223	—	1 699	3 368
1976.	—	1 065	3 384	—	1 800	3 118
1977.	271	1 125	3 143	—	1 450	3 018
1978.	389	1 005	2 560	600	2 050	3 121
1979.*	612	996	3 049	900	2 350	3 217
1980.	612	1 019	3 152	1 200	2 100	3 672
1981.	732	1 967	3 309	1 200	2 250	4 119
1982.	733	1 020	3 347	2 000	2 550	4 148
1983.	733	1 139	3 566	2 000	2 550	4 638

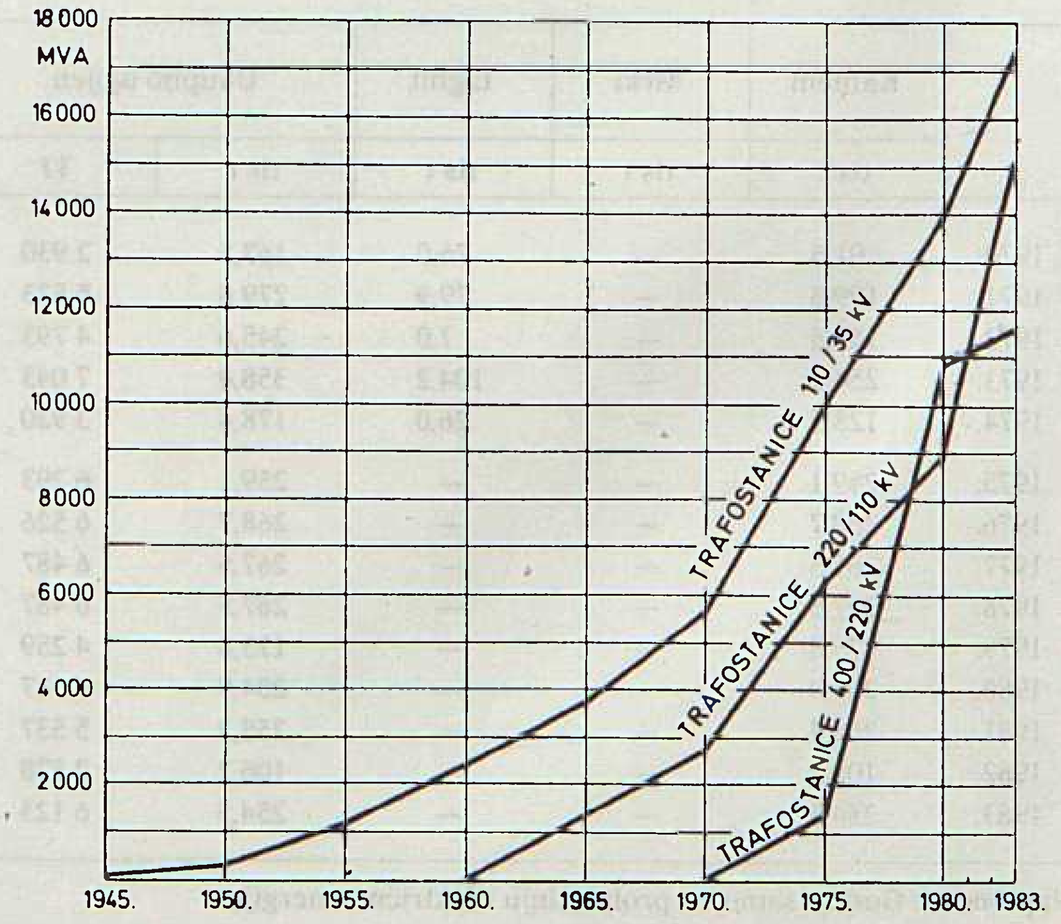
Tablica 26

RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE JUGOSLAVIJE
[4]

God.	Dalekovodi u km			Transformatorske stanice u MVA		
	400 kV	220 kV	110 kV	400 kV	220 kV	110 kV
1965.	—	2 290	6 550	—	1 300	3 691
1966.	—	2 418	6 783	—	1 600	3 798
1967.	—	2 693	7 173	—	1 900	4 120
1968.	—	3 151	7 560	—	2 350	4 390
1969.	—	3 366	8 039	—	2 500	5 095
1970.	203	3 691	8 291	800	2 800	5 683
1971.	286	3 969	8 899	1 100	4 550	7 715
1972.	372	4 255	9 899	1 100	4 900	8 263
1973.	471	4 336	9 879	1 100	5 450	8 684
1974.	471	4 338	10 360	1 100	5 750	9 803
1975.	569	4 553	10 650	1 500	6 200	10 029
1976.	1 396	4 553	10 898	1 800	6 500	10 534
1977.	2 167	4 637	10 034	6 800	7 350	10 720
1978.	2 818	4 831	10 918	8 400	7 800	10 933
1979.	3 092	4 881	11 131	8 700	7 800	11 376
1980.	3 384	5 014	12 968	10 600	9 531	14 744
1981.	3 384	5 165	13 183	11 800	10 638	17 551
1982.	3 468	5 165	13 530	12 400	11 488	18 087
1983.	3 631	5 377	13 807	15 500	11 540	17 372



Sl. 15. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Jugoslavije



Sl. 16. Instalirana snaga transformatora u elektroprivredi Jugoslavije

ELEKTRIFIKACIJA HRVATSKE

Tablica 27

STANJE ELEKTRIFICIRANOSTI NASELJA I DOMAĆINSTAVA U SR HRVATSKOJ NA DAN 31. XII 1983. [1]

Područje Poduzeća	Površina km²	Naselja				Domaćinstva				
		Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano broj	Elektrificiranost %	Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano: u elektrificiranim naseljima broj	Neelektrificirano: u neelektrificiranim naseljima broj	Elektrificiranost %
Elektroslavonija, Osijek	10.121	739	734	5	99	249.141	242.893	6.229	19	97
Elektrolika, Gosipć	5.563	252	249	3	99	30.333	29.501	722	110	97
Elektroistra, Pula	2.820	634	634	—	100	77.851	77.844	7	—	100
Elektroprimorje, Rijeka	4.260	657	651	6	99	129.188	128.437	430	321	99
Elektrodalmacija, Split	12.043	874	868	6	99	240.135	239.322	742	71	99
Elektra, Karlovac	4.224	819	818	1	100	75.246	75.095	131	20	100
Elektra, Sisak	2.302	379	379	1	100	60.338	58.857	1.421	60	97
Elektra, Zagreb	14.203	2.415	2.391	24	99	626.916	622.024	3.719	1.173	99
SR HRVATSKA	56.536	6.769	6.723	46	99	1,489.148	1,473.973	13.401	1.774	99

ZAPOSLENO OSOBLJE U ELEKTROPRIVREDI

Tablica 28

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI I DISTRIBUCIJI JUGOSLAVIJE [4]

Osoblje	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.
Radnici	11 416	10 775	9 556	11 508	12 554	11 617	12 334	12 773	13 133	14 789	. . .
Tehničko osoblje	2 801	4 787	6 623	6 536	7 416	6 720	7 029	7 226	7 583	8 382	. . .
Ostalo stručno osoblje	2.032	—	—	—	—	—	—	. . .	. . .		
Učenici u privredi	265	8	22	—	—	—	—	. . .	. . .		
Ukupno	16 514	15 562	16 201	10 044	19 970	18 337	19 363	19 999	20 716	23 171	. . .

Prosječan broj radnika na bazi kalkuliranih radnih sati.

Tablica 29

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI, DISTRIBUCIJI I PODUZEĆIMA U IZGRADNJI SR HRVATSKE [2]

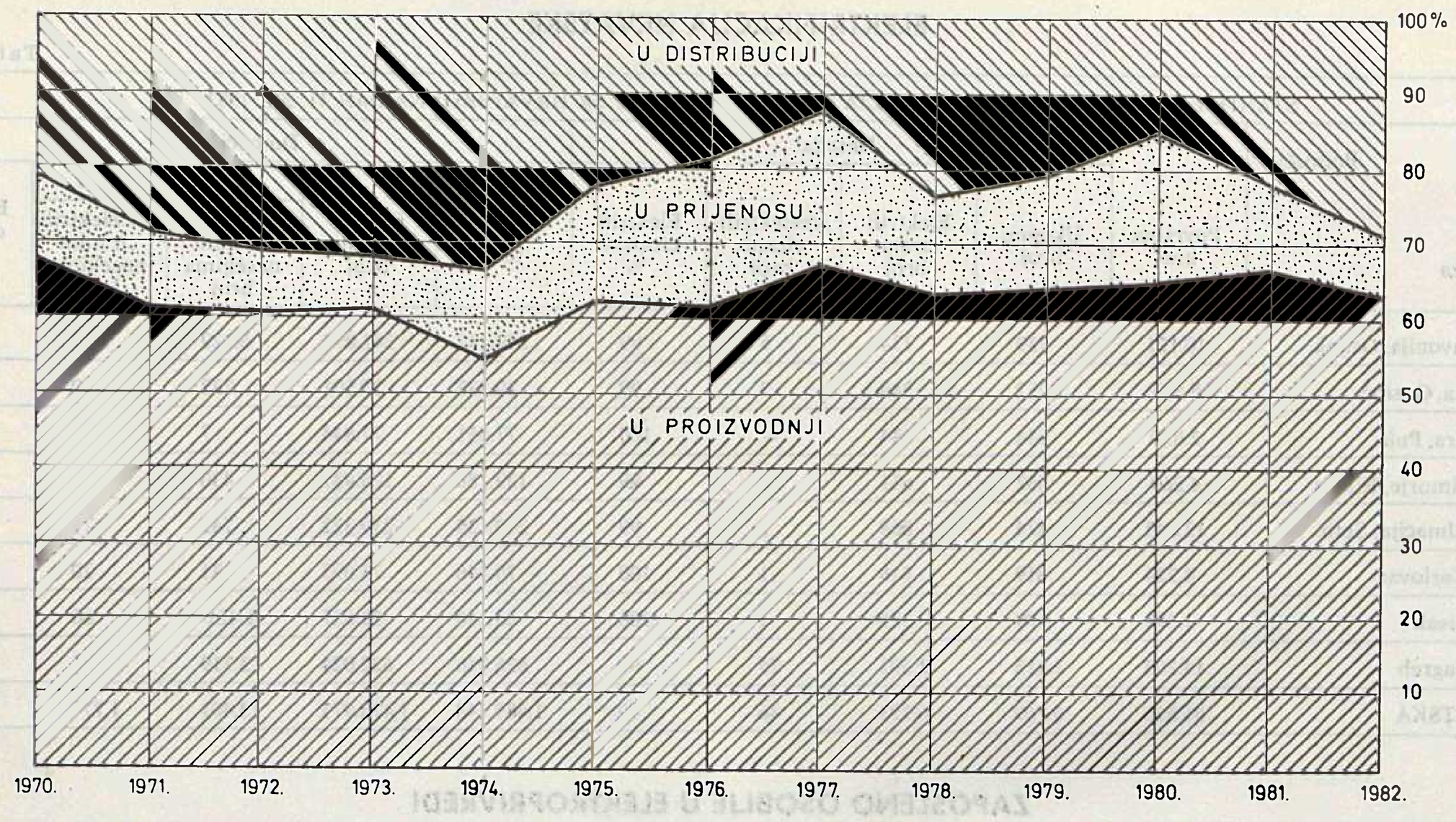
Osoblje	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.
Radnici, svega	7 687	7 681	7 437	7 349	7 156	7 256	7 912	7 908	7 540	7 580	7 475
Tehničko osoblje, svega	1 052	1 032	1 130	1 296	1 453	1 589	1 709	1 840	3 094	2 294	2 280
Ostalo osoblje, svega	2 415	2 162	2 942	3 826	4 470	4 742	4 580	5 148	5 041	6 087	6 363
Pomoćno osoblje, svega	845	830	800	773	832	1 067	1 068	1 049	1 005	987	998
Učenici u privredi, svega	204	211	—	—	—	—	—	—	59	35	(26)
Ukupno	12 203	11 906	2 309	13 244	13 911	16 654	15.262	15 945	16 739	16 983	17 116

Podaci za proizvodno-prenosne i distributivne organizacije prema SAS-PR obrascima za 1977. god.

Tablica 30

SFRJ — RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE SA SUSJEDNIM ZEMLJAMA u GWh [4]

Godina	Italija	Austrija	Mađarska	Rumunjska	Bugarska	Grčka	Albanija	Ostali	UKUPNO
Uvoz									
1978.	368	62	8	6	17	11	62	108	642
1979.	200	113	71	25	1	22	630	26	1 088
1980.	59	90	116	16	—	19	997	7	1 304
1981.	326	192	41	95	34	72	1 640	38	2 457
1982.	1 321	351	1 198	92	29	20	1 143	215	3 199
1983.		61		147	28	25	553		2 681
Izvoz									
1978.	435	7	8	265	106	66	—	406	1 293
1979.	697	42	1	097	80	109	—	126	1 952
1980.	671	138	100	237	127	428	—	12	1 713
1981.	496	178	47	111	2	240	—	—	1 073
1982.	394	446	78	15	3	226	—	88	1 243
1983.	38	8	151	250	616	548	—	15	1 627



Sl. 17. Investiciona ulaganja u elektroprivredu Jugoslavije

Sl. 18. Razmjena električne energije sa susjednim zemljama

Tablica 31

IZVOZ I UVOZ ELEKTRIČNE ENERGIJE U NEKIM ZEMLJAMA EVROPE U 1981. GODINI
u GWh [4]

Zemlja uvoznica / Zemlja izvoznica	Austrija	Belgija	Bugarska	Čehoslovačka	Danska	Finska	Francuska	DR Njemačka	SR Njemačka	Grčka	Mađarska	Italija	Holandija	Norveška	Poljska	Rumunjska	Španjolska	Švedska	Švicarska	Vel. Britanija	SSSR	Jugoslavija	Ostale zemlje	Ukupan izvoz
Austrija	●			403					5162		254	917										414		7186
Belgija		●					2750		21				168										1052	3391
Bugarska			●													27						71	972	1070
Čehoslovačka	910			●				3442			699				124	127					133			5308
Danska					●				1985									204						2189
Finska						●												499						499
Francuska		1233					●		2017			3009					2519							14062
DR Njemačka				146				●	65						2296									2507
SR Njemačka	1161	1124			92		2800		●				165										2340	11098
Grčka										●												89		89
Mađarska	407			2170							●					20					11	59		2667
Italija	53						70					●										360		1139
Holandija		3347							369				●											3716
Norveška						9								●				2812						2821
Poljska				3422				715							●						5			4142
Rumunjska			36								37					●					98	11		184
Španjolska							1100										●						3268	4368
Švedska					4246	1012								919				●						6177
Švicarska	113						4180		11831			7005							●				89	23218
Vel. Britanija																				●				
SSSR			4457	1526		1749					9588				1764	280					●		646	20010
Jugoslavija	217		2							255	47	671				226						●		1418
Ostale zemlje										143							11						●	154
Ukupan uvoz	2861	5704	4497	7667	4338	2770	10900	4160	21927	398	10625	11602	333	919	4184	553	2668	3515	9392	—	247	1004	8210	118631

LITERATURA

1. Godišnjak elektroprivrede Hrvatske
2. Statistički pregled elektroprivrede Hrvatske
3. Statistički godišnjak SR Hrvatske
4. Statistički godišnjak elektroprivrede SFRJ
5. Statistički godišnjak SFRJ
6. Statističke publikacije UN-a

Tablica 32

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NEKIM ZEMLJAMA EVROPE I SAD
u GWh [6]

Zemlja	Godina	Neto proizvodnja	Saldo razmjene		Ukupno raspoloživa energija za potrošnju	Od toga			Potrošnja			Spec. potrošnja kWh
			uvoz	izvoz		utrošeno za pumpanje vode	gubici prenosa i distrib.	ukupna potrošnja	industrija	promet	ostalo	stanov.
Austrija	1975.	34 137	2 420	6 962	29 595	388	2 360	26 847	11 895	1 745	13 207	3 570
	1980.	40 784	3 164	7 136	36 812	522	2 628	33 662	14 171	2 277	17 214	4 482
	1981.	42 106	2 861	7 441	37 526	795	2 649	34 082	14 245	2 558	17 579	3 638
Belgija	1975.	39 020	4 215	5 067	38 168	335	2 194	35 619	20 331	928	14 460	3 638
	1980.	51 015	6 285	8 920	47 647		2 714	44 933	24 062	965	19 906	4 562
	1981.	48 180	5 704	5 264	48 620	926	2 786	44 980	23 652	1 003	20 253	
Bugarska	1975.	22 266	3 902	279	25 889	—	2 387	23 502	14 305	806	8 391	2 695
	1980.	—	4 698	866	38 667	—	3 454	35 213	17 502	1 111	16 600	3 934
	1981.	...	4 497	1 094	40 375	—	3 695	36 680	...	...	...	
Čehoslovačka	1975.	52 969	5 419	1 208	57 181	287	4 388	52 506	31 717	3 000	17 789	3 557
	1980.	65 551	7 228	5 388	67 391	661	5 288	64 442	36 070	3 374	21 998	4 013
	1981.	66 084	7 673	5 512	68 245	664	5 145	62 436	...	3 485	...	
Francuska	1975.	178 400	8 800	6 200	181 000	300	12 000	168 700	85 350	7 299	76 051	3 188
	1980.	245 700	15 400	12 200	249 000	1 000	17 200	230 834	116 150	7 700	106 950	4 316
	1981.	264 000	10 900	15 700	259 200	1 200	17 100	240 900	116 294	7 700	116 906	
Mađarska	1975.	18 680	5 802		—	—	1 970	20 834	11 275	1 184	8 375	1 977
	1980.	21 911	10 181	2 795	29 297	—	2 699	26 548	13 572	1 384	11 642	2 483
	1981.	22 231	10 625	2 649	30 215	—	2 802	27 413	13 812	1 438	12 163	
Grčka	1975.	15 151	108	97	15 162	—	1 148	14 010	7 897	48	6 067	1 561
	1980.	21 288	654	38	21 904	—	1 626	20 278		149	—	2 148
	1981.	21 879	398	89	22 188	—	1 677	20 511	9 626	156	10 729	
Italija	1975.	140 785	5 080	2 540	143 361	2 220	12 000	129 132	76 450	3 850	48 832	2 512
	1980.	177 362	8 072	1 989	183 475	3 225	16 605	163 645	97 073	5 343	61 229	—
	1981.	173 497	11 602	1 970	183 129	3 888	16 443	162 798	94 002	5 155	63 641	
Holandija	1975.	51 924	53	312	51 665		2 421	49 244	23 159	...	...	3 608
	1980.	61 970	511	818	61 663	...	2 809	58 853	28 006	978	29 869	4 165
	1981.	61 180	333	453	61 060	—	2 775	58 285	27 656	1 013	29 616	
Norveška	1975.	76 927	99	5 695	71 103	...	6 449	64 694	39 498	532	24 664	...
	1980.	83 989	2 038	2 491	83 536	495	...	...	...	...	...	
	1981.	...	1 425	7 143	87 552	...	...	...	...	...	...	...
Poljska	1975.	90 361	2 411	2 924	89 848	550	8 586	80 712	47 569	4 037	29 106	2 372
	1980.	113 372	4 161	4 396	113 137	1 246	12 202	99 689	55 123	4 950	39 616	2 802
	1981.	106 974	4 184	4 227	106 931	1 181	10 544	95 151	50 454	4 488	40 209	
Rumunjska	1975.	50 214	502	3 007	48 019	—	4 059	43 723	32 161	1 206	10 356	2 058
	1980.	63 029	472	49	63 552		4 025	58 952	...	2 107	...	
	1981.	65 532	553	701	65 384	—	3 892	60 979	...	2 160	...	
Španjolska	1975.	78 399	92	1 405	77 786	540	8 160	69 141	44 741	1 549	22 851	...
	1980.	105 212	2 306	3 188	103 830	1 850	9 965	92 006	63 944	1 912	36 150	2 458
	1981.	105 325	2 668	4 116	103 877	1 760	8 921	93 196	53 437	1 928	37 831	
Švedska	1975.	78 584	6 313	5 369	79 528	22	7 524	71 981	38 718	2 040	31 223	8 778
	1980.	94 111	3 359	2 834	94 636	541	8 212	85 883	41 038	2 262	42 583	10 322
	1981.	100 656	3 513	6 161	98 009	647	8 477	88 889	41 354	2 261	45 274	
SSSR	1975.	...	11 300	—	1 027 324	...	82 200	945 100	656 800	74 200	214 100	3 718
	1980.		19 000									
	1981.	...	...	20 000	...	...	108 000	...	...	...	...	4 896
V. Britanija	1975.	254 097	196	121	254 172	1 430	19 595	233 147	85 160	2 897	145 090	4 166
	1980.	266 312	22	19	266 315	1 453	21 534	243 328	87 300	3 040		
	1981.	259 939	—	—	259 959	1 196	20 123	238 620	83 985	3 022	151 630	4 354
SAD	1975.	2 000 918	11 268	5 083	1 007 103	...	176 092	1 798 343	...	...	...	...
	1980.	2 286 439										
	1981.	2 294 812										
DR Njemačka	1975.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	1980.	...	...	...	...	...						
	1981.	...										
SR Njemačka	1975.	282 598	17 630	9 791	33 267	—	3 753	29 517	131 716	8 857	133 247	4 429
	1980.											
	1981.	347 262	21 927	14 028	355 161	2 486	15 167	337 507	154 107	10 765	172 636	...
Jugoslavija	1975.	38 143	676	433	38 386	—	4 445	33 961	18 235	761	14 965	1 591
	1980.	56 278	1 713	1 304	56 687	70	4 858	51 759	29 478	894	21 387	
	1981.	57 208	2 450	1 073	58 585	818	4 467	54 933	31 521	1 126	22 286	...

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

Tablica 33

PROIZVODNJA UGLJENA, NAFTE I PLINA U SFRJ
u tis. tona i mln* m³ [5]

Godina	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Ugljen ukupno	Koks ukupno	Zemni* plin	Sirova nafta	Benzin ukupno	Petrolej ukupno	Plinsko ulje	Loživo ulje	Ukapljeni plin ukupno	Derivati ukupno
1970.	643	8 989	18 790	28 422	1 309	977	2 854	1 233	163	2 092	2 509	120	7 091
1971.	707	9 333	20 862	30 902	1 197	1 151	2 961	1 472	215	2 065	2 930	133	8 586
1972.	599	9 184	21 157	30 940	1 299	1 242	3 200	1 394	211	2 495	2 989	234	8 391
1973.	576	9 145	22 729	32 451	1 318	1 329	3 332	1 528	251	2 558	3 480	238	9 056
1974.	601	9 380	24 444	33 583	1 315	1 447	3 458	1 627	315	2 725	4 317	256	10 428
1975.	598	9 430	25 509	35 537	1 351	1 554	3 692	1 745	331	2 817	4 276	279	10 859
1976.	587	9 110	27 147	36 845	1 786	1 730	3 880	1 923	325	2 969	4 800	295	11 723
1977.	511	8 960	29 611	39 082	1 765	1 897	3 951	2 231	345	3 450	5 818	319	13 847
1978.	471	8 855	30 360	39 686	1 921	1 935	4 076	2 380	315	3 471	6 119	310	14 220
1979.	434	9 351	33 165	42 950	2 070	1 857	4 143	2 609	350	3 916	6 489	250	15 863
1980.	388	9 665	36 949	47 002	3 228	1 913	4 229	2 580	335	3 323	4 980	295	14 156
1981.	384	10 581	40 958	51 924	2 694	2 247	4 365	2 367	344	3 073	4 108	307	14 986
1982.	389	10 744	43 454	54 585	2 779	2 286	4 340	2 589	278	3 293	5 404	414	12 865
1983.	392	11 303	47 697	59 392	3 440	2 090	4 125	2 497	...	3 466	5 436	...	...

Tablica 34

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA U JUGOSLAVENSKOJ INDUSTRIJI
[5]

Godina	Elektro-energija	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Zemni plin	Ukapljeni plin
	GWh	u tisućama tona							mln m³	u tis. t
1971.	15 287	132	1 454	2 200	6 496	15 253	678	2 237	1 039	...
1972.	17 002	161	1 681	2 130	6 346	16 661	646	2 549	1 111	121
1973.	18 184	179	1 718	2 253	6 935	18 711	845	3 038	1 199	123
1974.	20 509	179	1 858	2 152	6 726	19 244	825	3 227	1 300	126
1975.	21 466	176	1 793	2 224	6 697	21 240	906	3 444	1 500	139
1976.	22 381	155	1 692	2 819	7 129	22 390	867	3 766	1 454	150
1977.	23 493	102	430	189	2 429	1 680	522	3 414	1 563	218
1978.	25 536	177	328	380	6 314	26 454	668	4 493	1 750	221
1979.	26 576	80	225	498	6 593	27 659	799	4 550	1 669	190
1980.	28 680	93	250	413	6 873	31 666	725	4 454	2 119	353
1981.	30 722	90	298	445	7 784	36 309	810	4 379	3 004	176
Ukupno 1982.	31 105	64,2	258	252	8 184	36 805	834	4 215	2 847	195
Elektroprivreda	4 579	–	–	15,7	6 840	35 759	213	1 26	858	0,0
Proizvodnja uglja	766	–	–	0,5	46,0	42,0	29,0	–	–	–
Prerada uglja	141	–	–	–	–	144	–	–	–	–
Proizvodnja nafte i gasa	63,6	–	–	–	–	–	0,2	–	271	–
Proizvodnja derivata nafte	374	–	14,3	–	–	–	68,6	167	69,9	1,1
Proizvodnja rude gvožđa	48,5	–	–	–	1,9	–	7,6	10,9	–	–
Crna metalurgija	4 722	4,9	30,9	19,8	19,8	122	6,5	373	252	2,9
Proizvodnja ruda obojenih metala	856	–	0,0	–	0,0	3,8	40,6	0,9	0,0	–
Proizvodnja obojenih metala	4 165	14,9	93,9	0,3	354	19,6	12,8	162	253	3,4
Prerada obojenih metala	425	–	–	–	0,3	0,1	3,3	12,4	2,9	2,1
Proizvodnja nemetala	150	–	0,3	0,1	1,7	1,5	16,1	4,0	1,4	1,7
Prerada nemetala	655	–	28,1	0,2	19,3	47,6	49,0	140	208	113
Metalopreradivačka delatnost	1 591	0,8	27,5	2,0	18,1	34,6	52,6	38,4	69,9	25,7
Mašinogradnja	375	–	0,5	2,4	5,6	17,3	13,4	10,8	13,9	2,7
Proizvodnja saobraćajnih sredstava	468	–	1,1	1,3	8,7	16,3	14,6	26,5	9,8	4,3
Brodogradnja	92,0	–	0,2	0,0	0,4	0,3	3,2	1,2	–	0,0
Proizv. električnih mašina i aparata	629	–	0,9	1,2	3,4	2,3	10,9	25,2	7,9	5,0
Proizvodnja hemijskih proizvoda	2 522	–	1,8	0,3	100	37,8	7,2	159	89,4	3,1
Prerada hemijskih proizvoda	444	–	0,2	0,0	8,5	7,1	20,2	34,4	26,9	0,1
Proizvodnja kamena i peska	214	–	–	–	2,5	24,3	25,7	7,4	0,2	0,8
Proizvodnja građevinskog materijala	1 664	43,4	28,7	56,4	198	185	61,2	819	458	14,5
Proizvodnja rezane građe i ploča	475	–	–	–	40,1	27,2	11,0	48,6	11,5	–
Proizv. finalnih proizvoda od drveta	541	–	–	–	14,9	7,9	9,1	19,8	3,9	0,3
Proizvodnja i prerada papira	1 529	–	–	0,4	57,4	35,8	3,7	. 90,6	50,8	0,1
Proizv. tekstilnih prediva i tkanina	1 122	–	–	0,4	161	89,8	10,8	135	23,9	0,8
Proizv. gotovih tekstilnih proizvoda	378	0,2	–	2,7	23,9	12,4	17,2	68,4	18,0	0,2
Proizvodnja kože i krzna	80,8	–	–	–	28,2	23,0	1,1	32,5	2,0	–
Proizvodnja kožne obuće i galanterije	93,2	–	–	0,8	3,1	1,1	2,1	5,1	0,5	0,0
Prerada kaučuka	255	–	–	0,0	10,0	8,0	1,2	43,4	15,5	0,1
Proizvodnja prehrambenih proizvoda	1 183	–	28,9	3,9	191	131	89,1	383	103	12,6
Proizvodnja pića	217	–	0,4 –	2,0	14,2	3,8	17,9	115	16,8	0,1
Proizvodnja stočne hrane	86,0	–	–	–	4,4	–	8,2	1,2	4,3	–
Proizvodnja i prerada duvana	52,5	–	–	0,4	2,2	0,2	4,5	11,1	3,2	–
Grafička delatnost	124	–	–	0,0	4,3	0,4	2,2	5,5	1,5	0,4
Proizvodnja raznovrsnih proizvoda	24,8	–		–	1,1	0,0	0,7	2,8	0,6	–

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

[3]

Tablica 35

PROIZVODNJA UGLJENA, KOKSA, NAFTE, I PLINA U SR HRVATSKOJ u tis. tona i mln* m³ [3]

Godina	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Ugljen ukupno	Koks ukupno	Zemni* plin	Sirova nafta	Benzin ukupno	Petrolej ukupno	Plinsko ulje	Loživo ulje	Ukapljeni plin ukupno	Derivati ukupno
1970.	363	81	274	718	–	476	2 057	826	122	1 327	1 093	93	4 026
1971.	422	21	197	640	–	547	2 142	991	158	1 617	1 513	123	5 055
1972.	382	19	176	577	–	569	2 362	914	145	1 543	1 590	135	4 923
1973.	385	3	137	524	–	612	2 423	1 023	164	1 681	1 890	140	5 422
1974.	374	0	85	460	–	674	2 470	1 087	211	1 698	2 399	162	6 248
1975.	355	–	59	414	–	751	2 670	1 119	208	1 918	2 248	179	6 498
1976.	356	–	8	364	–	911	2 814	1 222	221	2 035	2 505	193	7 041
1977.	299	–	–	299	–	1 009	2 829	1 405	231	2 234	3 140	207	8 398
1978.	288	–	–	288	259	943	2 931	1 480	202	2 294	3 328	205	8 760
1979.	265	–	–	265	700	806	2 972	1 514	247	2 484	3 406	186	9 058
1980.	242	–	–	242	830	983	3 056	1 350	218	2 464	2 802	145	8 589
1981.	258	–	–	258	866	1 169	3 141	1 248	206	2 330	2 386	214	7 560
1982.	247	–	–	247	882	1 244	3 047	1 250	177	1 979	2 058	243	6 586
1983.	260	–	–	260	891	1188	2 860	995	128	1 775	1 720	209	5 814

Tablica 36

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA U INDUSTRIJSKIM PODUZEĆIMA I POGONIMA SR HRVATSKE

[3]

Godina	Elektro-energija	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Ukapljeni plin	Zemni plin
	GWh	u tisućama tona							tis. tona	mln m³
1970.	2 661	81	194	157	669	396	246	634	443	10,3
1971.	2 846	74	195	255	666	371	270	783	492	12,9
1972.	3 068	66	195	218	609	328	303	844	521	13,9
1973.	3 148	65	210	302	601	324	422	1 058	531	16,5
1974.	4 114	65	252	202	591	197	440	1 014	589	16,9
1975.	4 681	55	225	302	548	152	332*	1 078	632	17,5*
1976.[2]	4 708	49	234	323*	490	130	314	1 234	724	20,0*
1977.[2]	4 968	44	251	313	404	90	87	1 676	850	39,5
1978.	5 309	39	262	607	378	92	102	1 710	961	45,0
1979.	5 444	25	241	1 101	344	81	249	1 605	838	40
1980.	5 846	24	253	1 294	369	71	182	1 583	1 077	30
1981.	6 019	26	284	1 407	408	77	121	1 583	743	1 363[2]
1982[2]	5 695	27	257	1 280	397	76	99	1 517	743	1 381[4]
Elektroprivreda	454	–	–	106	170	–	1	808	158	420
Proizvodnja ugljena	53	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Prerada ugljena	24	–	–	1 138	–	–	–	–	139	–
Proizvodnja nafte i zemnog plina	53	–	–	–	–	–	1	–	–	268
Proizvodnja naftenih derivata	214	–	14	–	–	–	–	147	229	4
Crna metalurgija	454	–	190	–	11	–	5	47	165	46
Proizvodnja ruda obojenih metala	1	–	–	–	–	–	1	–	–	–
Proizvodnja obojenih metala	1 236	–	–	–	–	–	–	4	1	–
Prerada obojenih metala	69	–	–	–	–	–	–	1	1	–
Proizvodnja nemetalnih minerala	7	–	–	–	–	–	1	3	–	1
Prerada nemetalnih minerala	149	–	7	–	–	8	6	6	26	74
Metalopreradivačka djelatnost	220	–	38 –	–	1	4	11	3	6	19
Strojogradnja	77	–	–	–	–	1	4	2	3	2
Proizvodnja prometnih sredstava	26	–	–	–	–	–	1	1	1	3
Brodogradnja	74	–		–	–	–	2	1	1	–
Proizvodnja el. strojeva i aparata	85	–	–	–	1	2	2	2	2	4
Proizvodnja kemijskih proizvoda	560	–	–	–	–	1	–	56	2	299
Prerada kemijskih proizvoda	132	–	–	–	1	1	5	4	–	10
Proizvodnja kamena, šljunka i pijeska	54	–	–	–	1	1	10	1	–	–
Proizvodnja građevnog materijala	532	27	–	35	35	5	6	296	–	153
Proizvodnja rezane građe i ploča	66	–	–	–	–	–	1	3	–	6
Proizvodnja finalnih proizv. od drveta	130	–	–	–	1	3	3	4	–	2
Proizvodnja i prerada papira	232	–	–	–	57	–	–	6	–	2
Proizvodnja prediva i tkanina	247	–	–	–	8	–	2	15	–	13
Proizv. gotovih tekstilnih proizvoda	66	–	–	–	3	1	3	12	–	5
Proizvodnja kože i krzna	10	–	–	–	3	–	–	2	–	2
Proizvodnja kožne obuće i galanterije	26	–	–	–	1	–	–	1	–	–
Prerada kaučuka	50	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Proizvodnja prehrambenih proizvoda	277	–	8	1	103	49	24	73	9	33
Proizvodnja pića	51	–	–	–	–	–	8	17	–	10
Proizvodnja stočne hrane	25	–	–	–	–	–	2	–	–	–
Proizvodnja i prerada duhana	8	–	–	–	–	–	–	–	–	3
Grafička djelatnost	27	–	–	–	1	–	–	–	–	1
Proizvodnja raznovrsnih proizvoda	6	–	–	–	–	–	–	2	–	1

1) Uključene su i količine goriva koje su korištene za tehnološke svrhe.
2) Uključene bivše neindustrijske organizacije i zajednice koje su prema Jedinstvenoj kvalifikaciji djelatnosti prešle u područje industrije i rudarstva.
3) Od 1980. god. u toj grupi pored potrošnje tekućih plinova prikazuje se i potrošnja ostalih plinova.
4) Isključena potrošnja zemnog plina u degazolinaži.

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

Količine u 10^6 tona uvjetnog ugljena i u kg po jednom stanovniku [6]

Zemlja	Godina	Proizvodnja					Potrošnja					
		ukupna energija	ugljen	sirova nafta	prirodni plin	hidro i nuklearna el. energija	ukupno	čvrsta goriva	tekuća goriva	prirodni plin	hidro i nuklearna el. energ.	po 1 stanovniku
Austrija	1973	11,1	1,8	3,7	3,1	3,6	29,2	5,8	16,0	5,3	2,2	3 880
	1980	9,4	1,3	2,1	2,4	3,6	31,2	5,2	16,7	6,3	3,1	4 160
	1981	9,1	1,4	1,9	2,0	3,8	30,2	5,4	14,0	7,6	3,2	4 020
Belgija	1973	9,0	8,8		0,1	0,1	60,4	16,5	32,6	11,4	0	6 199
	1980	7,5	5,8		0,1	1,6	59,5	15,7	28,9	13,5	1,3	6 037
	1981	7,4	5,6	...	0,0	1,7	52,5	15,0	22,7	13,0	1,8	5 329
Bugarska	1973	14,4	13,6	0,3	0,3	0,3	35,1	19,1	15,1	0,3	0,71,7	4 075
	1980	16,9	15,2	0,4	0,1	1,2	50,3	22,1	19,7	6,9	2,0	5 678
	1981	16,9	14,7	0,4	0,2	1,6	47,7	21,0	19,2	5,5		5 261
Čehoslovačka	1973	62,5	60,8	0,3	1,1	0,3	83,2	60,4	18,3	3,7	0,8	5 716
	1980	66,7	64,8	0,1	0,7	1,1	99,3	64,4	24,0	9,6	1,3	6 482
	1981	65,4	63,3	0,1	0,8	1,3	98,1	62,8	22,4	11,3	1,5	6 403
Francuska	1973	48,6	27,8	3,1	10,0	7,7	210,6	44,2	140,9	18,8	7,1	4 073
	1980	50,2	20,8	3,4	10,0	16,1	233,7	50,5	133,3	33,4	16,5	4 351
	1981	58,0	22,1	3,6	9,4	22,9	220,3	45,9	117,3	34,7	22,3	4 081
Mađarska	1973	20,1	11,4	3,1	5,6	0	31,7	14,6	10,7	5,8	0,6	3 036
	1980	21,3	10,4	4,0	6,9	0	41,2	13,8	14,4	12,0	1,0	3 850
	1981	22,1	10,1	4,0	7,9	0	40,8	13,3	13,8	12,7	1,0	3 809
Grčka	1973	2,9	2,6		...	0,3	15,0	3,2	11,5		0,3	1 681
	1980	4,8	4,3			0,5	20,5	4,9	15,1		0,5	2 137
	1981	5,7	5,0	0,3		0,4	19,5	5,1	13,9	...	0,5	2 013
Italija	1973	27,5	0,5	1,6	19,9	5,5	161,1	11,1	121,9	22,5	5,6	2 933
	1980	26,4	0,6	2,9	16,3	6,6	189,3	15,7	131,7	34,5	7,4	3 318
	1981	27,6	0,7	2,3	18,3	6,3	187,3	17,2	126,2	36,4	7,5	3 273
Nizozemska	1973	89,3	1,7	2,7	85,2	0,1	78,0	3,8	29,0	45,1	0	5 801
	1980	87,0	0	2,3	95,2	0,5	87,4	5,4	34,4	47,1	0,5	6 183
	1981	103,3	0	11,9	90,9	0,5	80,5	5,5	39,2	35,3	0,5	5 562
Norveška	1973	11,7	0,4	2,3	9,0	19,6	19,6	1,2	10,1		8,3	4 955
	1980	83,9	0,3	35,5	37,8	10,3	26,3	1,4	12,7	2,0	10,2	6 434
	1981	82,0	0,3	34,2	36,1	11,4	24,4	1,2	11,2	1,2	10,8	5 950
Poljska	1973	175,9	168,4	0,6	6,9	0,2	150,4	128,2	13,6	8,5	0	4 508
	1980	211,9	204,2	0,5	6,9	0,3	198,9	165,4	20,8	12,4	0,3	5 590
	1981	150,0	142,7	0,5	6,4	0,4	161,8	129,8	19,6	12,1	0,4	4 507
Rumunjska	1973	74,8	13,0	21,4	39,5	0,9	74,1	16,9	17,5	39,2	0,5	3 558
	1980	86,9	17,0	17,5	50,9	1,5	102,3	23,0	25,2	52,6	1,4	4 593
	1981	89,0	17,7	17,6	52,1	1,6	99,3	23,8	20,0	53,9	1,5	4 420
Španjolska	1973	15,6	9,8	1,3	0	4,4	65,4	13,6	46,1	1,5	4,2	1 876
	1980	24,7	17,9	2,4	0	4,5	94,7	23,6	64,1	2,7	4,3	2 530
	1981	22,8	17,0	1,8	0	4,0	90,3	23,9	59,7	2,7	4,0	2 397
Švedska	1973	7,6	0			7,6	46,8	2,2	36,9		7,7	5 748
	1980	10,3	0	0		10,3	43,8	2,3	31,3		10,2	5 269
	1981	12,1	0	0	...	12,1	42,9	2,0	29,2	...	11,7	5 156
SSSR	1973	1 396,5	474,8	624,5	280,4	16,8	1 154,0	461,0	393,3	283,9	15,8	4 621
	1980	1 939,1	515,5	878,3	515,8	29,5	1 485,7	500,4	505,3	452,4	27,6	5 595
	1981	2 001,3	531,4	887,0	551,5	31,3	1 553,9	509,1	514,7	483,2	28,9	5 738
V. Britanija	1973	161,1	118,1	0,6	38,4	4,0	294,2	116,9	133,8	39,5	4,0	5 261
	1980	275,8	108,5	116,9	45,2	5,2	270,2	104,2	101,3	59,5	5,2	4 835
	1981	288,5	106,3	130,1	46,9	5,3	259,1	98,9	92,7	62,2	5,3	4 641
S. A. D.	1973	2 104,7	512,5	749,1	798,8	44,4	2 418,5	467,5	1 087,2	817,7	46,1	11 491
	1980	2 090,3	618,5	695,5	710,7	65,7	2 369,7	551,6	1 003,9	745,2	69,0	10 410
	1981	2 087,8	614,8	693,0	713,5	66,5	2 344,8	545,4		734,5	70,6	10 204
DR Njemačka	1973	78,8	75,4	0,1	3,1	0,2	106,2	84,8	16,3	4,1	0,4	6,253
	1980	83,8	78,1	0,1	4,1	1,5	124,0	87,1	23,7	11,6	1,6	7,408
	1981	86,6	80,9	0,1	4,0	1,7	124,0	87,8	22,9	11,4	1,9	7,409
SR Njemačka	1973	170,3	133,3	9,7	24,0	3,4	352,4	121,4	183,4	42,9	4,6	5 686
	1980	159,9	124,3	6,7	21,6	7,4	352,5	114,9	158,2	71,3	8,1	5 727
	1981	165,7	127,3	6,5	23,2	8,9	346,2	119,0	151,1	66,3	9,8	5 614
Jugoslavija	1973	23,1	14,2	4,9	2,1	2,0	33,8	16,2	13,5	2,1	2,0	1 611
	1980	28,6	16,4	6,2	2,6	3,5	45,8	19,5	20,4	2,6	3,4	2 049
	1981	33,9	21,8	6,4	2,7	3,1	51,7	25,1	18,3	5,1	3,0	2 290
Razvijeni	1973	2 355,4	1 013,2	685,1	582.0	77,6	2 849,3	1 042,7	1 157,8	573,9	77,6	4 207
	1980	3 418,7	1 133,3	1 024,9	1 053,9	206,6	4 798,9	1 155,3	2 301,3	1 134,2	208,1	6 035
	1981	...										
Nerazvijeni	1973	1 068,4	75,2	949,5	34,7	9,1	339,1	78,8	217,9	33,3	9,1	238
	1980	2 820,5	130,2	2 422,6	219,7	48,0	1 003,7	153,3	644,2	159,6	46,6	459
	1981	...										
Svijet	1973	4 843,2	2 014,1	1 968,7	763,0	99,9	4 696,9	2 026,5	1 618,7	754,3	100,0	1 444
	1980	9 338,0	2 653,8	4 506,0	1 878,6	299,7	8 547,8	2 668,7	3 708,8	1 870,8	299,6	1 955
	1981	9 094,5	2 640,9	4 230,7	1 902,5	320,4	8 493,4	2 659,5	3 635,2	1 878,4	320,4	1 893

»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«

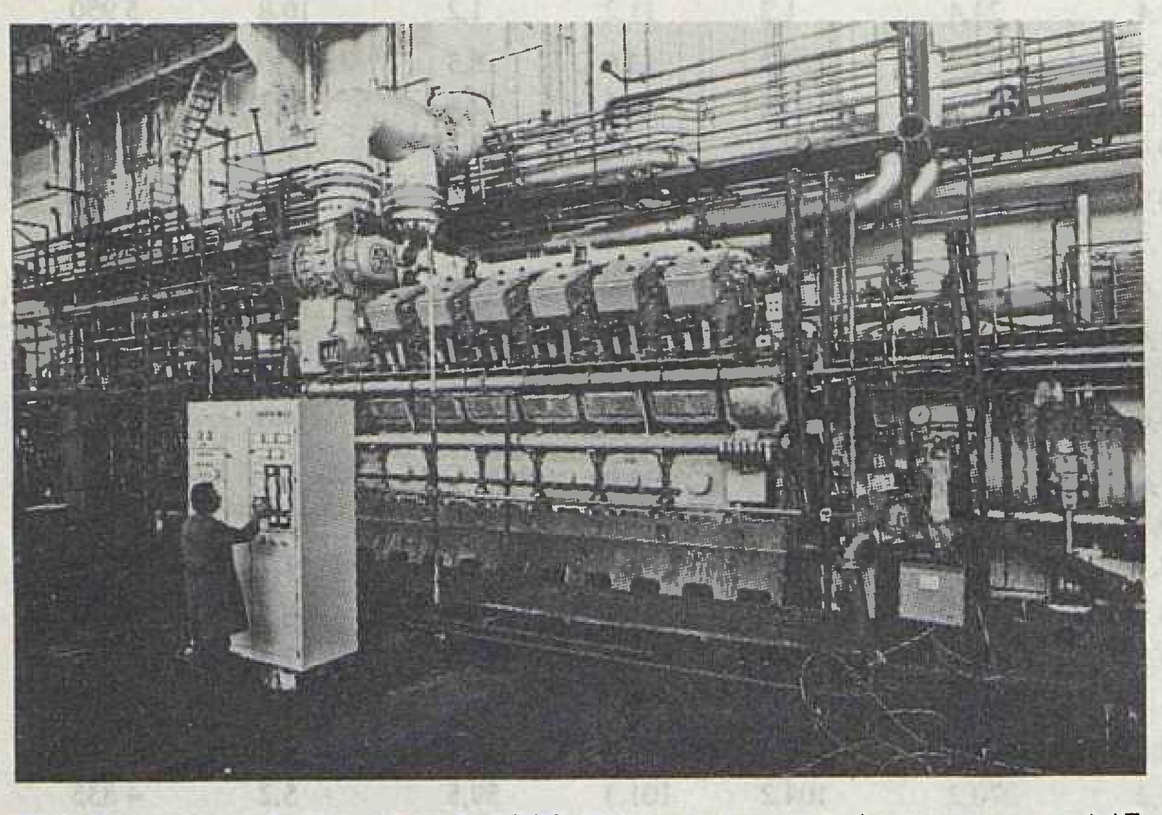
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.
47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2, Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745

DJELATNOSTI:

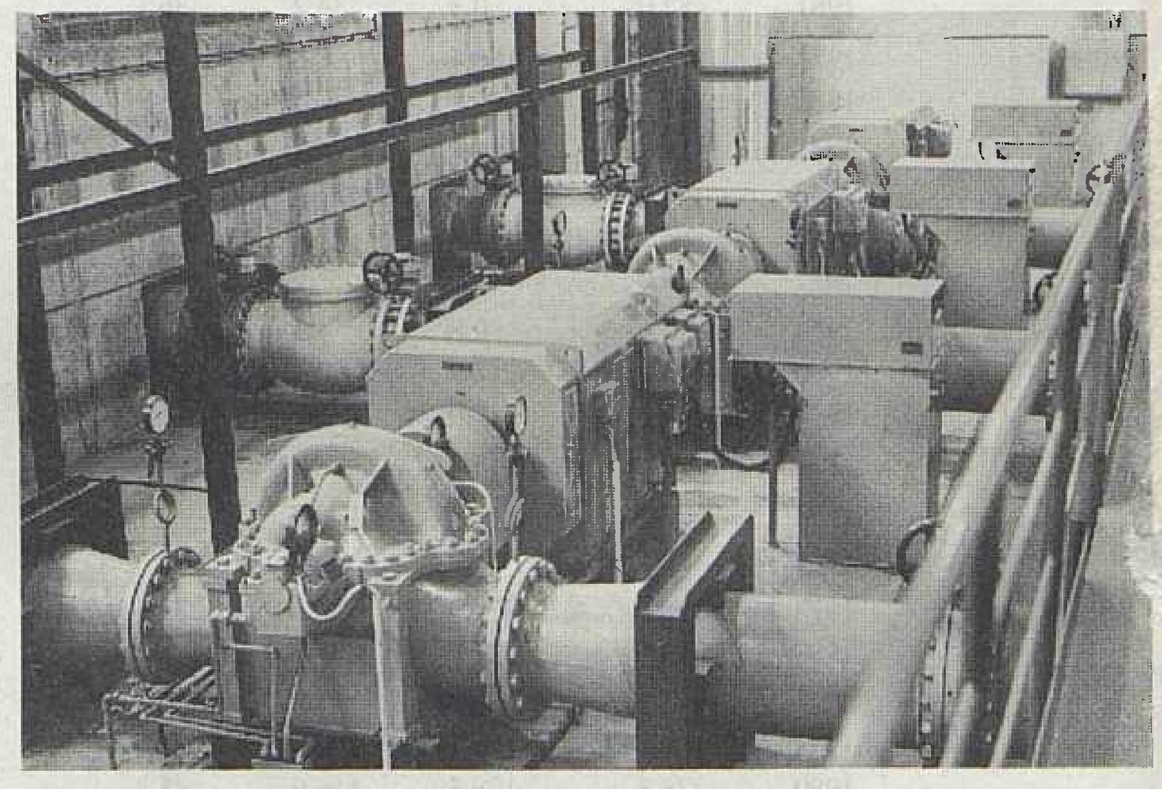
- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ – UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

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.