UDK 621.31 ENJAAC 44 (1 – 6) 1 – 310 ISSN 0013 - 7448

energija

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Zagreb, prosinac 1995.

SADRŽAJ ENERGIJE U 1995. GODINI

UDK 621.31 ENJAAC 44 (1) — (1995) 1—48 ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 44 (1995) Zagreb 1995 Br. 1

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

Redakcija završena 1994 — 02 — 13

SADRŽAJ

Fotografije na omotnoj strani

PANORAMA ŠIBENIKA (velika slika) i
PRVA HRVATSKA HIDROELEKTRANA »JARUGA I« (mala slika)

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 625-328 i 625-111/2328, telefax 533-692, 511-612

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn). Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro račun kod ZAP, Zagreb — Hrvatska elektroprivreda (za »Energiju«) broj 30101-604-495

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su: Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

TRANZICIJA U ENERGETSKOM SEKTORU HRVATSKE

dr. Goran Granić — mr. Damir Pešut — dr. Branka Jelavić — mr. Branko Vuk — Nada Jandrilović, Zagreb

UDK 620.9:621.31
PREGLEDNI ČLANAK

S prvim demokratskim izborima u Hrvatskoj, održanim sredinom 1990. godine, započete su promjene u političkom, zakonodavnom i gospodarskom životu Hrvatske. Od tada se može smatrati da se Hrvatska nalazi u tranzicijskom procesu. Tranzicijski proces dodatno je opterećen ratom u Hrvatskoj i u Bosni i Hercegovini, što usporava sve procese, a u određenoj mjeri opterećuje provođenje svih nužnih promjena u gospodarskim odnosima.
Analizirat će se i komentirati razvoj potrošnje energije u Hrvatskoj u tranzicijskom razdoblju. Analizirat će se i komentirati ekonomski odnosi i pokazatelji u energetskom sektoru, njihov utjecaj na potrošnju energije. Procijenit će se moguća dinamika razvoja Hrvatske i dinamika odvijanja tranzicijskih procesa u Hrvatskoj. Procijenit će se razvoj, okolnosti i odnosi u energetskom sektoru u Hrvatskoj do 2010. godine. Komentirat će se iskustva i očekivanja u tranzicijskom procesu u Hrvatskoj.

Ključne riječi: energetski sektor, tranzicija, potrošnja energije, politika cijena energije, društveni proizvod.

1. UVOD

Na odnose u energetskom sektoru Hrvatske utjecalo je i utječe nekoliko procesa, koji imaju izvorište u globalnim političkim i gospodarskim promjenama na području srednje i istočne Europe. Dinamika procesa i posljedica znatno je pojačana nametnutim ratom, razaranjem i okupacijom trećine teritorija Hrvatske.

U analizi okolnosti u razdoblju od 1989. do 1994. godine moguće je prepoznati nekoliko procesa koji su dulje ili kraće, snažnije ili manje snažno utjecali na odnose u energetskom sektoru Hrvatske:

- gospodarska kriza koja je zahvatila Hrvatsku (tada Jugoslaviju) u osamdesetim godinama,
- raspad Jugoslavije i raspad energetskog sektora Jugoslavije,
- raspad komunističkog sustava i demokratske promjene u zemljama srednje i istočne Europe, koje su u devedesetoj godini započete i u Hrvatskoj,
- promjene gospodarskog u tržišni sustav i započimanje procesa privatizacije,
- rat u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini.

Iako svi ti procesi čine današnju realnost Hrvatske, svaki od njih utječe i utjecat će na odnose u energetskom sektoru, na potrošnju energije, efikasnost investiranja, razvoj i na racionalnost gospodarenja energijom.

Za uspostavljanje stabilnog energetskog sustava Hrvatska treba ukloniti uzroke i riješiti posljedice svakog od prije spomenutih procesa.

Odgovor u konačnosti jest tržišno gospodarstvo, što znači: privatizacija gospodarstva i energetskog sektora u mogućoj mjeri, realni ekonomski odnosi u cijenama energenata, dobra zakonska regulativa, te kvalitetni tarifni sustav u energetskom sektoru.

2. POTROŠNJA ENERGIJE U RAZDOBLJU OD 1989. DO 1993. GODINE

Tijekom promatranog proteklog razdoblja smanjivala se ukupna potrošnja energije, svih oblika energije i bruto domoći proizvod. U ukupnoj potrošnji energije, odnosno u potrošnji svih oblika energije od 1991. godine nisu iskazani podaci o potrošnji na okupiranim područjima. Može se procijeniti da bi ta potrošnja iznosila manje od 5 posto. Jednako se odnosi i na ukupni domaći proizvod. U 1993. godini zaustavljeno je opadanje ukupno utrošene energije i ostvaren je porast od 3,2 posto u usporedbi s 1992. godinom, dok je ukupno utrošena električna energija na razini dostignutoj prethodne godine. Takva kretanja u 1993. godini, uz daljnje opadanje bruto domaćeg proizvoda (GDP) prouzročile su pogrošanje energetske intenzivnosti za 6,6 posto glede ukupne potrošnje energije i za 3,3 posto glede potrošnje električne energije u odnosu na prethodnu godinu.

Za ostvarenje ukupnog domaćeg proizvoda od milijun ECU 85 u Hrvatskoj je u 1993. godini utrošeno energije od 616 t ekvivalentne nafte. Ta potrošnja znatno je viša nego u razvijenim zapadnoeuropskim državama, ali je još uvijek niža od potrošnje u zemljama bivšeg istočnoeuropskog socijalističkog bloka.

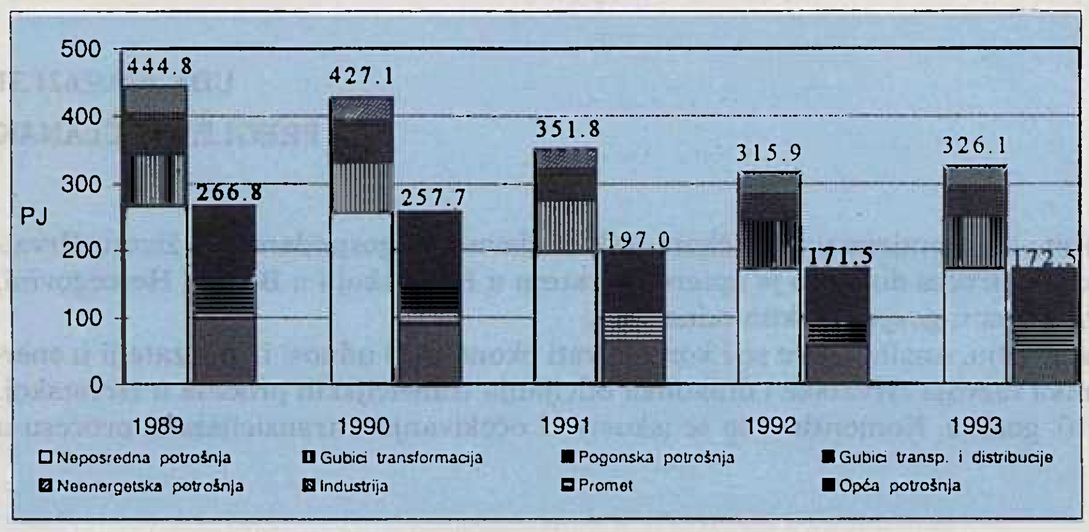
2.1. Struktura ukupno utrošene energije

Struktura ukupno potrošene energije u razdoblju od 1988. do 1993. godine prikazuje se tablicom 1, odnosno slikom 1.

Gubici energetskih transformacija su ukupno porasli za 2,1 posto. Do 1992. godine su se smanjivali, a u 1993. godini porasli za 6,6 posto. Udio pogonske potrošnje jednak je u 1989. i 1993. godini. Malo niži bio je u ostalim godinama.

Tablica 2.1. Struktura ukupno utrošene energije

	1989		1990		1991		1992		1993		1993/89
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	%
Ukupna potrošnja energije	444.78	100.0	427.14	100.0	351.78	100.0	315.94	100.0	326.14	100.0	73.3
Gubici transformacija	77.11	17.3	74.85	17.5	77.80	22.1	73.76	23.3	78.76	24.1	102.1
Pogonska potrošnja	50.40	11.3	54.26	12.7	37.23	10.6	30.81	9.8	36.83	11.3	73.1
Gubici transporta i distribucije	8.58	1.9	7.71	1.8	10.53	3.0	7.35	2.3	8.19	2.5	95.5
Neenergetska potrošnja	41.87	9.4	32.78	7.7	29.23	8.3	32.55	10.3	29.84	9.1	71.3
Neposredna potrošnja energije	266.82	60.0	257.74	60.3	196.99	56.0	171.47	54.3	172.52	52.9	64.7
- Industrija	98.47	36.9	88.93	34.5	65.37	33.2	54.24	31.6	49.99	29.0	50.8
- Promet	58.68	22.0	61.24	23.8	43.06	21.9	40.91	23.9	44.40	25.7	75.7
- Opća potrošnja	109.69	41.1	107.57	41.7	88.56	45.0	76.32	44.5	78.13	45.3	71.2



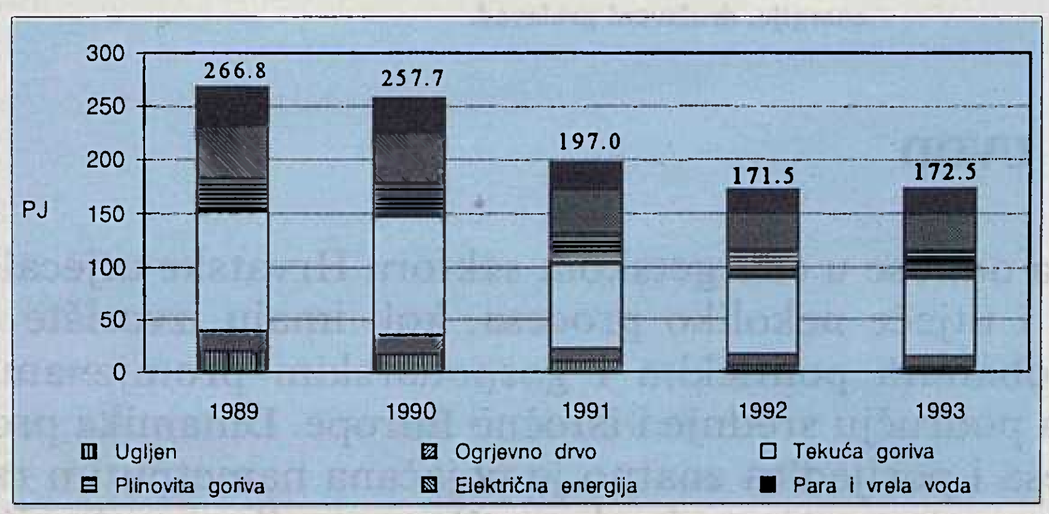
Slika 1. Struktura ukupno utrošene energije

Gubici transporta i distribucije energije povećali su se u 1993. godini za 11,5 posto prema prethodnoj godini i u ukupnoj potrošnji energije sudjeluju s 2,5 posto. Njihov udio u pojedinim godinama i prije se mijenjao u intervalu 2 – 3 posto, a iznos im se kretao od 7,4 do 10,5 PJ. Neenergetska potrošnja smanjena je u 1990. godini, a u ostalim je godinama oscilirala oko ostvarenja u 1990. godini. Udio u ukupnoj potrošnji i prije se mijenjao od blizu 8 do 10 posto.

Neposredna potrošnja energije u Hrvatskoj je nakon višegodišnjega kontinuiranog smanjenja u 1993. godini prvi put porasla sa skromnih 0,6 posto, odnosno malo više od 1 PJ. Budući da su ostale veličine koje sudjeluju u strukturi ukupne potrošnje energije ostvarile znatnije poraste, udio neposredne potrošnje energije u 1993. godini još je smanjen i iznosi 52,9 posto, dok je na početku razdoblja iznosio 60 posto. Ta veličina se još naziva i stupnjem djelovanja energetskog sustava, te je u 1993. godini postigla dosad svoju najnižu vrijednost.

U ostvarenom porastu neposredne potrošnje energije u 1993. godini za 0,6 posto, kretanja u pojedinim sektorima bila su bitno različita. Tako je nastavljen pad potrošnje energije u industriji za 7,8 posto prema prethodnoj godini. Odnosno, prosječna godišnja stopa za petogodišnje razdoblje iznosila je – 15,6 posto. Udio industrije smanjen je od 36,9 posto na 29 posto. Nasuprot smanjenju potrošnje energije u industriji, u prometu je u 1993. godini ostvaren visok porast od 8,5 posto prema prethodnoj godini, uz porast udjela na vrlo visokih 26 posto. Potrošnja energije u općoj potrošnji također je porasla u 1993. godini, ali taj je porast bio umjereniji i iznosio je 2,4 posto. Udio opće potrošnje zadržao se na razini dostignutoj u prethodne dvije godine, odnosno iznosi 45 posto i veći je od udjela u 1989. godini.

U priloženoj tablici 2, kao i na slici 2, daje se prikaz kretanja strukture energenata u neposrednoj potrošnji.



Slika 2. Struktura neposredne potrošnje

Potrošnja svih energenata u promatranom je razdoblju smanjena za 35,3 posto. Međutim, svi energenti nisu imali jednaku dinamiku smanjenja tijekom razdoblja. U 1993. godini smanjena je potrošnja krutih goriva i električne energije, a porast potrošnje ostvarila su tekuća goriva, plinovita goriva, te para i vrela voda. Najviše je smanjena potrošnja ugljena, za gotovo 17 posto prema prethodnoj godini i sada iznosi samo 22,5 posto od ostvarene potrošnje u 1989. godini. Udio ugljena kontinuirano se smanjuje i u 1993. godini ima vrijednost 2,6 posto. Za visok postotak smanjena je i potrošnja ogrjevnog drveta, pa je udio u neposrednoj potrošnji smanjen od 7,3 posto na dosada najnižih 5,8 posto.

Potrošnja električne energije u 1993. godini minimalno je smanjena — za 0,9 posto prema prethodnoj godini i najniža je dosada. Udio električne energije iznosi 19,5 posto i niži je nego u prethodne dvije godi-

Tablica 2.2. Struktura neposredne potrošnje energije

	1989		1990		1991		1992		1993		1993/92
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	%
Ugljen	19.74	7.4	16.68	6.5	9.46	4.8	5.36	3.1	4.45	2.6	22.6
Ogrjevno drvo	19.35	7.3	19.08	7.4	12.24	6.2	10.71	6.2	9.99	5.8	51.6
Tekuća goriva	112.35	42.1	111.49	43.3	80.93	41.1	73.40	42.8	74.51	43.2	66.3
Plinovita goriva	31.96	12.0	30.80	12.0	28.71	14.6	26.34	15.4	26.52	15.4	83.0
Električna energija	48.51	18.2	47.76	18.5	40.93	20.8	34.04	19.9	33.73	19.5	69.5
Para i vrela voda	34.91	13.1	31.93	12.4	24.72	12.5	21.62	12.6	23.32	13.5	66.8
UKUPNO	266.82	100.0	257.74	100.0	196.99	100.0	171.47	100.0	172.52	100.0	64.7

ne, ali je viši nego na početku analiziranoga razdoblja.
Najveći porast u 1993. godini ostvaren je u potrošnji pare i vrele vode, za 7,9 posto u odnosu na prethodnu godinu. Udio potrošnje pare i vrele vode najveći je u 1993. godini i iznosi 13,5 posto. Potrošnja tekućih i plinovitih goriva u razdoblju od 1990. godine manja je nego u 1989. godini. Nakon godina kontinuiranog smanjivanja, u 1993. godini potrošnja je porasla za 1,5, odnosno 0,7 posto. Udio prirodnog plina dosegao je razinu od 15,4 posto. S doista najvećim udjelom u neposrednoj potrošnji energije sudjeluju tekuća goriva, a on je u 1993. godini povećan i dostigao je najveću razinu ostvarenu 1990. godine.

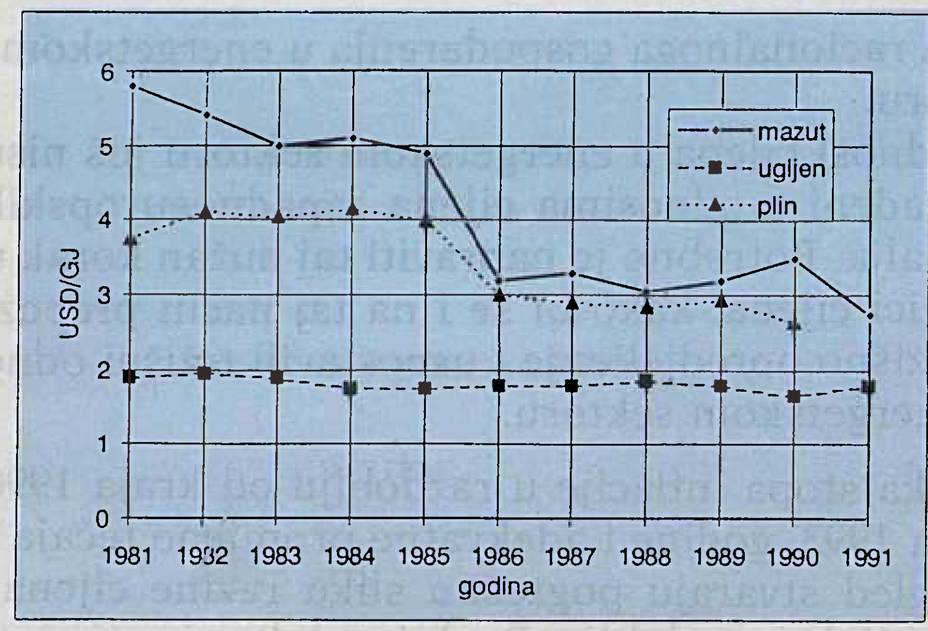
3. EKONOMSKI ODNOSI U ENERGETSKOM SEKTORU HRVATSKE

3.1. Organizacija energetskog sektora Hrvatske danas

Uz političke promjene u Hrvatskoj jednako su značajne i gospodarske kojima se iz nevlasničkog prelazi u sustav poznatog titulara vlasništva, a iz državno kontroliranog gospodarstva u tržišno. U prvom koraku vlasničkih i gospodarskih promjena ukupni energetski sektor pretvoren je iz društvenog u javni. U drugom koraku je učinjena transformacija u društvo kapitala u vlasništvu države.
Glavnina energetskog sektora Hrvatske organizirana je u dva poduzeća, kapitalno intenzivna. To su INA i HEP. INA 1990. godine postaje javno poduzeće u vlasništvu države. U svibnju 1993, na temelju zakona, INA postaje dioničko društvo u cjelokupnom vlasništvu države. HEP je sredinom 1990, Zakonom o elektroprivredi, konstituiran kao javno poduzeće u vlasništvu države. Izmjenom i dopunom Zakona o elektroprivredi (listopad 1994), HEP je postao dioničko društvo u kojem je za sada država jedini vlasnik. Prema odluci Vlade, u oba dionička društva otvorena je mogućnost dolaska novih vlasnika kupnjom dionica do 25 posto ukupne vrijednosti poduzeća. Država će, kao vlasnik, moći prodavati dionice tako da će o prodaji 25 posto dionica odluku donijeti Vlada, da bi o prodaji iznad tog iznosa bila potrebna suglasnost Sabora Republike Hrvatske.
Energetska poduzeća na razini jedinica lokalne samouprave, koja nisu obuhvaćena HEP-om i INOM prema novom zakonu bit će organizirana kao društvo kapitala s koncesijom, društvo kapitala u vlasništvu jedinice lokalne samouprave ili kao dio uprave jedinice samouprave. Postupak donošenja novog zakona je pokrenut.

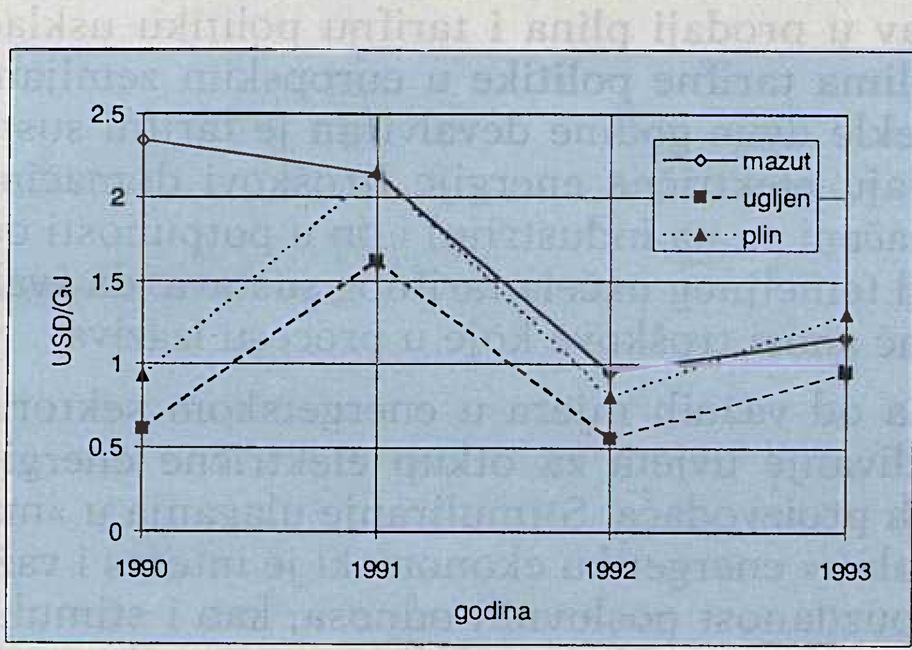
3.2 Politika cijena oblika energije

U razdoblju od 1980. do kraja listopada 1994. godine postojala su tri sustava utvrđivanja cijene svih oblika energije. Do demokratskih promjena, cijene svih oblika energije utvrđivale su se na saveznoj razini i savezna vlada SFRJ je bila jedino odgovorna za to područje, iako je postojala ustavna odgovornost republika. Prije kraja 1989. godine savezna vlada je znatno povećala cijenu svih oblika energije, a to je bila ekonomska mjera koju je tražio MMF. Posebno visok skok cijene energije odnosio se na električnu energiju.
S demokratskim promjenama, od sredine 1990. godine utvrđivanje cijene prelazi u nadležnost Vlade Republike Hrvatske. U tom razdoblju prevladavala je različita politika prema pojedinim oblicima energije. Za naftne proizvode cijena se korigirala u određenom okviru, ovisno o rastu cijena u Hrvatskoj, održavajući određenu razinu koja je manja nego u razvijenim zemljama, a veća nego u bivšim socijalističkim zemljama (sl. 3. i sl. 4.).



Slika 3. Godišnji prosjeci cijena energenata za proizvodnju električne energije u zemljama OECD — tekuće cijene

Izvor: ABB, Clean Coal in Advanced Power Generation, 1993.

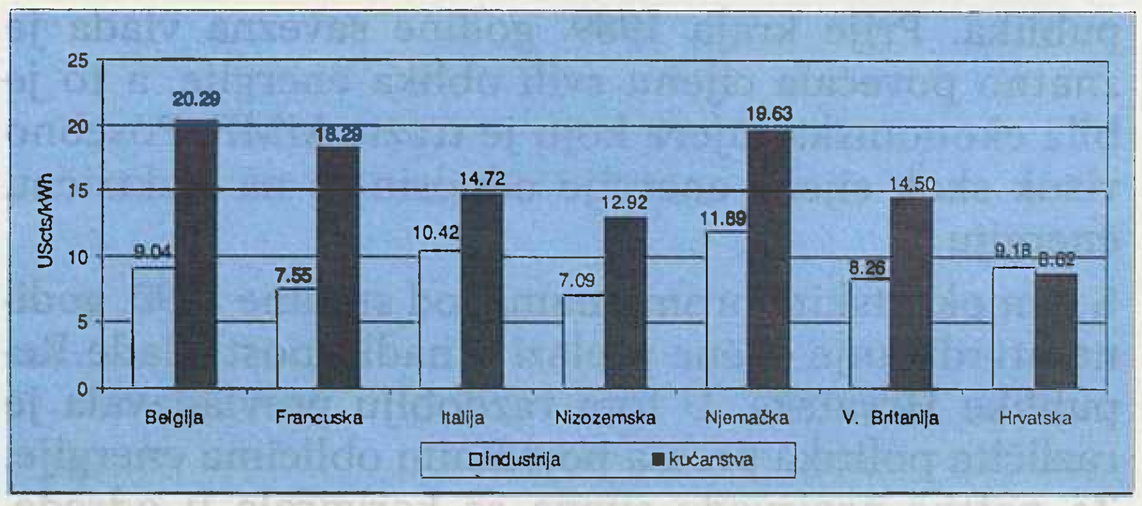


Slika 4. Godišnji prosjeci cijena energenata za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj — stalne cijene 1. 1. 1990.

Izvor: HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos

Kod cijene električne energije prevladavao je socijalni aspekt sve do sredine 1993. godine, kada je znatnije korigirana cijena električne energije i uvedena devizna klauzula. Tom odlukom započeta je reforma politike cijena u Hrvatskoj, i Hrvatska je zakoraknula prema tržišnom gospodarstvu u energetskom sektoru (sl. 3).
Kao ocjena razine cijena energenata krajem 1994. godine može se iznijeti sljedeće:

1. Razina cijena, iako relativno visoka, nije dosegla tržišnu razinu cijena u zapadnoeuropskim zemljama, što je jedan od preduvjeta započinjanja proce-



Slika 5. Cijene električne energije s uključenim porezom — stanje siječanj 1995. (USctsfkWh)

Izvor: International Electricity Prices, Issue 20, Electricity Association

sa racionalnoga gospodarenja u energetskom sektoru.

2. Odnosi cijena u energetskom sektoru još nisu usklađeni s odnosima cijena zapadnoeuropskih zemalja. Potrebno je napraviti taj nužan korak u politici cijena, kako bi se i na taj način prepoznalo tržišno opredjeljenje i uspostavili tržišni odnosi u energetskom sektoru.

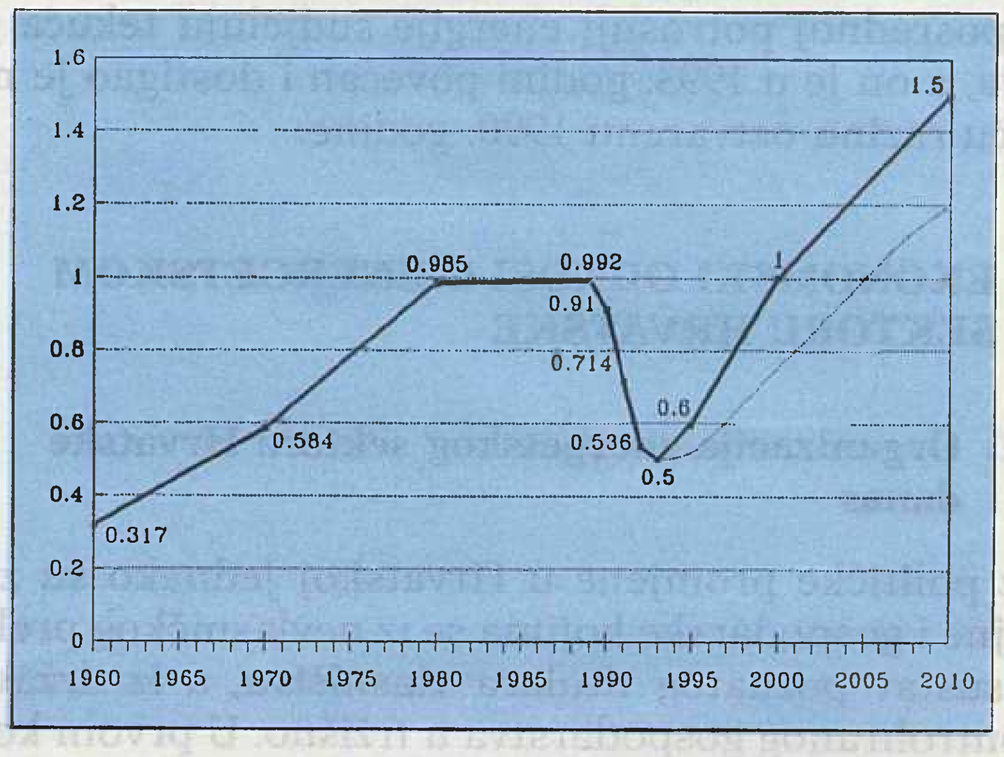
Visoka stopa inflacije u razdoblju od kraja 1990. do kraja 1993. godine i adekvatne promjene tečaja USD naizgled stvaraju pogrešnu sliku razine cijena tijekom cijelog razdoblja. Realni su odnosi razine cijena u 1994. godini.

I razina cijena i razina odnosa cijena između energenata trebaju biti odraz energetske politike hrvatske države. Osim razina cijena, potrebno je uvesti tarifni sustav u prodaji plina i tarifnu politiku uskladiti s načelima tarifne politike u europskim zemljama. U protekle dvije godine devalviran je tarifni sustav za prodaju električne energije (troškovi domaćinstava prebačeni su na industriju) i on u potpunosti odudara od temeljnog načela tarifnog sustava: da svaki potrošač snosi troškove koje u procesu izaziva.

Jedna od važnih mjera u energetskom sektoru jest utvrđivanje uvjeta za otkup električne energije od malih proizvođača. Stimuliranje ulaganja u »malu« i »lokalnu« energetiku ekonomski je interes i važno je za pouzdanost poslovnih odnosa, kao i stimuliranje ulaganja u izgradnju novih ili revitalizaciju starih postrojenja u svim industrijskim pogonima i javnim ustanovama. Odluka o obvezi otkupa i cijenama za male proizvođače krajnje je važna odluka u uspostavi odnosa u energetskom sektoru i poticaj je racionalnom gospodarenju energijom.

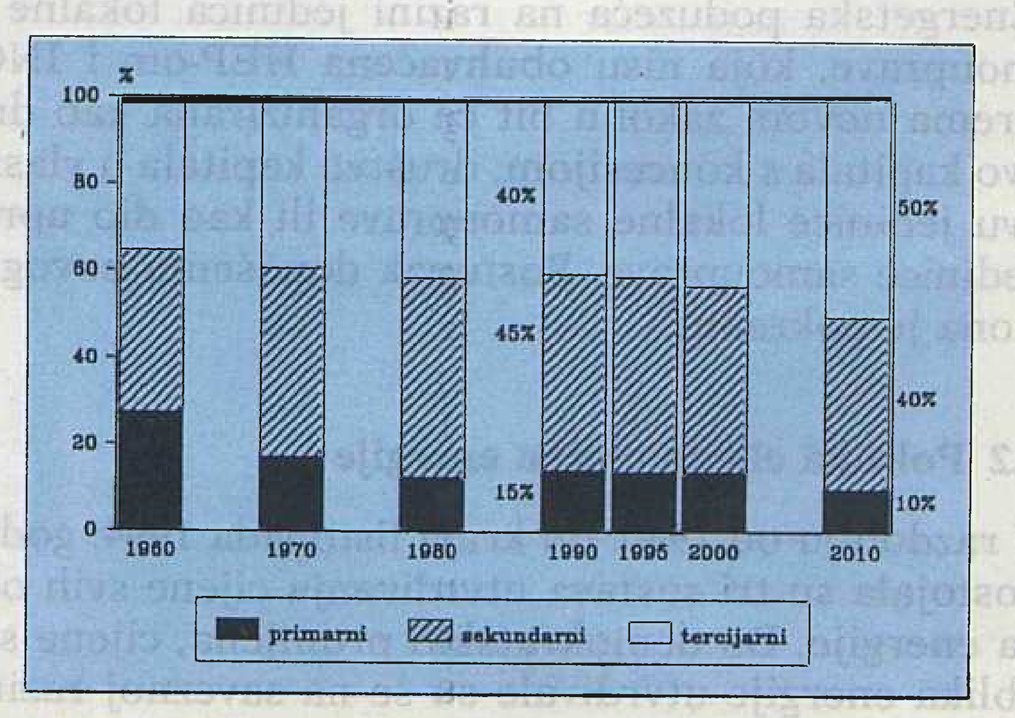
4. PROCJENE DINAMIKE RAZVOJA HRVATSKE

S demokratskim promjenama iz 1990. godine Hrvatska je ušla u, vjerojatno, dulje razdoblje socijalnog i gospodarskog prilagođavanja kapitalističkim društvenim odnosima i slobodnom tržišnom poslovanju. Početak tog razdoblja je, kao i u većini drugih zemalja u tranziciji, obilježen brzim padom društvenog proizvoda. Uz to, Hrvatskoj je nametnut i rat, pa je zbog razaranja gospodarskih i stambenih objekata, protjerivanja stanovništva i presijecanja prometnica došlo do daljnjeg ubrzavanja pada gospodarskih aktivnosti. Sve je to rezultiralo s 50 posto manjim društvenim proizvodom Hrvatske u 1993. godini u odnosu prema onom ostvarenom 1989. godine (slika 6). Realna procjena najveće moguće brzine rasta društvenog proizvoda Hrvatske od 2000. do 2010. godine jest povećanje za 50 posto. To otprilike odgovara prosječnom godišnjem rastu od 4 posto. Nažalost, moguća je i svaka niža razina.



Slika 6. Dinamika rasta društvenog proizvoda

Osim brzine rasta društvenog proizvoda, važna odrednica energetske potrošnje jest i njegova struktura. Naime, s gospodarskim razvojem neke zemlje sve više raste zastupljenost uslužnih djelatnosti, smanjuje se zastupljenost industrije, a osobito poljoprivrede. U gospodarski razvijenim zemljama Europe ili Sjeverne Amerike zastupljenost usluga u prosjeku veća je od 60 posto. U hrvatskom gospodarstvu je do 1990. godine uslužni sektor osvojio 40 posto ukupnog društvenog proizvoda, industrija 45 posto, a poljoprivreda se smanjila na 15 posto (slika 7). Pretpostavljeno je da će do 2000. godine usluge činiti 43 posto društvenog proizvoda, a do 2010. godine da bi se ta zastupljenost mogla povećati do 50 posto. Pri tome bi industrija malo smanjila svoj udio u društvenom proizvodu, a znatnije promjene dogodile bi se industriji samoj njezinim restrukturiranjem, tako da bi značajnije pala zastupljenost baznih materijala na račun trajnih dobara.

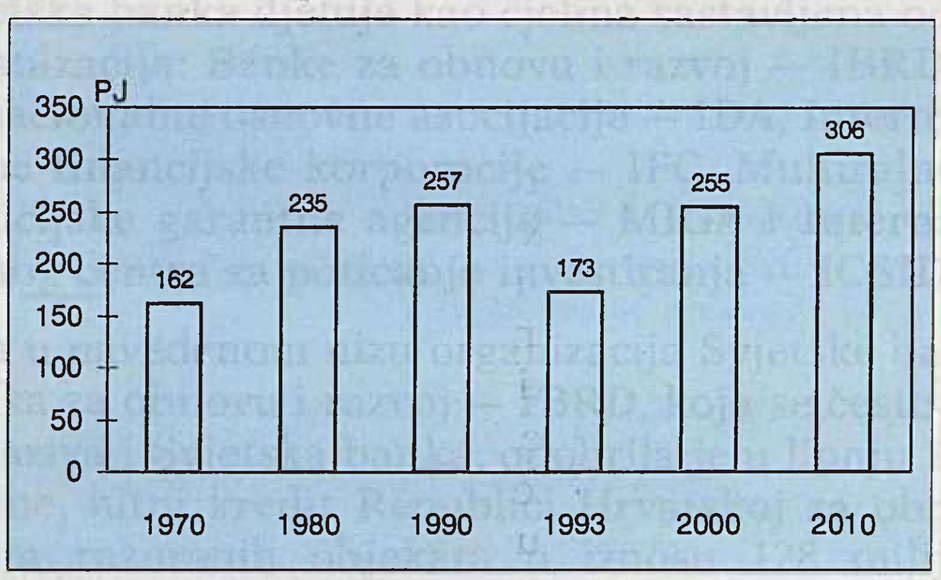


Slika 7. Struktura društvenog proizvoda Republike Hrvatske

5. MOGUĆA POTROŠNJA ENERGIJE DO 2010. GODINE

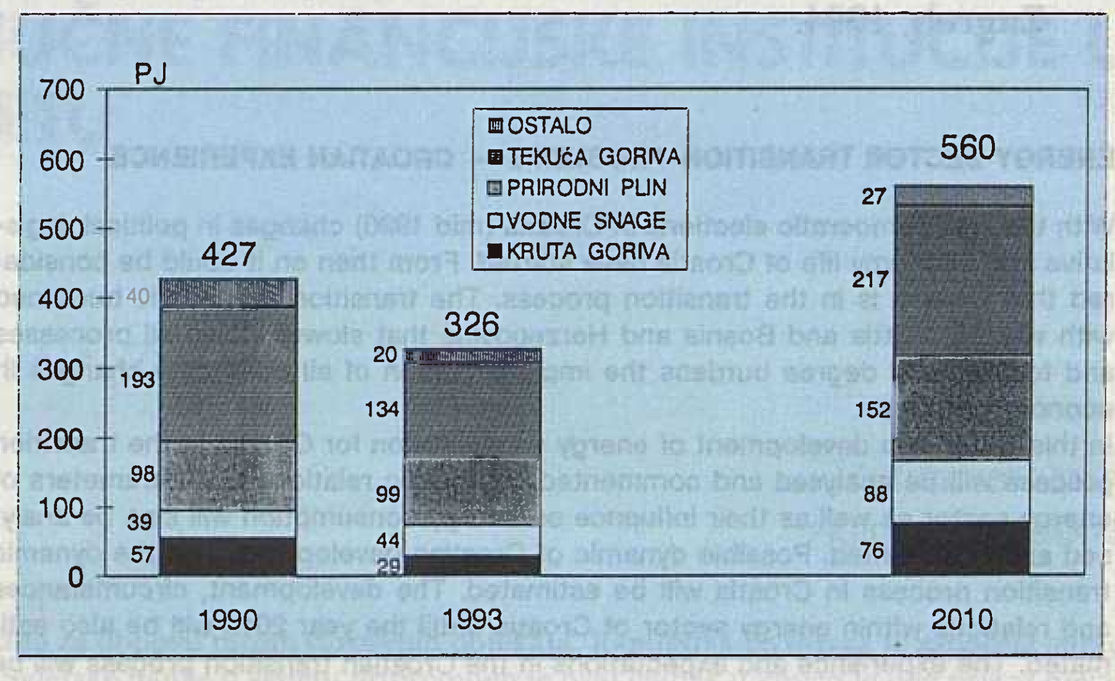
Uvažavanjem navedenih pretpostavki o rastu i promjeni strukture društvenog proizvoda, te drugih odrednica, demografskih, onih o stambenoj izgradnji, i o tehničkom napretku utvrđeno je kako slijedi.

- Najveći apsolutni prirast potrošnje finalne energije treba očekivati u sektoru kućanstva i usluge, pa zatim u prometu. Tehnički napredak i restrukturiranje industrije rezultirali bi stagnacijom potrošnje energije u industriji. Kod energenata bi najveći prirast ostvarila motorna goriva, električna energija i prirodni plin.
- Pri naglom padu gospodarskih aktivnosti od 1990. do 1993. godine potrošnja ukupne finalne energije i posebno električne energije padale su sporije nego društveni proizvod, pri čemu električna energija sporije. Jednako tako se očekuje da će prigodom povratka gospodarstava na već ostvarene razine i prigodom daljnjeg rasta do 2010. godine potrošnja električne energije rasti brže od potrošnje ukupne finalne energije, ali sporije od rasta društvenog proizvoda (slika 8).



Slika 8. Ukupna potrošnja finalne energije u Hrvatskoj

- Potrošnja finalne energije u Hrvatskoj bi se do 2000. godine približila razini ostvarenoj već 1990, a do 2010. godine bila bi za 19 posto veća nego 1990, što je elastičnost od samo 0,42.
- Tržišno utemeljena politika cijena energenata i zakonska regulativa u energetici sigurno će sve više poticati decentraliziranu, autonomnu proizvodnju električne energije u industriji, ali i u uslužnom sektoru, te proizvodnju električne energije i iz obnovljivih izvora energije (biomasa, male hidroelektrane, geotermijska energija, vjetar itd.). Vjerojatno će se do 2010. godine moći prepoznati i konkretni učinci akcija na strani potrošnje električne energije. Ali i uz najoptimističkija očekivanja učinaka takvih akcija i autonomne proizvodnje električne energije, centralno vođeni dio elektroenergetskog sustava, odnosno Hrvatska elektroprivreda morat će osigurati barem 85 posto ukupnih potreba električne energije.
- Konačno, ukupno potrebna energija (primarna), koja je 1993. godine pala sa 427 PJ u 1990. godini na 326 PJ do 2010. godine bi porasla na blizu 560 PJ. To je u odnosu na 1990. godinu povećanje od 31 posto. I dalje bi dominantnu ulogu u toj potrošnji imali derivati nafte — 39 posto, zatim prirodni plin s 27 posto, vodne snage blizu 15 posto, kruta goriva 14 posto i ostali 5 posto, slika 9.



Slika 9. Struktura ukupne potrošnje primarne energije

6. KOMENTAR

Za konačnu ocjenu svega što je napravljeno ili što treba napraviti potrebno je detaljnije istražiti sve aspekte razvoja i organizacije hrvatskoga energetskog sektora.

Iduće razdoblje i dalje će biti opterećeno ratom, ali i svim problemima zemalja u tranzicijskom razdoblju. Iako će biti teško sagledati sve posljedice rata, važno je započete procese reforme u energetskom sektoru nastaviti. Temeljne zadaće odnose se na:

- reformu politike cijena i tarifnih stavova za prodaju plina i električne energije
- procese privatizacije energetskih poduzeća na razini jedinica lokalne samouprave
- restrukturiranje energetskih poduzeća na državnoj razini i započete procese privatizacije
- osiguravanje zakonskih uvjeta za ulaganje stranog kapitala u energetski sektor, posebno na sigurnost ulaganja
- stimuliranje ulaganja u obnovljive izvore i lokalne energetske izvore (male hidroelektrane, kogeneracija) carinskom i poreznom politikom
- osiguranje stabilne razine cijena za otkup od malih (lokalnih) proizvođača električne energije i topline i
- formiranje fonda za kreditiranje i poticanje ulaganja u racionalizaciju gospodarenja energijom.

Iskustva u dosadašnjem razdoblju pokazuju da će procesi uspostave demokratskog i tržišnog društva u zemljama tranzicije znatno dulje trajati nego što se moglo očekivati. Bez obzira na to, započetu reformu gospodarskih odnosa u energetskom sektoru moguće je nastaviti i završiti u skoroj budućnosti.

LITERATURA

[1] B. VUK: »Energija u Hrvatskoj 1989 – 1993«, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 1994.

[2] D. PEŠUT: »Osnovni koncept planiranja razvoja energetskog sustava primjenom metode minimalnog troška

i upravljanja potrošnjom«, Energetski forum II, Zagreb, 1993.

[3] D. PEŠUT: »Razvoj udjela električne energije u ukupnoj potrošnji energije i perspektiva potreba električne energije u Hrvatskoj do 2010. godine«, Drugi simpozij HND, Zagreb, 1994.

ENERGY SECTOR TRANSITION PROBLEMS — CROATIAN EXPERIENCE

With the first democratic elections in Croatia (mid 1990) changes in political, legislative and economy life of Croatia have started. From then on it could be considered that Croatia is in the transition process. The transition process is burdened with war in Croatia and Bosnia and Herzegovina that slowes down all processes and to a certain degree burdens the implementation of all necessary changes in economy relations.

In this paper, the development of energy consumption for Croatia in the transition process will be analysed and commented. Economic relations and parameters of energy sector as well as their influence on energy consumption will also be analysed and commented. Possible dynamic of Croatian development and the dynamic transition process in Croatia will be estimated. The development, circumstances and relations within energy sector of Croatia untill the year 2010 will be also estimated. The experience and expectations in the Croatian transition process will be commented.

DIE ALLGEMEINE UMGESTALTUNG KROATIENS IM BEREICH DER ENERGETIK

Mit den ersten Mitte 1990 stattgefundenen demokratischen Parlamentswahlen, fingen in Kroatien Umgestaltungen im politischen, gesetzgeberischen und wirtschaftlichen Bereich an. Seitdem ist Kroatien als ein Land in Umgestaltung zu betrachten. Durch den, alle Unterfangen verzögernden, Krieg in Kroatien und in Bosnien-Herzegowina, wird im allgemeinen der Ablauf der Veränderungen zusätzlich erschwert. Dadurch wird im bestimmted Maße auch die Durchführung aller notwendigen Umgestaltungen in den wirtschaftlichen Beziehungen belastet.

Ergründet und besprochen werden die Entfaltung des Energieverbrauchs in Kroatien während der Umgestaltungszeitspanne, und der Einfluß energiewirtschaftlicher Beziehungen und Kenndaten auf diesen Verbrauch. Bewertet werden die Möglichkeiten des Entwicklungs- und Umgestaltungsverlauf- Schwunges in Kroatien. Ebenso werden die Entwicklung, die Umstände und die Beziehungen im Energiebereich Kroatiens bis zum Jahr 2010 bewertet. Besprochen werden Erfahrungen und Erwartungen im Verlaufe des Umgestaltungsgeschehens in Kroatien.

Naslov pisaca:

dr. Goran Granić, dipl. ing.
mr. Damir Pešut, dipl. ing.
dr. Branka Jelavić, dipl. ing.
mr. Branko Vuk, dipl. ing.
Nada Jandrilović, dipl. ecc.
Energetski institut »Hrvoje Požar« Zagreb,
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 11 – 30.

ULOGA SVJETSKE BANKE KAO KLJUČNE FINANCIJSKE INSTITUCIJE U SVIJETU

mr. Gordana Lučić, Zagreb

UDK 620.9:336.71
PREGLEDNI ČLANAK

Svjetska banka je navjeća financijska institucija u svijetu. Dobivanjem hitnoga kredita za obnovu ratom razorenih objekata, Republika Hrvatska je započela suradnju sa tom najvećom financijskom institucijom. Radi što boljeg spoznavanja uloge Svjetske banke u svijetu pripremljen je ovaj članak u kojem je dan prikaz djelatnosti, organizacije i razvoja Svjetske banke. Također, u članku su opisane procedure kod izbora i ugovaranja radova i opreme, na kojima Svjetska banka osobito inzistira da se striktno provede, kako bi se dobiveni krediti što svrsishodnije i efikasnije koristili.

Ključne riječi: Svjetska banka, kredit, procedure nabave opreme i radova.

UVOD

Svjetska banka djeluje kao cjelina sastavljena od pet organizacija: Banke za obnovu i razvoj — IBRD, Internacionalne osnovne asocijacije — IDA, Internacionalne financijske korporacije — IFC, Multiralne investicijske garantne agencije — MIGA i Internacionalnog centra za poticanje investiranja — ICSID.

Prva u navedenom nizu organizacija Svjetske banke, Banka za obnovu i razvoj — IBRD, koja se često kreće naziva i Svjetska banka, odobrila je u lipnju 1994. godine, hitni kredit Republici Hrvatskoj za obnovu ratom razorenih objekata u iznosu 128 milijuna USD. Sredstva kredita namijenjena su obnovi cesta, pruga i elektroenergetskih objekata, te ostvarenju nekih projekata u poljoprivredi, vodoprivredi, školstvu i zdravstvu, kao i obnovi porušenih kuća. Hrvatska elektroprivreda je u sklopu ovog kreditnog paketa dobila 20,8 milijuna USD za obnovu dijela ratom razorene prijenosne i distribucijske mreže.

Da bi se što bolje realizirala kreditna sredstva, u rujnu i listopadu 1994. godine održani su u Zagrebu prvi u nizu seminari o procedurama Banke za obnovu i razvoj pri izboru i ugovaranju te isplati ugovorene opreme i radova (Procurement Seminar i Disbursment Seminar for the Emergencv Reconstruction Project in Croatia). Prema programu slijedi još seminar o računovodstvenom praćenju realizacije kredita (Accounting Seminar). Seminari su bili namijenjeni prije svega stručnjacima zaposlenim u institucijama koje su sada izravno uključene u realizaciju kredita, kao što su Hrvatske ceste, Hrvatska elektroprivreda, Hrvatska vodoprivreda, Hrvatske željeznice, Hrvatska kreditna banka za obnovu, Ministarstvo poljoprivrede i dr.

Dobivanjem ovoga prvoga hitnoga kredita za obnovu Republika Hrvatska započela je suradnju s najvećom međunarodnom financijskom institucijom u Svijetu, koja zahtijeva da se svi sudionici u toj suradnji striktno pridržavaju pravila i procedura što ih je propisala Banka. U nastavku je dan kratki opis djelatnosti svih organizacija svjetske banke kao najveće financijske institucije u svijetu, te prikaz procedure pri izboru i ugovaranju radova i opreme kao ključne faze u ostvarenju projekata.

OPIS DJELATNOSTI SVJETSKE BANKE

Osnovni je cilj Svjetske banke smanjiti siromaštvo i unaprijediti životni standard ljudi u svijetu osiguravanjem kredita, tehničke pomoći i davanjem ostalih pomoći, osobito zemljama u razvoju.

U sklopu Svjetske banke djeluju sljedeće organizacije:

Internacionalna banka za obnovu i razvoj, koja se često kraće naziva Svjetska banka — The International Bank for Reconstruction and Development (IBRD)

Banka je osnovana 1944. godine da bi osiguravala kredite za razvoj srednje razvijenih zemalja. Novčana sredstva za kreditiranje banka prikuplja uglavnom na međunarodnom tržištu kapitala. Najbogatije zemlje svijeta (grupa G-7, tj. Kanada, Francuska, Njemačka, Italija, Japan, Engleska i SAD) sudjeluju sa svojim kapitalom u Svjetskoj banci sa 45%, a samo SAD ima 17% udjela, pa te zemlje imaju i najveći utjecaj na politiku i poslovanje Banke. Banka daje povoljne kredite s kamatnom stopom 7,25% (od siječnja 1994. godine kamatna stopa se mijenja svakih šest mjeseci) i rokom otplate od 15 do 20 godina, te grace periodom do pet godina. Banka ima 177 zemalja članica. U posljednjih pet godina Banka je osigurala 15,6 milijardi USD za kredite razvojnih projekata.

Energija, god. 44 (1995) 1, 9 – 12

Internacionalna razvojna asocijacija — The International Association (IDA)

Asocijacija je osnovana 1960. godine za davanje pomoći najsiromašnijim zemljama koje ne mogu uzimati kredit od IBRD. To su dugoročni kredit s rokom otplate od 35 do 40 godina i grace periodom do 10 godina. Novčana sredstva za kreditiranje uglavnom se osiguravaju vladinim doprinosima i iz profita IBRD. Asocijacija ima 155 zemalja članica. U zadnjih pet godina osigurano je 6,4 milijardi USD kredita za razvojne projekte.

Internacionalna financijska korporacija — The International Financ Corporation (IFC)

Korporacija je osnovana 1956. godine radi davanja podrške privatnim poduzećima u razvoju osiguranjem kredita i pravilnog financiranja uz stalan savjetodavni servis. IFC osigurava kredite direktno privatnim osobama, što IBRD i IDA ne prakticiraju. Kamatna stopa je različita za pojedine zemlje i projekte. Rok otplate je između 3 i 13 godina s grace periodom ne dužim od 8 godina. Kapital se osigurava 80% na internacionalnom tržištu kapitala i 20% kroz kredite IBRD. IFC ima 161 zemlju članicu. Svake godine IFC osigurava oko 4 milijardi USD za financiranje privatnog sektora u zemljama u razvoju.

Multilateralna garantna investicijska agencija — The Multilateral Investment Guarantee Agency (MIGA)

Agencija je osnovana 1988. godine, a djelatnost joj je nuđenje investitorima osiguranja protiv komercijalnog rizika i pomoć vladama zemalja u razvoju u stvaranju klime za privlačenje INO invetitora. MIGA može osigurati više od 90% investicije u vrijednosti 50 milijuna USD po projektu. U fiskalnoj 1994. godini MIGA je očekivala zaključivanje 35 garantnih ugovora vrijednosti oko 400 milijuna USD. Agencija surađuje sa 119 zemalja.

Internacionalni centar za poticanje investiranja — The International Center for the Settlement of Investment Disputes (ICSID)

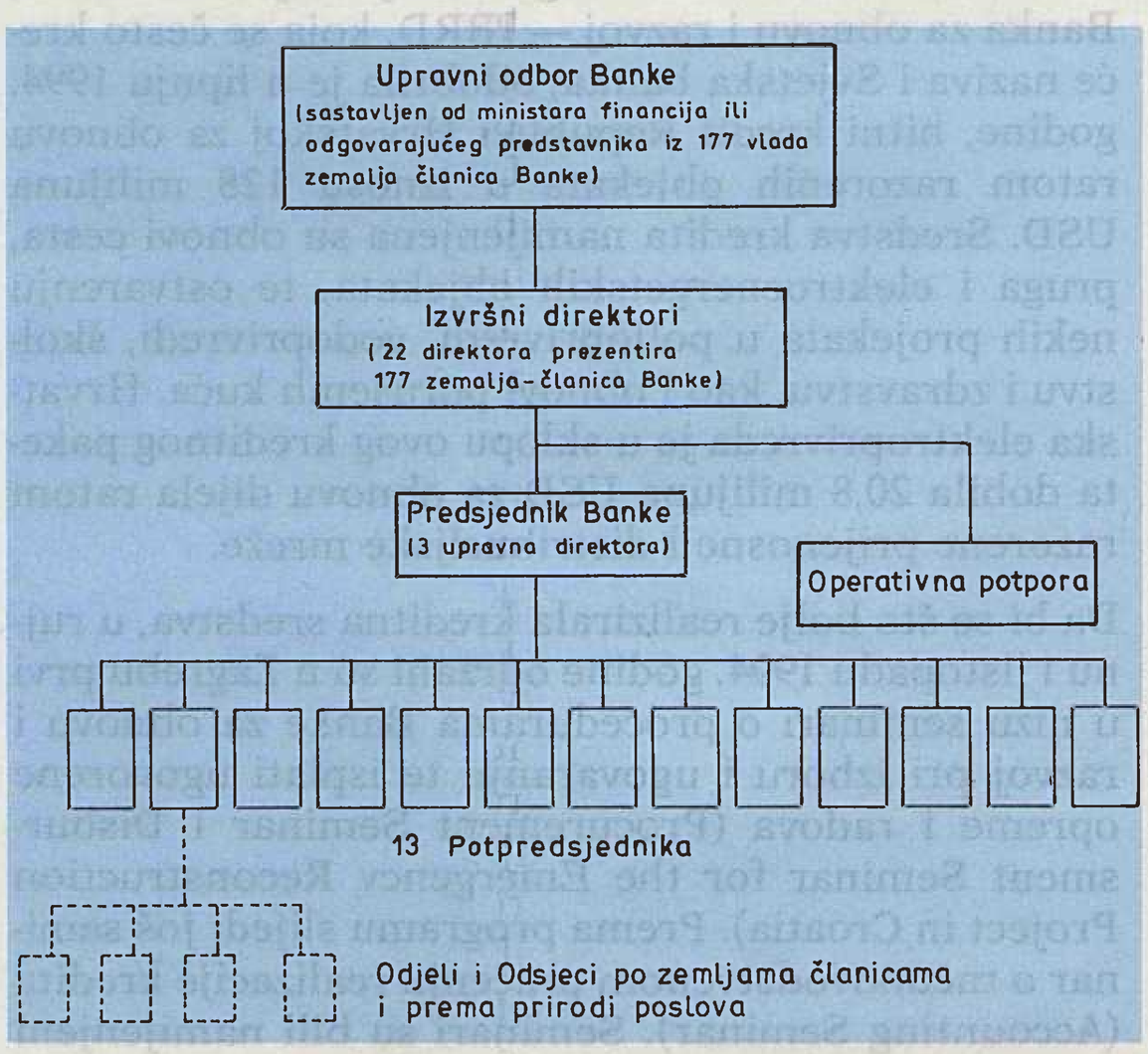
Centar je osnovan 1966. godine radi poticanja tijeka investiranja u zemlje u razvoju osiguravanjem uvjeta za nagodbe i rješavanje suprotnosti između vlada zemalja u razvoju i stranih investitora. ICSID također osigurava davanje savjeta, provođenje istraživanja i informiranje o procedurama vezanim za zakonodavstvo INO investirora. Centar surađuje sa 109 zemalja.

RAZVOJ I ORGANIZACIJA INTERNACIONALNE BANKE ZA OBNOVU I RAZVOJ — IBRD

Internacionalna Banka za obnovu i razvoj — IBRD je tijekom svojih 50 godina rada financirala više od 6 000 razvojnih projekata u oko 140 zemalja s više od 250 milijardi USD. Financijska sredstva bila su namijenjena razvoju poljoprivrede, industrije, transporta, razvoju ljudskih resursa, zaštiti okoliša i davanju hitnih pomoći u saniranju posljedica vremenskih nepogoda, npr. suša i potresa, te sanacija posljedica rata.

Djelatnost Banke započela je obnovom Zapadne Europe i Japana, te davanjem pomoći Australiji nakon drugoga svjetskog rata. Od tada je Banka pomagala procese povećanja privrednog rasta i smanjenja siromaštva u istočnoj Aziji, podizanje razine proizvodnje hrane u južnoj Aziji, suzbijanje bolesti i unapređenja osnovne naobrazbe u Africi i prevladanje financijske krize u Latinskoj Americi u 1980. godini. U posljednje vrijeme Banka je uključena u davanje financijskih pomoći potrebnih tijekom realizacije procesa koji prate tranzicijske promjene zemalja istočne i srednje Europe.

Osnovna organizacija Banke sastoji se od nekoliko hijerarhija. Na čelu Banke nalazi se Upravni odbor Banke koji je sastavljen od ministara financija ili odgovarajućih predstavnika zemalja članica Banke. Oni utvrđuju globalnu politiku Banke. Radom Banke upravljaju Izvršni direktori; njih 22 pokriva poslove u 177 zemalja članica Banke. Operativna potpora jest štabna organizacijska cjelina koja obavlja stručne poslove za cijelu Banku. Operativna potpora jest štabna oraganizacijska cjelina koja obavlja stručne poslove za cijelu Banku. Predsjednici Banke, njih 3, te 13 popredsjednika Banke, svaki za svoje područje, pokrivaju poslove svih zemalja članica. To su sljedeća područja: Afrika, istočna Azija i Pacifik, južna Azija, Latinska Amerika i Karibi, Srednji istok i Sjeverna Afrika, te Europa i Centralna Azija. Za svako od navedenih područja postoji nekoliko odjela po zemljama članicama i nekoliko odsjeka prema prirodi poslova. Osnovna organizacijska struktura IBRD Banke prikazana je na slici 1.



Slika 1. Prikaz osnovne organizacije IBRD banke

U posljednjih deset godina Banka financira projekte nevladinih međunarodnih, nacionalnih i lokalnih organizacija (nongovernmental organizations — NGOs). To su npr. razne socijalne organizacije, crkvene organizacije, ženska udruženja i sl. U sklopu ovog programa Banka također financira razvoj poljoprivrede i sela, obrazovanja, zdravlja, zatim pro-

grame smanjenja populacije i bolje ishrane, zaštite prirodnih resursa i programe ekologije, osiguranja pitke vode i uspostave irigacionih sustava, razvoj naselja i dr..

U Banci radi oko 8 000 ljudi 120 raznih nacionalnosti.

Svoje članice i sve zainteresirane organizacije za dobivanje financijskih sredstava, Banka informira putem jakog Informacijskog centra. Centar je povezan on-line sa širokim krugom informatičke mreže u svijetu i u centru se publicira više od 400 publikacija godišnje, uključujući i detaljne godišnje izvještaje koji se šalju širom svijeta.

Banka želi da se financijska sredstva koja ona osigurava za realizaciju projekata što racionalnije koriste, pa je stoga uspostavila sustav nadzora nad kompletnim ostvarenjem projekta. Banka je definirala procedure kojih se striktno moraju pridržavati svi korisnici kredita. Pri tome su osobito detaljno razrađene procedure za fazu izbora i ugovaranja radova i opreme kao ključne faze u realizaciji svakog projekta. U nastavku su opisane procedure izbora i ugovaranja opreme i radova koje Banka kraće naziva procedure nabave.

OPIS PROCEDURA KOD IZBORA I UGOVARANJA RADOVA I OPREME (KRAĆE — PROCEDURE NABAVE)

Na temelju dugogodišnjeg rada Banka je razvila svoje procedure za nabavu, tj. izbor i ugovaranje opreme, radova i ostalih servisa, što je objedinjeno prikazano u priručnicima pod nazivom »Guidelines for Procurement Under World Bank Loans and IDA Credits« i »Guidelines for the Use of Consultants by World Bank Borrowers and by The World Bank as Executing Agency«. Inzistiranjem na primjeni procedura Banka želi biti sigurna da se kreditna sredstva koriste svrsishodno i efikasno.

Izbor i ugovaranje opreme i radova najvažnija je i najosjetljivija faza u procesu ostvarenja projekata, jer o tom izboru ovisi ekonomičnost i efikasnost utroška financijskih sredstava i kvaliteta rada ili korištenja gotovog projekta. To je razlog što je Banka toj fazi realizacije projekata posvetila posebnu pažnju. Prema podacima Banke, za radove i opremu potrebno gotovo 90% planiranih sredstava za realizaciju projekata. U sadašnjoj situaciji, kada je u Banci u tijeku financiranje oko 2 000 projekata za koje Banka isplaćuje oko 15 milijardi USD godišnje, procijenjeno je da oko 70% tog iznosa otpada na opremu, 20% na radove i 10% za servise tijekom realizacije projekata.

Uz spomenute interese Banke da se proces izbora i ugovaranja provede što ekonomičnije i efikasnije, Banka također inzistira na što većoj internacionalizaciji prikupljanja ponuda za opremu i radove, bez ikakove diskriminacije. U davanju ponuda trebaju ravnopravno sudjelovati sve relevantne kompetentne tvrtke. Banka stimulira lokalne ponuđače iz zemalja kojima je odobren kredit da također sudjeluju u davanju ponuda, samostalno ili u kombinaciji sa stranom tvrtkom po npr. načelu »joint ventures«.

U skladu s prethodno navedenim opredjeljenjima, Banka pri izboru i ugovaranju opreme preferira Međunarodni natječaj — **International Competitive Bidding — ICB.** Tako je u 1988. godini približno 60% sredstava Banke bilo namijenjeno kreditiranju radova i opreme koji su odabrani prema ICB načelu.

Uz ICB postupak izbora i ugovaranja opreme postoje još i postupci Ograničeni međunarodni natječaj **LIB** (Limited international bidding), Lokalni natječaj **LCB** (Local Competitive bidding), Internacionalna ili lokalna kupovina **IS ili LS** (International or Local shopping), Nabava direktnim ugovaranje **DC** (Direct Contracting) i dr. U nastavku će se opisati osnovne značajke pojedinog načina izbora i ugovaranja radova i opreme.

ICB — Međunarodni natječaj omogućuje ponuđačima iz cijelog svijeta da dadu ponude za nabavu opreme i izvođenje radova. Banka nadzire cijeli postupak izbora i ugovaranja opreme i radova, a postupak je uglavnom sljedeći:

- Naručitelj opreme i radova (u daljnjem tekstu kupac) radi informiranja svih zainteresiranih ponuđača, treba dati Opću obavijest o namjeri nabave (General Procurement Notice) u listu Development Business i odgovarajućem lokalnom listu.
- Zainteresirani ponuđači javljaju se kupcu koji ih evidentira na svoju listu obavještavanja potencijalnih ponuđača (Notification list) ako zadovoljavaju kriterije podobnosti iz Opće obavijesti.
- Kupac priprema natječajnu dokumentaciju (Bidding Documentation) prema strikno definiranoj proceduri. Dokumentacija za nuđenje sastoji se od standardnog dijela i specifičnog dijela. U standardnom dijelu kupac upoznaje ponuđače s postupkom izbora i ugovaranja opreme i radova, te im daje upute za pripremanje ponuda. U sklopu toga su dane upute za pripremu ponuda podnošenje ponuda, zatim je opisan postupak otvaranja i evaluacije ponuda i dodjele ugovora. Specifični dio dokumentacije za nuđenje prilagođen je konkretnoj vrsti nabave, tj. izbora i ugovaranja konkretne opreme ili radova. Taj dio sastoji se od liste podataka o nabavi, posebnih uvjeta ugovora, specifikacije zahtjeva kupca i tehničke specifikacije opreme ili radova.
- Natječajnu dokumentaciju kupac šalje u Banku na odobrenje.
- Nakon dobivanja odobrenja kupac poziva na otkup natječajne dokumentacije sve potencijalne ponuđače iz liste obavještavanja. Osim toga obavijest o otkupu natječajne dokumentacije daje u lokalne novine, te svim trgovinskim atašeima poslanstva stranih zemalja u zemlji kupca.
- Prikupljene su ponude nakon javnog otvaranja evaluiraju prema točno definiranoj proceduri, a izvješće evaluacije s preporučenim najpovoljnijim ponuđačem šalje se u Banku na odobrenje.
- Nakon dobivenog odobrenja može se zaključiti ugovor s odabranim najpovoljnijim ponuđačem.

ICB procedura je složena i dugotrajna, s definiranim trajanjem pojedinih faza, no njezinom primjenom izbjegnuta je diskriminacija bilo kojeg ponuđača, ponuđači su unaprijed upoznati s kompletnom procedurom ugovaranja, a rizik kupca, vezano za odnos ponuđača prema pripremi ponuda i kasnije realizacije ugovora, sveden je na minimum. Taj način nabave koristi se gotovo kod svih većih iznosa vrijednosti opreme ili radova.

Ostali važni načini izbora i ugovaranja radova i opreme su sljedeći:

- **Ograničeni međunarodni natječaj** (Limited international bidding) — **LIB** predviđa da kupac može odabrati ponuđače za koje ocijeni da mogu zadovoljiti njegove potrebe i samo njima poslati obavijest za otkup natječajne dokumentacije. Daljnji je postupak uglavnom isti kao i kod ICB procedure.
- **Lokalni natječaj** (Local Competitive bidding) — **LCB** predviđa da se natječaj provodi prema lokalnim procedurama, te dokumentacije na lokalnom jeziku, a plaćanje je u lokalnoj valuti. Strane tvrtke mogu biti uključene u natječaj, no moraju se prilagoditi lokalnoj proceduri.
- **Internacionalna ili lokalna kupovina** (International or Local shopping) **IS,LS** koristi se za nabave manje količine opreme ili jednostavnije radove, a izbor se provodi između nekoliko inozemnih tvrtki iz barem dvije strane zemlje u slučaju IS, te barem tri domaće tvrtke u slučaju LS.
- Nabava **direktnim ugovaranjem** (Direct Contracting) **DC** koristi se kod manjih vrijednosti radova i opreme ili u slučajevima gdje je to praktičnije, po nahođenju Banke.
- **Procedura nabave uz nužnost angažiranja osoblja i opreme kupca** (Force Account) predviđa se u specijalnim situacijama kada je taj aranžman najpovoljniji za kupca.
- **Procedure u okviru UN agencije** primjenjuju se u slučaju izbora i ugovaranja opreme i radova u okviru organizacije UNICEF-a, WHO-a ili sl. specijalne organizacije UN. Obično su to slučajevi kada se financijska sredstva ulažu u podizanje razine znanja, osiguravanje zdravstvenih uvjeta, vode, sanitarnih uvjeta i sl.
- **Procedura kod korištenja agencija za nabavu** primjenjuje se u slučaju kompleksnog postupka izbora i ugovaranja radova i opreme, i to prema želji kupca.
- **Nabava uz kredit posebnog financijera** primjenjuje se kada se kredit osigurava putem neke institucije, kao npr. poljoprivredne kreditne institucije ili razvojne financijske kompanije ili na neki drugi način.
- **Nabava u slučaju važnih programa** provodi se prema specijalnim uvjetima izbora i ugovaranja opreme i radova.

Za izbor i ugovaranje konzultanskih usluga Banka je propisala posebnu proceduru pod nazivom »Guidelines Use of Consultants by World Bank Borrowers and by The World Bank as Executing Agency«. Konzultanske usluge odnose se na sve faze realizacije projekata, tj. izradu predinvesticijskih studija, definiranje konkretnih tehničkih i ekonomskih karakteristika projekata, ugovaranje opreme i radova, izvođenje radova i plaćanje isporučiteljima opreme i izvođačima radova, te davanje ostalih usluga prema zahtjevu kupca.

ZAKLJUČAK

Republici Hrvatskoj je nužno potrebna financijska pomoć za obnovu ratom razorene zemlje i vraćanje prognanika kućama, te provedbu svih promjena koje donosi proces tranzicije kao što su privatizacija, restruktuiranje gospodarstva i dr. Stoga dobiveni hitni kredit za obnovu ratom razorenih objekata od Svjetske banke ima uz gospodarsko i političko značenje. Utjecaj Svjetske banke je u svijetu velik i davanje ovog kredita na neki je način »otvaranje vrata« za ulazak ostalog inozemnog kapitala u našu zemlju. Svjetska banka želi da se kreditna sredstva koja ona osigurava za projekte širom svijeta što korisnije utroše, pa je u skladu s tim definirala niz procedura na kojima inzistira da se provode tijekom realizacije tih projekata. Mi kao korisnici kredita Svjetske banke moramo u što kraćem vremenu ovladati tim procedurama i striktno ih se pridržavati, čime stvaramo uvjete za dobivanje novih kredita.

LITERATURA

— Materijali sa seminara »World Bank Procurement«, koji je održan u Zagrebu od 19. do 22. rujna 1994. godine,

— Materijali Svjetske banke štampani 1994. godine povodom 50. godišnjice rada, pod nazivom »The Wirld Bank a Global Partnership for Development«

THE ROLE OF THE WORLD BANK AS A KEY FINANCIAL INSTITUTION IN THE WORLD

The World Bank is the largest institution in the world. The Republic of Croatia has started the co-operation with that largest financial institution by getting an urgent credit for reconstruction of stations damaged during the war. This paper has been prepared in order to explain the role of the World Bank including its fields of activities, organisation and development. In the paper, procedures of choice and constracting of work and equipment are also described, on which the World Bank insists to be strictly followed in order to obtain appropriate and efficient use of credits.

DIE ROLLE DER WELTBANK ALS SCHLÜSSELANSTALT IM WELTFINANZWESEN

Durch Zuteilung einer dringlichen Wiederaufbauanleihe hat die Zusammenarbeit der Republik Kroatien mit der Weltbank, der größten Finanzanstallt der Welt begonnen. Um einen entsprechenden Begriff von der allumfaßenden Rolle der Weltbank zu bekommen, wird in diesem Artikel die Tätigkeit, die Gestaltung und die Entwicklung dieser Anstalt dargestellt. Ebenfalls sind hier Handlungsweisen bei der Vertragsschliessung bezüglich der Auswahl der Arbeiten und der Ausrüstung als Kreditgegenstand beschrieben, wobei die Weltbank besonders auf die pünktlichste Durchführung dieser Handlungsweisen beharrt, um die zugeteilten Kredite so zwekmäßig und wirkungsvoll wie nur möglich auszunützen.

Naslov pisca:

mr. Gordana Lučić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za razvoj i inženjering
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 11 – 30.

PROCJENA INDIVIDUALNIH RIZIKA NA PODRUČJU ZAGREBA OD NORMALNOG POGONA NE KRŠKO

mr. Dejan Škanata — dr. Dubravko Pevec, Zagreb

UDK 621.311.25:621.039
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Dan je vrlo kratak pregled svih važnijih elemenata koji su dio postupka procjene i upravljanja rizicima. Također se ukratko elaboriraju biološki učinci ionizirajućeg zračenja i prezentiraju ICRP preporuke koje se odnose na ograničenja efektivnih doza za profesionalno osoblje i pučanstvo. S time u svezi konstatiraju se kriteriji prihvatljivosti rizika i posebice naznačuju vrijednosti konverzijskih koeficijenata za procjenu radijacijskog rizika. Ukratko su opisane primijenjene aproksimativne metode i prikazan rezultat što se odnosi na procjenu rizika od normalnog pogona NE Krško na pučanstvo Zagreba.

Ključne riječi: radijacijski rizik, ionizirajuće zračenje, efektivna doza, biološki učinci zračenja, kriteriji prihvatljivosti rizika.

1. UVOD

U svakodnevnome se životu pod pojmom rizika najčešće razumijeva mogućnost da će se pretrpjeti nekakav gubitak ili šteta, da će se narušiti zdravlje. Prema tome, rizik je neizostavno pridružen svim čovjekovim aktivnostima, on je jednostavno sveprisutan u svakodnevici. Život u okvirima izloženosti različitim vrstama rizika postalo je nešto što je razumljivo, vrlo često čak neupitno i neproblematično. Procjena je rizika[1], kao relativno nova disciplina, svojim kvalitativnim a napose kvantitativnim procedurama, omogućila objektivizaciju tj. stvaranje kvantitativne slike o rizicima, što je nadalje otvorilo mogućnost njihove međusobne usporedbe[2] a zatim i primjenu koncepta upravljanja tim rizicima[3], orijentiranog kako na sam izvor rizika kao takav, tako i na prostor utjecaja različitih izvora a time i različitih vrsta rizika. U čitavom procesu identifikacije i analize opasnosti procjene, usporedbe i upravljanja rizicima vrlo važnu ulogu imaju i kriteriji o prihvatljivosti rizika[4]. Pitanja kriterija prihvatljivosti rizika nalaze se danas u žarištu interesa širokog kruga stručnjaka, ali i javnosti. Istraživanjima u tom području došlo se do relativno jednostavnog odnosa: što su kriteriji za utvrđivanje prihvatljivog stupnja rizika viši, to je potrebnije uložiti veći iznos financijskih sredstava da bi se zadovoljili takvi kriteriji. Dakako, odnos se može postaviti i u obrnutom smislu: što su kriteriji niži, utoliko su niži i troškovi koje je potrebno za to snositi. Budući da je kategorija apsolutne sigurnosti sama po sebi nedostižna, očito je kako je u okviru procesa upravljanja rizicima potrebno razmotriti, usvojiti i primijeniti koncepte za određivanje odnosa između rizika i troškova njihove redukcije kakvi su analiza troškova i koristi[5] ili pak višeparametarska analiza[6]. Prema tome, upravljanje rizicima dobro je strukturiran proces odlučivanja kojemu se pristupa isključivo analitički[7]. To je iterativni postupak kod kojega se odluke donose na temelju egzaktnih činjenica, znanja i informacijske podloge.

Procjena rizika obuhvaća analizu i procjenu vjerojatnosti pojave neželjenog scenarija (događaja)[8], u koje se ubrajaju rutinski, tj. normalni pogon postrojenja koje se analizira kao i moguće nezgode, te analizu i procjenu posljedica[9] koje takav neželjeni scenarij može prouzročiti. Procjene vjerojatnosti i potencijalnih posljedica osnovni su elementi kvantitativne procjene rizika.[10] Pri tome su vrste posljedica koje neželjeni scenariji mogu prouzročiti uvjetovane odnosom između intenziteta i vremena izloženosti nekoj opasnosti, koje se najčešće iskazuju preko doza izloženosti, i negativnim učincima te i takve izloženosti[11].

U tako kompleksno, ali i sustavno razvijenom konceptu rizika posebno i vrlo važno mjesto ima i radijacijski rizik, tj. rizik koji se generira u svim fazama nuklearnoga tehnološkog lanca za proizvodnju elek-

---

[1] Upravo su pokušaji da se odgovori na pitanje »Koliko sigurno je dovoljno sigurno?« (»How safe is safe enough?«), a time i *prihvatljivije,* stvoriti novu disciplinu nazvanu procjena rizika (Risk Assessment) koja nastoji objediniti gospodarske, psihosocijalne i druge implikacije razvitka, ekonomsku dobit i cijenu tog razvitka. Prema tome, procjena rizika nije ništa drugo do naziv za formalni postupak kojemu je osnovna zadaća identifikacija i analiza opasnosti te proračun rizika pridruženih različitim čovjekovim aktivnostima.

[2] Risk Comparison

[3] Risk Management

[4] Risk Acceptance Criteria

[5] Cost-Benefit Analysis

[6] Multi-Attribute Analysis

[7] Općenito postoje dva pristupa odlučivanju: analitički (racionalni, znanstveni, formalni, algoritamski) i intuitivni (iskustveni). Dobro strukturirani problemi ispravno se rješavaju analitičkim pristupom, dok će u složenijim situacijama, situacijama nepredvidivog ponašanja parametara problema, intuicija i iskustvo biti od veće koristi.

[8] Probability Assessment

[9] Consequence Assessment

[10] QRA — Quantitative Risk Assessment

[11] Dose-Effect Relationship

trične energije, te u svim ostalim područjima primjene izvora ionizirajućih zračenja (industrija, medicina i znanstveno-istraživački laboratoriji).

2. BIOLOŠKI UČINCI IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Biološki učinci ionizirajućeg zračenja predmet su velikog broja znanstvenih istraživanja u svijetu i do danas su relativno dobro ispitani bar kada su u pitanju srednje i visoke doze zračenja. Ono što ove doze karakterizira jest linearna ovisnost između doze zračenja i vjerojatnosti pojave štetnih učinaka. Drugim riječima, ako je izloženost ionizirajućem zračenju veća (veća doza zračenja) veći su i biološki učinci.

S biološkim učincima što ih generiraju niske doze zračenja situacija je unekoliko drugačija. Ti učinci stohastičke su naravi, a gotovo se uvijek prikazuju kao zakašnjeli.[12] Strogo gledano, niti je dokazano da niske doze zračenja uzrokuju neke negativne biološke učinke, niti je dokazano da ih ne uzrokuju [1]. Zato se u praksi i nastoji postupati na sljedeći način: kad je god to moguće, pokušavaju se izbjeći i najmanje doze zračenja, a kad to nije moguće postići, nastoje se doze zračenja svesti na što je razumnije niže vrijednosti. Upravo navedeni pristup poznat je pod nazivima ALARA[13] princip i jedan je od temeljnih načela radiološke zaštite.

Ipak, na temelju procjena koje su načinjene u posljednjih nekoliko godina i koje se poglavito odnose na dugoročne učinke izloženosti ionizirajućem zračenju, a koje se opet temelje na rezultatima BEIR[14] studija, eksperimentiranja na životinjama, kao i na temelju drugih epidemioloških studija i analiza, ICRP[15] je u svojoj publikaciji Br. 60 iz 1990. godine [2] preporučila nešto pooštrenije kriterije za ograničenje efektivnih doza kako za profesionalno osoblje, tako i za pučanstvo u odnosu prema kriterijima definiranima u svojoj publikaciji Br. 26 iz 1977. godine [3] (tablica 1). Na taj je način problem učinka što ih generiraju niske doze zračenja dobio više na značenju nego prije.

Tablica 1. Stare i nove ICRP preporuke za granične vrijednosti efektivnih doza [mSv/g]

Kategorija akceptora	Publikacija br. 26	Publikacija br. 60
profesionalno osoblje	50	20[16]
pojedinac iz stanovništva	5	1[17]

[12] Što se tiče ovisnosti između niskih doza zračenja i vjerojatnosti pojave neželjenih bioloških učinaka, postoje tri gotovo jednakovrijedne pretpostavke: (1) pretpostavka linearne ovisnosti, (2) pretpostavka praga učinka i (3) pretpostavka kvadratne ovisnosti.

[13] As Low As Reasonably Achievable

[14] Biological Effects of Ionising Radiation

[15] International Commission on Radiological Protection

[16] Vrijednost od 20 mSv/g srednja je vrijednost efektivne doze za razdoblje 5 godina (kumulativno 100 mSv u 5 godina), pri čemu u jednoj godini efektivna doza ne smije prijeći vrijednost 50 mSv.

[17] U posebnim uvjetima dopuštena je i veća vrijednost efektivne doze. Međutim, u takvim se slučajevima doza od 1 mSv/g treba interpretirati kao srednja vrijednost za razdoblje 5 godina.

3. KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI RADIJACIJSKOG RIZIKA

Na temelju različitih studija i analiza o rizicima procijenjeno je da se vrijednosti prihvatljivoga individualnog rizika, izraženog u broju smrtnih slučajeva godišnje, od svih izvora opasnosti, nalaze u intervalu od 10^{-8} (zanemariv rizik[18]) do 10^{-5} (gornji prag prihvatljivosti[19]) [4]. Pri tome je kao osnova za rizik od smrti pojedinca zbog izloženosti različitim opasnostima preuzeta vrijednost od 10^{-4}/god, koja se odnosi na populacijsku skupinu starosne dobi od 10 do 14 godina [5]. Dakako, za svaki pojedinačni izvor opasnosti na vrijednost zanemarivog rizika, tj. njegove gornje granice prihvatljivosti, dominantan utjecaj ima broj ljudi koji mu je izložen. To je poznati problem odnosa između visoke vjerojatnosti pojave neželjenoga događaja i relativno malih posljedica na zdravlje ljudi i okoliš koje takvi događaji mogu prouzročiti s jedne strane, i malo vjerojatnih događaja sa značajnim posljedicama s druge.[20]

Kako radijacijski rizik predstavlja izvedenicu efektivne doze, to je potrebno usvojiti vrijednosti za koeficijente radijacijskog rizika koji imaju biti izraženi kao biološki učinak zračenja po Sievertu. Detaljno razmatrajući učinke ne samo srednjih i visokih već i niskih doza zračenja ICRP je, uvodeći pooštrena ograničenja za efektivne doze, načinila još jedan korak naprijed: preporučila je i granične vrijednosti za koeficijente radijacijskog rizika. Tako je za koeficijent rizika smrtnosti od raka za profesionalno osoblje izazvanog niskim dozama zračenja ICRP predložila vrijednosti od $4x10^{-2}$/Sv, dok je za stanovništvo, s istim pretpostavkama predložena vrijednost od $5x10^{-2}$/Sv[21]. Za slučaj genetskih učinaka izazvanih ni-

[18] Termini koji se najčešće susreću u stranoj stručnoj terminologiji za opis zanemarivog rizika jesu: De Minimis Limit, Treshold Limit, Limit Below Regulatory Concern, Risk of Little Concern, Lower Limit of Risk of Concern i Negligible Risk.

[19] Termini koji se pak susreću za opis gornje granice rizika: Regeulatory Limit, Maximum Acceptable Risk, Upper Level of Acceptable Risk i Maximum Permissible Risk.

[20] Ovdje se zapravo radi o teoriji rizika poznatom problemu HP/LC vs LP/HC (High Probability/Low Consequences versus Low Probability/High Consequences). Ponajbolje je spomenuti problem elaborirati na sljedećem primjeru: Neka je HP = 1 000 nezgoda/god. a LC = 10^{-3} smrtnih slučajeva/nezgoda, tada se za rizik dobiva vrijednost R = 1 smrtni slučaj/god. Neka je pak LP = 10^{-4} nezgoda/god., a HC = 10^{4} smrtnih slučajeva/nezgoda, i u tom slučaju vrijednost rizika iznosi R = 1 smrtni slučaj/god. Dakle, u oba slučaja izračunat je rizik s istim vrijednostima iako se kvalitetno ne radi o istovrsnim opasnostima. Uobičajeno je ipak da se veća pažnja poklanja rijetkim nezgodama koje mogu izazvati vrlo značajne posljedice [6].

[21] To bi značilo da npr. rizik smrtnosti od raka za pojedinca izazvanog prosječnom efektivnom dozom od 1 mSv/g iznosi $5x10^{-5}$ smrtnih slučajeva godišnje. Treba napomenuti da procjena UNSCEAR-a (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiatiton) za vrijednost koeficijenta individualnog radijacijskog rizika smrtnosti od raka iznosi od 4,5 do $7,1x10^{-2}$/Sv [7]. Nadalje, u [8] je predložen a potom, u okviru Nizozemskog nacionalnog plana zaštite okoliša (NEPP-National Environmental Policy Plan) i usvojen koncept prema kojemu je efektivna doza od 1 mSv/g ekvivalentna radijacijskom riziku od $2,5x10^{-5}$ smrtnih slučajeva godišnje. To pak znači da gornjem pragu prihvatljivog rizika od 10^{-5} smrtnih slučajeva/g korespondira efektivna doza od 0,4 mSv/g.

skim dozama zračenja[22] korespodentni koeficijenti radijacijskog rizika iznose $0{,}8 \times 10^{-2}$/Sv i $1{,}3 \times 10^{-2}$/Sv respektivno. Drugim riječima, da bi se zadovoljio prethodno definirani raspon prihvatljivog rizika, ograničenja za efektivne doze od umjetnih izvora ionizirajućeg zračenja treba aproksimativno procijeniti na raspon korespondentnih vrijednosti od 1 μSv/g do 1 mSv/g[23].

4. RADIJACIJSKI RIZIK OD NORMALNOG POGONA NE KRŠKO NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

U okviru projekta »Case Study Zagreb«, koji se u posljednje tri godine razvijao unutar međunarodnog programa »Procjena rizika od energetskih i drugih kompleksnih gospodarskih sustava na području Grada Zagreba«[24], između ostalog analiziran je i procijenjen individualni radijacijski rizik od normalnog pogona Nuklearne elektrane Krško za pučanstvo Grada Zagreba [10]. Ovaj utjecaj NE Krško analiziran je na način da je razmatran radiološki utjecaj dosadašnjeg (dvanaestogodišnjeg) pogona, te procijenjen utjecaj koji se može očekivati u njezinu daljnjem pogonu. U tu su se svrhu koristili rezultati mjerenja koja su provodile ovlaštene institucije za ispitivanje kontaminacije radioaktivnim tvarima u okolici NE Krško iz Hrvatske i Slovenije[25].

Da bi se procijenila prosječna godišnja efektivna doza od NE Krško na pojedinca nastanjenog u Gradu Zagrebu, načinjena je ekstrapolacija podataka radiološkog monitoringa za područje u okolici NE Krško (tablica 2). Pri tome je primijenjen konzervativni pristup tako da proračunate doze predstavljaju gornju granicu doze koju može primiti najizloženiji pojedinac u Zagrebu. U obzir su uzeti udaljenost Zagreba od NE Krško (38 km zračne linije, SE), meteorološki uvjeti (C kategorija stabilnosti prema Pasquillou[26], disperzija plinovitih radioaktivnih efluenata (Gaussov model), te proračun dilucijskih faktora[27].

Tablica 2 — Prosječne godišnje doze zračenja u okolini NE Krško[28]

Vrsta izloženosti	Utjecaj NEK-a	Opća kontaminacija	Pozadinsko zračenje
vanjsko zračenje (μSv)	0,05	100,00	720
inhalacija (μSv)	0,43	0,02	1.320
ingestija (μSv)	1,83	13,00	360
ukupno (μSv)	2,30	113,02	2.400

Primjenom opisane aproksimativne metode došlo se do procjene da efektivna doza na pojedinca u Gradu Zagrebu od normalnog pogona NE Krško prosječno iznosi 1.4 μSv/g (61 % prosječne godišnje doze u okolici NE Krško). Već usporedbom s efektivnom dozom pozadinskog zračenja kojemu je pojedinac u Zagrebu neizostavno izložen i koja prosječno iznosi 1.22 mSv/g [11], uočava se da su učinci zračenja zbog pogona NE Krško na pučanstvo Grada Zagreba praktički zanemarivi. Sukladno tome, individualni radijacijski rizik od normalnog pogona NE Krško na pučanstvo Zagreba uz primjenu koeficijenta radijacijskog rizika kojeg preporuča ICRP (5×10^{-2}/Sv) procijenjuje se na vrijednost od 7×10^{-8}/g. Za slučaj genetskih učinaka ($1{,}3 \times 10^{-2}$/Sv) individualni radijacijski rizik iznosi $1{,}82 \times 10^{-8}$/g. Prema tome, s obzirom na prethodnu elaboraciju praga prihvatljivosti rizika, radijacijski rizik od normalnog pogona NE Krško na pučanstvo Grada Zagreba poprima vrijednosti vrlo bliske pragu zanemarivog rizika.

4. ZAKLJUČAK

Procjena rizika kao metodologija prosudbe utjecaja različitih objekta i aktivnosti na zdravlje ljudi i okoliš dobiva svoj puni smisao i svrhu u međusobnoj usporedbi procijenjenih rizika. Usporedba različitih rizika prvi je korak u primjeni koncepta upravljanja rizicima koji uključuje izbor prioriteta za reduciranje (optimiranje) rizika što se opet uglavnom temelji na analizi odnosa između troškova i koristi zahtijevane redukcije. Upravo zbog tih razloga u tablici 3 usporedno su prikazane srednje vrijednosti za neke individualne rizike kojima se stanovnik Zapadne Europe dobrovoljno ili pak nedobrovoljno izlaže. Rizici su izraženi kao broj smrtnih slučajeva godišnje [BrSS/g], tj. broj smrtnih slučajeva na milijun stanovnika [BrSS/10^6 g] i odnose se na dio populacije koji se svojom voljom izlaže takvim rizicima (dobrovoljni rizici), odnosno na pojedinca iz ukupne populacije Zapadne Europe (nedobrovoljni rizici).

Budući da se čini sasvim opravdanim pretpostaviti da slične vrijednosti za rizike vrijede i za Republiku Hrvatsku odnosno za Grad Zagreb, to je u tablici 2.

---

[22] Posljedice genetičkih učinaka ionizirajućeg zračenja obuhvaćaju oštećenja rasplodnih stanica prije oplodnje, oštećenja plodova i mutaciju gena. Međutim, ti učinci još uvijek nisu dobro proučeni.

[23] U [9] je dan vrlo iscrpan kronološki prikaz razvoja znanja i različitih procjena radijacijskog rizika u posljednih dvadesetak godina.

[24] Unter-Agency Programme on the Assessment and Management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems

[25] Radiološki monitoring u okolici NE Krško provodili su Inštitut »Jože Stefan«, Ljubljana; Zavod za varstvo pri delu Republike Slovenije, Ljubljana; Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada sveučilišta u Zagrebu, Zagreb; i Institut »Ruđer Bošković«, Zagreb.

[26] Kategorija stabilnosti C karakterizirana je brzinom vjetra 2 – 3 m/s na visini 10 m iznad tla, što je ujedno i prosječna brzina vjetra na zagrebačkom području, prevladavajući smjer vjetra je NNE (sudjeluje s 13 % u ruži vjetrova za Zagreb) i slabim zračenjem sunca. Dakle, pretpostavljaju se umjereno nestabilne vremenske prilike, a time i umjerena disperzija plinovitih radioaktivnih efluenata.

[27] Dilucijski faktori računati su prema sljedećoj relaciji:

$$F_i = \frac{2.032}{x} \cdot \sum_{jk} \frac{P_{ijk}}{u_j \, \sigma_{z,k}(x)}$$

gdje su: F_i — faktor na udaljenosti x za sektor i; P_{ijk} — vjerojatnost da vjetar puše u sektor i brzinom iz klase j za vremenskih uvjeta klase k; u_j — srednja brzina vjetra u klasi brzina j; $\sigma_{z,k}(x)$ — parametar vertikalne disperzije za vremenske uvjete klase k na udaljenosti x.

[28] Podaci se odnose na najizloženijeg pojedinca, pod kojim se razumijeva osoba koja bi tijekom godine dana popila 730 litara vode iz rijeke Save, pojela 16 kilograma ribe ulovljene u toj rijeci i udahnula 8000 prostornih metara zraka iz okolice NE Krško. Iz tablice se jasno uočava kako je utjecaj NE Krško na pojedinca u njezinoj okolici za tisuću puta manji od utjecaja pozadinskog zračenja.

Tablica 3. Usporedba srednjih vrijednosti za neke dobrovoljne i nedobrovoljne rizike za pučanstvo zapadne Europe [12]

Vrsta opasnosti	rizik [BrSS/g]	Rizik [BrSS/10^6 g]
dobrovoljni rizici		
pušenje 20 cigareta dnevno (svi učinci)	$5x10^{-3}$	5.000
vožnja motorkotačem	$1x10^{-3}$	1.000
uživanje alkohola	$4x10^{-4}$	400
vožnja automobilom	$1,5x10^{-4}$	150
vožnja vlakom	$3x10^{-5}$	30
let avionom	$1x10^{-5}$	10
nedobrovoljni rizici		
rak (svi izvori)	$2x10^{-3}$	2.000
nezgode u stanu (kući)	$1x10^{-4}$	100
izlazak u šetnju	$3x10^{-5}$	30
vremenske nepogode (uključivo poplave)	$2x10^{-7}$	0,2
udar groma	$1x10^{-7}$	0,1
Rizik u Zagrebu od normalnog pogona NE Krško	$7x10^{-8}$	0,07

prikazana i procijenjena vrijednost za radijacijski rizik od normalnog pogona NE Krško na pojedinca nastanjenog u Gradu Zagrebu. Već samim pregledom prikazanih vrijednosti za različite rizike zaključak se nameće sam od sebe. Naime, život u blizini nuklearne elektrane kakva je NE Krško (PWR, 664 MWe) nije toliko rizičan koliko se to obično misli, barem kada je u pitanju normalni pogon nuklearne elektrane. Dapače, neke svakidašnje situacije kojima je izložen pojedinac u Zagrebu, tj. aktivnosti koje svakodnevno poduzima znatno su rizičnije.

LITERATURA

[1] Z. JAKOBOVIĆ, »Ionizirajuće zračenje i čovjek,« Školska knjiga, Zagreb, 1991.

[2] ICRP Publication 60, 1990 Recommendation of the ICRP, Oxford, Pergamonn Press, 1990.

[3] ICRP Publication 26, Recommendation of the ICRP, Oxford, Pergamonn Press, 1977.

[4] D. ŠKANATA, »Kriteriji prihvatljivosti tehnoloških rizika,« Energija br. 1, Zagreb, veljača 1994.

[5] B. J. M. ALE, »Risk Analysis and Risk Policy in the Netherlands and the ECC«, Presented at Problem Clouds Symposium, June 14 1990, Chester, UK

[6] Principles for Decisions Involving Environmental and Health Risks, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, NKA, December 1989 – 1991.

[7] B. G. BENNETT, »Environmental Consequences of Radionuclide Releases«, Joint International Symposium on Environmental Consequences of Hazardous Waste Disposal, Stockholm, 27 – 31 May 1991.

[8] Radiation Protection and Risk Management, Dutch Policy on the Protection of the Public and Workers Againts Ionizing Radiation, Ministry of Housing, Physical Planning and Environment and Ministry of Social Affairs and Employment

[9] J. J. COHEN, C. F. SMITH, »Determination of De Minimis Dose Levels Based Upon Risk Acceptability«, International Conference on Radiation Protection in Nuclear Energy, Sydney, 18 – 22 April 1988.

[10] Case Study Zagreb Project, Progress Report, APO-Enconet, Int., Zagreb, July 1993.

[11] A. SCHALLER, D. BARIŠIĆ, B. VEKIĆ, S. LULIĆ, »Restoration of Radioactively Contaminated Sites in the Republic of Croatia«, Progress Report-Stage I, APO, Zagreb, January 1994.

[12] Procedural Guide for Integrated Health and Environmental Risk Assessment and Safety Management in Large Industrial Areas, Draft Report, UNEP-WHO-IAEA-UNIDO, Tel Aviv, November 1991.

EVALUATION OF INDIVIDUAL RISK FROM NORMAL OPERATION OF NUCLEAR POWER PLANT KRŠKO

A very short review of all important elements of risk evaluation and control procedure is given including a discussion on the biological effects of nuclear radiation and presentation of ICRP suggestions that refer to constraints of effective doses for professional stuff and population. Related to that the criteria of risk acceptance are defined whereby the values of conversion coefficients of radiation risk assessment are separately given. Applied approximation of the method is briefly described and the result of risk evaluation from the normal operation of NPP Krško on Zagreb population is given.

BEWERTUNG PERSONELLER RISIKEN IM STADTBEREICH VON ZAGREB DURCH DEN NORMALBETRIEB DES KERNKRAFTWERKES »KRŠKO«

Es ist ein sehr kurzer Überblick aller wichtigeren Elemente, welche einen Teil des Verfahrens zur Abschätzung und Verwaltung von Risiken darstellen gegeben. Ebenso werden biologische Wirkungen der ionisierenden Strahlung und die ICRP Empfehlungen bezüglich der Begrenzung effektiver berufsbedingter und privatpersoneller Bestranhlungsdosis kurz dargestellt. Im Bezug darauf werden Maßstäbe der Annehmbarkeit von Risiken festgestelltund die Werte von Abschätzungs-Konversionskoeffizienten der Bestrahlungsrisiken besonders angegeben. Kurz dargestellt ist das angewandte Näherungsverfahren und sein Ergebniss bezüglich der Risikoabschätzung des Normalbetriebes des Kernkraftwerkes »Krško« für die Eiwohner von Zagreb.

Naslov pisaca:

mr. Dejan Škanata, dipl. ing.
Agencija za posebni otpad,
41000 Zagreb, Savska 41/IV,
Hrvatska
dr. Dubravko Pevec, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet Zagreb,
41000 Zagreb, Unska 3, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-12-20

MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE BIOPLINA U HRVATSKOJ

Josip Lebegner, Zagreb

UDK 662.76:620.95
PREGLEDNI ČLANAK

Dobivanje energije iz biomase najstarija je energetska opcija. Izravno izgaranje, fermentacija biomase u alkohol i grijanje biomase bez prisutnosti zraka (tzv. suha destilacija) danas su više ili manje dosta poznate i opisane energetske pretvorbe. Za razliku od njih, u nas postoji vrlo malo podataka koji se odnose na anaerobnu fermentaciju biomase i dobivanje bioplina, pa je ovaj rad pokušaj da se donekle popuni postojeća informacijska praznina. Uz kraći osvrt na karakteristike bioplina i na tehnologije njegove proizvodnje, u članku je također dana procjena o mogućoj proizvodnji bioplina u Hrvatskoj.

Ključne riječi: bioplin, biomasa, fermentator.

1. UVOD

Već je u 18. stoljeću bilo poznato da se anaerobnom fermentacijom u procesu metanskog vrenja može dobiti bioplin — plin s visokim sadržajem metana i značajkama sličan zemnom plinu. Sirovine u ovom procesu različite su organske tvari: od životinjskih ekskremenata i poljoprivrednih otpadaka do gradskog otpada. U 19. st. u Indiji se gradi prvo postrojenje za proizvodnju metana, a već početkom 20. st. građeni su razmjerno veliki pogoni za dobivanje i korištenje energije iz gradskoga otpadnog mulja. Između 1950. i 1960. godine u Srednjoj Evropi bilo je instalirano više desetaka bioplinskih postrojenja, od kojih su neka još i danas u radu. U svijetu trenutačno ima nekoliko milijuna postrojenja, a samo u Kini, gdje je razvoj proizvodnje bioplina uveden u nacionalni ekonomski plan kao važna točka modernizacije poljoprivrede [1], ima danas oko 6 milijuna manjih bioplinskih postrojenja (fermentatora, digestora, reaktora) i više od 700 velikih bioplinskih jedinica.

Bioplinski digestori grade se i u razvijenim zemljama; u Njemačkoj, Francuskoj, Italiji, Austriji i drugdje. U reklamnim materijalima poduzeća koja se bave izgradnjom takvih postrojenja navodi se podatak da je rok amortizacije jednog digestora 5 – 10 godina.

Gdje se u svemu tome danas nalazi Hrvatska?

Na žalost, osim eksperimentalnog postrojenja izgrađenog na svinjogojskoj farmi u Velikoj Trnovitici pokraj Garešnice [2], koje je zbog problema s korozijom ubrzo prestalo s radom, autoru ovog članka nije poznata neka druga lokacija. Teško je reći što je razlog zapostavljenosti ovog aditivnoga energetskog izvora, i to osobito sada kada je već svima postalo jasno da smo energetski vrlo siromašna zemlja. Jeftina nafta iz 70-ih godina svakako je pripomogla usporenom razvoju dopunskih energetskih izvora. Ali danas, kada postajemo svjesniji kvantitativnih i ekoloških ograničenja fosilnih goriva, nema opravdanja za zapostavljanje obnovljivih izvora u zadovoljavanju potrošnje u svijetu i u Hrvatskoj.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE BIOPLINA

2.1. Proces nastajanja bioplina

Bioplin nastaje anaerobnom razgradnjom organske tvari. Za sam proces razgradnje odgovorne su metanogene bakterija. Ti mikroorganizmi vrlo su osjetljivi na prisutnost kisika, tako da već i male količine kisika mogu prouzrokovati prekid anaerobne fermentacije. Kolike će biti količine razvijenog bioplina i kakav će mu biti sastav, ovisi između ostalog i o samim bakterijama, odnosno o brzini njihova razmnožavanja u organskom supstratu. Da bi se one mogle razvijati, nužno je postojanje vode, izvora energije, izvora ugljika i dušika te izvora mineralnih elemenata. Sve nabrojano sadržano je u stajnjaku, životinjskim i ljudskim ekskrementima, otpadnim vodama prehrambene industrije i raznim drugim organskim otpacima koji su do sada kao energetski izvor bili uglavnom zanemarivani.

2.2. Sastav i osobine bioplina

Bioplin nalazi praktičnu primjenu kao plinovito gorivo upravo zbog svog sastava koji je dan u tablici 1. Iz tablice je vidljivo da je metan osnovni sastojak bioplina, ali u njemu ima i drugih plinova, kao što su sumporovodik, H_2S, i vodik, H_2, koji također gore i imaju znatnu energetsku vrijednost. Podaci u posljednjem stupcu tablice dani su za bioplin sastavljen od 60% CH_4 i 40% CO_2.

Volumni udio metana u bioplinu vrlo je različit, od 55 – 70%, ovisno o sastavu organske smjese. Udio metana je to veći što je veći udio masti u supstratu za proizvodnju bioplina. Ako u supstratu prevladavaju ugljikohidrati i bjelančevine, količine razvijenog bioplina su manje i s manjim sadržajem metana.

Tablica 1. Sastav i karakteristike bioplina i njegovih komponenata

Parametar	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	Bioplin
volumni % u bioplinu	55 – 70	27 – 44	1	3	100
energetska vrijednost, MJ/m³	35.8	—	10.8	22.8	21.5
granice zapaljivosti, volumni % u zraku	5 – 15	—	4 – 80	4 – 45	6 – 12
temperatura paljenja, °C	650 – 750	—	585	—	650 – 750
kritična temperatura, °C	– 82.5	31.0	—	100.0	– 82.5
gustoća u normalnim uvjetima, kg/m³	0.72	1.98	0.09	1.54	1.2
gustoća u odnosu na zrak, kg/m³	0.55	2.5	0.07	1.2	0.83
kritični tlak, bar	47	75	13	89	75 – 89

Već je spomenuto da bioplin, između ostaloga, sadrži i do 1% sumporvodika. Njegova prisutnost je nepoželjna jer izgaranjem sumporvodika nastaje vrlo korozivna sumporasta ili sumporna kiselina (H_2SO_3 ili H_2SO_4), koje uništavaju opremu plamenika i drugih uređaja za proizvodnju, čuvanje i izgaranje bioplina. Zbog toga se kod imalo većih količina (npr. preko 1% vol.) H_2S mora odstraniti iz bioplina.
U tablici 1. dane su i ostale karakteristike bioplina koje treba uzeti u obzir pri projektiranju postrojenja.

2.3. Energetska vrijednost bioplina

Na osnovi podataka iz prethodne tablice može se zaključiti da energetska vrijednost bioplina ovisi o odnosu CH_4 i CO_2 i da iznosi 20 – 25 MJ/m³.
Za usporedbu, u tablici 2. dane su energetske vrijednosti nekih klasičnih izvora energije.

Tablica 2. Donja energetska vrijednost bioplina i nekih klasičnih goriva

Gorivo	Energetska vrijednost	Gorivo	Energetska vrijednost
bioplin 56% CH_4	20 MJ/m³	propan plin	46 MJ/kg
bioplin 62% CH_4	22.1 MJ/m³	benzin	30.5 MJ/l
bioplin 70% CH_4	25 MJ/m³	dizelsko gorivo	36 MJ/l
gradski plin	16.8 MJ/m³	koks	27.6 MJ/kg
zemni plin	33.5 MJ/m³	električna energija	3.6 MJ/kWh

Usporedbom tih podataka s onima danim za bioplin, lako se može izračunati da npr. 1 m³ bioplina sa 62% metana po energetskoj vrijednosti odgovara 0.66 m³ zemnog plina, 0.48 kg tekućeg propan-butan plina, 0.61 l loživog ulja ili dizelskoga goriva, 0.72 l benzina, 0.8 kg koksa ili 6.1 kWh električne energije. Ako detaljnije uspoređujemo svojstva bioplina i zemnog plina, vidjet ćemo da u praksi bioplin ima slične značajke sa zemnim plinom ili je slabije kakvoće. Teže se pali, ima slabiju stabilnost i teže podesivu jakost plamena, posebno pri tzv. malom plamenu gdje se pojavljuje tendencija gašenja.

3. SIROVINE ZA PROIZVODNJU BIOPLINA

Prikladnost nekog materijala za proizvodnju bioplina ovisi o udjelu suhe i organske tvari u tom materijalu koji se određuje eksperimentalno. (Suha tvar je naziv za tvar koja ostane poslije isparavanje vode iz uzorka sušenog na temperaturi 103 – 105 °C. Organska tvar ili gubitak žarenjem predstavlja razliku između količine suhe tvari u supstratu i količine tvari preostale nakon žarenja supstrata na 600 °C.) Danas najviše korištene sirovine u ove svrhe jesu tekući stajnjak, biljna biomasa, komunalne otpadne vode [3], otpadne vode prehrambene industrije i gradski otpad.

3.1. Tekući stajnjak

Stajnjak je najvećim dijelom sastavljen od životinjskih ekskremenata, a osim toga u njemu ima i dijelova hrane, slame i drugih materijala koji služe kao prostirka, kao i neorganskih primjesa. Koncentracija suhe tvari uglavnom ovisi o načinu držanja stoke. Na primjer, ako se stoka drži na rešetkastim podovima, stajnjak se praktično sastoji samo od ekskremenata i koncentracija suhe tvari može biti 10 – 15% pa i više. Drži li se, pak, stoka u stajama iz kojih se ostaci ispiru pomoću vodenog mlaza, koncentracija suhe tvari u stajnjaku može biti samo 6 – 8% ili manja. Ako su te koncentracije premalene, raste specifična potrošnja energije za zagrijavanje sadržaja i miješanje, a ako su koncentracije suhe tvari prevelike, otežava se transport sirovina i njihovo miješanje, a može doći i do organskog preopterećenja reaktora. U praksi se uzima da je koncentracija supstrata optimalna ako on ima konzistenciju vrhnja.

Da bi se ostvarile pogodne koncentracije suhe tvari, ukupni volumen stajnjaka (ekskrementi + voda za ispiranje) ne treba biti veći od 100 litara po jednoj stočnoj jedinici i danu (1 SJ = 500 kg žive vage). Osim podešavanja koncentracije, prilikom pripreme sirovina za anaerobnu fermentaciju koriste se i različiti mehanički, mehaničko-kemijski ili kemijski zahvati s kojima se poboljšava biorazgradljivost sastojaka, ubrzava proces fermentacije i povećava količina razvijenog bioplina. Tako se npr. sastojci mogu obrađivati usitnjavanjem, toplinom, natrij-hidroksidom, prosijavanjem itd. Samo prosijavanjem smjese i odvajanjem grubljih sastojaka može se postići i do 10% veća koncentracija metana u bioplinu [4].

Količine bioplina koje se mogu dobiti od ekskremenata pojedinih vrsta životinja ovise o sadržaju organskih tvari u stajnjaku i o stupnju razgradnje tih tvari u procesu fermentacije. Ovaj stupanj razgradnje predstavlja kompromisnu vrijednost: što je on veći, to je i količina plina veća, ali se ujedno produžuje trajanje procesa. U praksi se obično postiže stupanj razgradnje organskih sastojaka stajnjaka 40 – 50%

koji osigurava 0.4 – 0.6 m³ bioplina po kilogramu unesenih, odnosno 0.8 – 1.0 m³/kg razgrađenih organskih sastojaka tekućeg stajnjaka. Količine bioplina različite su za različite životinje. Poznato je da je kod goveda biljna biomasa podvrgnuta djelovanju metanogenih bakterija u samim probavnim organima, pa se redovito iz govedskog stajnjaka mogu dobiti manje količine bioplina nego npr. iz svinjskoga. Odnos količina bioplina dobivenih iz istih količina tekućeg stajnjaka krava muzara (*M*), tovnih goveda (*G*), svinja (*S*) i peradi (*P*) grubo se može procijeniti na osnovi omjera:

$$M : G : S : P = 5 : 7 : 8 : 10$$

3.2. Biljna biomasa

Prema znanstvenim procjenama, u svijetu se godišnje dobiva oko 5 milijardi tona biljne biomase u obliku otpadaka ratarstva, vrtlarstva i prehrambene industrije. Ti poljoprivredni otpaci sastoje se gotovo 90% od organske tvari, što ih naizgled čini vrlo pogodnim materijalom za proizvodnju bioplina. No velika zapreka širem korištenju jest činjenica da je celuloza, koja je osnovni izvor ugljika za anaerobne organizme, impregnirana teško razgradivim ligninom čime se otežava njezina razgradnja. Zanimljivi su i prijedlozi koji se pojavljuju u stručnoj literaturi, prema kojima bi se na gradskim i industrijskim otpadnim vodama mogle uzgajati alge iz kojih bi se proizvodio bioplin. Probno postrojenje već je izgrađeno u Kaliforniji. Uzgojem tih algi i preradom u bioplin godišnje se može proizvesti oko 7 000 m³ čistog metana po hektaru površine. Osim energetske koristi, uzgojem ove vrste algi znatno bi se pridonijelo zaštiti okoliša jer bi se one hranile štetnim sastojcima prisutnim u otpadnim vodama uz istovremeno obogaćenje vode kisikom nužnim za održavanje ekosistema.

3.3. Komunalne otpadne vode

Komunalne otpadne vode, zbog relativno malog sadržaja ugljika, ne mogu se izravno primijeniti kao sirovina za proizvodnju bioplina. No, digestori za anaerobno varenje sastavni su dio svakog postrojenja za preradu otpadnih voda. Tim digestorima prerađuje se mulj prisutan u otpadnim vodama, a dobivene količine bioplina dovoljne su za osiguranje energetskih potreba samog postrojenja za pročišćavanje.

3.4. Otpadne vode prehrambene industrije

U svijetu su već poznati primjeri korištenja anaerobne fermentacije kao postupka za pročišćavanje otpadnih voda prehrambene industrije: šećerana, tvornica alkohola, pivovara, mljekara, klaonica itd. Kao i kod komunalnih otpadnih voda, i ovdje prepreka proizvodnji bioplina može biti nedovoljna koncentracija organskih tvari u otpadnim vodama. Osim toga, postrojenje bi moralo biti smješteno što bliže mjestu nastanka organskih otpadaka kako se otpadne vode ne bi još više razblažile.

3.5. Organski gradski otpad

Posljednih nekoliko godina u razvijenim zemljama zapadne Europe i u Americi otvoreno je nekoliko postrojenja za preradu organskoga gradskog smeća. Za uspješan rad tih postrojenja nužno je bilo provesti više edukativnih akcija radi upoznavanja građana sa sastavom otpada te nužnosti razvrstavanja i odvajanja organskog otpada u posebne kontejnere. Skupljeni organski materijal (npr. biljni ostaci, hrana, nereciklirani papir) nakon mehaničke obrade (usitnjavanja) podvrgnut je najprije anaerobnoj fermentaciji koja se odvija na visokoj temperaturi (50 °C) tijekom koje nastaje bioplin. Preostali mulj zatim se podvrgava aerobnoj fermentaciji čiji je krajnji produkt visokokvalitetni kompost. Na primjeru bioreaktora izgrađenog u danskom gradu Elsinoru vidi se nesumnjiva korist od ovakvog postrojenja. Spomenuti bioreaktor godišnje proizvede 8 000 tona komposta i 2.8 milijuna kubnih metara bioplina uz znatnu redukciju volumena otpada [5], [6].

Bioplin se može prikupljati i izravno na uređenim komunalnim odlagalištima otpada, tzv. sanitarnim trulištima. Tako bi npr. na ljubljanskom odlagalištu smeća godine 1995. trebala proraditi prva termoelektrana na bioplin, zavidne snage od 1.2 MW [7]. Naime, zbog sve glasnijih zahtjeva za zaštitom okoliša, spaljivanje gradskog otpada je nepraktično i investicijski dosta skupo rješenje. Zato se danas sve češće pristupa izgradnji posebnih odlagališta na kojima se smeće odlaže u hermetički izolirane deponije iz kojih je moguće cijeđenje oborinskih voda i njihova daljnja obrada. Smeće se odlaže na određeno razdoblje, npr. 10 godina, uz pokrivanje slojem zemlje. Ubrzo nakon odlaganja u njemu otpočinje aktivnost najprije aerobnih, a zatim anaerobnih mikroorganizama uz razvijanje bioplina. Prema dosadašnjim iskustvima, po toni smeća se tijekom 20 – 30 godina eksploatacije sanitarnog trulišta dobiva 50 – 300 m³ bioplina; od toga tijekom prvih 10 godina formiranja trulišta nastaje 5 – 10 m³ bioplina po toni otpadaka, što je prema nekim procjenama dovoljno za pokrivanje 20 – 50% investicijskih troškova izgradnje i uređenja deponije [3].

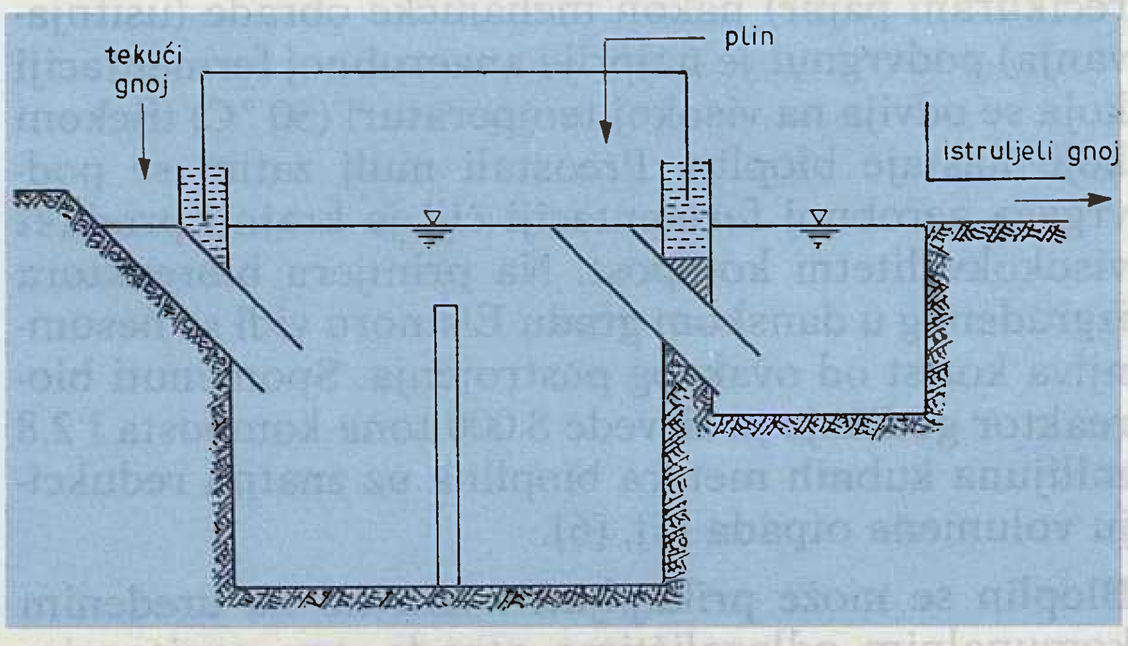
4. TEHNOLOŠKI POSTUPCI DOBIVANJA BIOPLINA I VRSTE FERMENTATORA

S obzirom na način punjenja reaktora razlikujemo dvije osnovne skupine tehnoloških postupaka za proizvodnju bioplina: kontinuirani i diskontinuirani postupci.

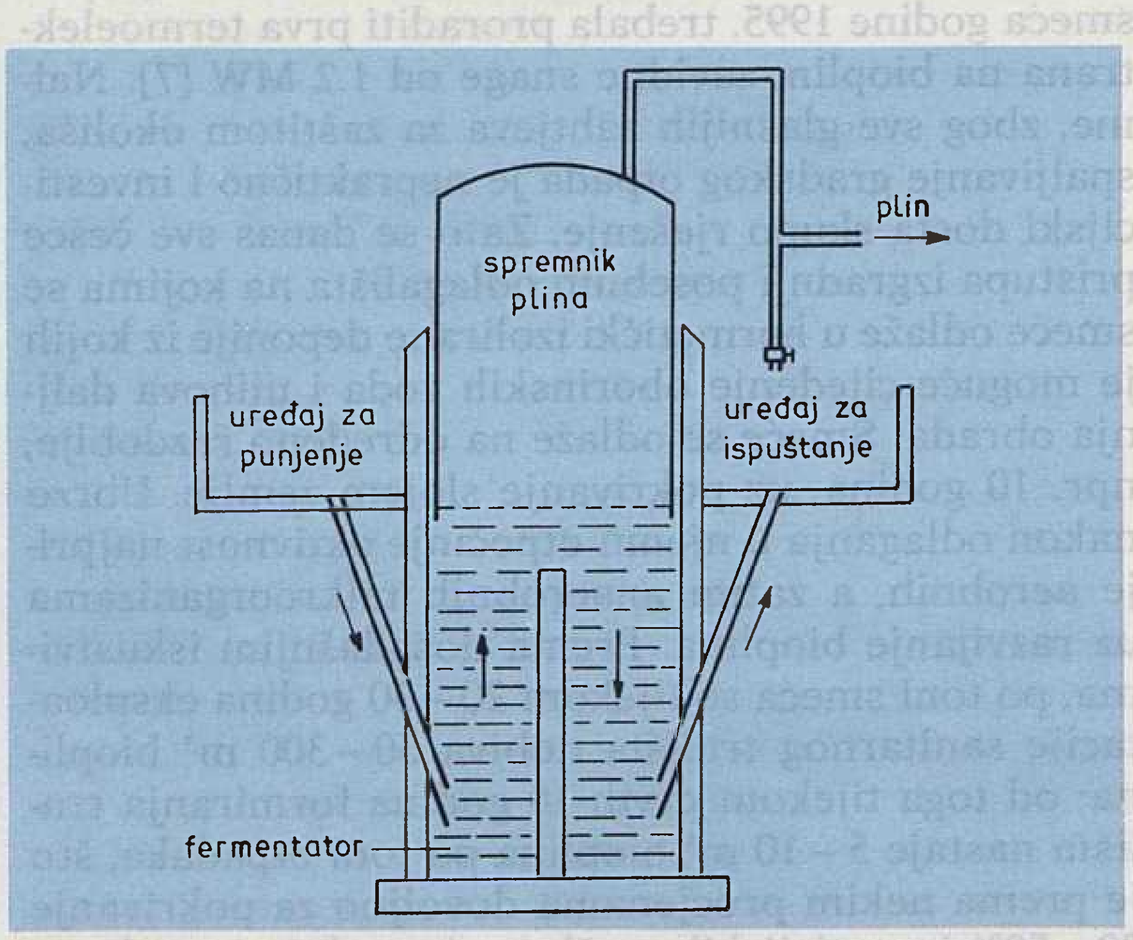
Kod **kontinuiranih postupaka** anaerobne fermentacije (slika 1. i 2), reaktor se neprekidno napaja svježom smjesom uz istovremeno vađenje ekvivalentnih količina već prerađene smjese. Vrijeme zadržavanja se skraćuje, a količina i sastav plina je ujednačeniji. Postupak zahtijeva miješanje i veću potrošnju energije.

Kod **diskontinuiranih postupaka** (slika 3) sva se sirovina odjednom izlije u digestor koji se zatim hermetički zatvori. Uz eventualno postupno zagrijavanje

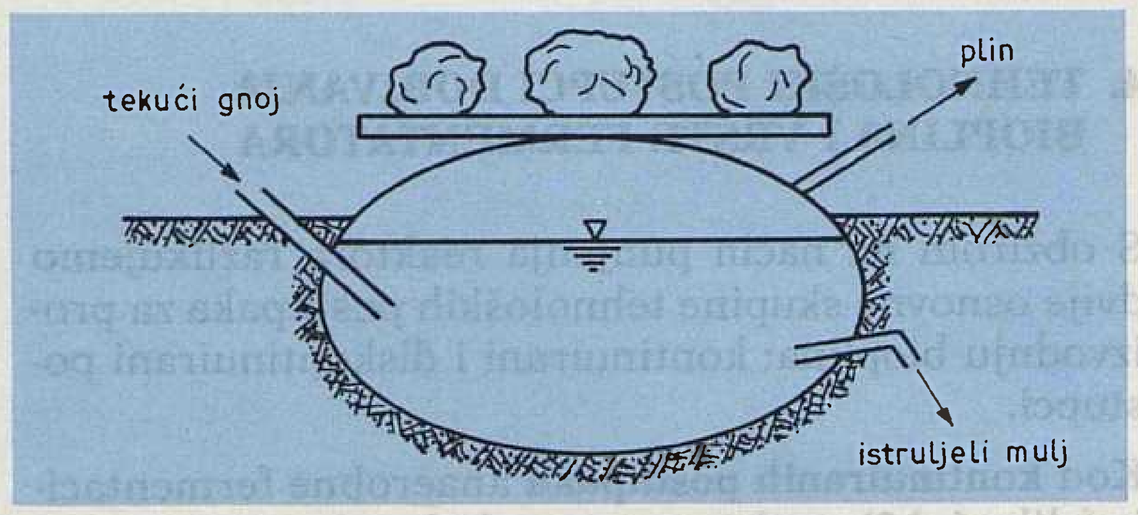
smjese do odabrane radne temperature, uskoro se razvija plin u kojemu postupno raste sadržaj metana. Anaerobna fermentacija traje 40 – 100 dana, ovisno o željenom stupnju razgradnje organskih sastojaka. Konstrukcija digestora za ovakav postupak može biti vrlo jednostavna; kao digestor može se upotrijebiti npr. stara bačva za naftu, ukopani rov obložen izolacijskim materijalom s plastičnom ili gumenom vrećom za prihvat bioplina i sl.



Slika 1. Jednostavno postrojenje s dvije komore (Filipini)



Slika 2. Načelo vertikalnoga bioplinskog postrojenja (Indija)



Slika 3. Fermentator s fleksibilnim omotačem

Količine plina mogu se ujednačiti postavljanjem više diskontinuiranih digestora da rade u pomaku od 1 do 2 tjedna.

Prema svom obliku fermentatori mogu biti vertikalni, horizontalni ili tzv. »Bag-Tube-Digesters« [3], [8].

Načelo **vertikalnog fermentatora** prikazano je na slici 2. Može biti površinski ili ukopan u tlo. Plin koji se tu stvara diže se i zadržava u spremniku plina i odatle (uz kontrolu pritiska) odlazi do trošila ili se sprema u posebni visokotlačni spremnik. U takvim reaktorima, radi postizanja optimalnih količina bioplina potrebno je miješanje.

Kod **horizontalnih tipova** fermentatora visina reaktora manja je od njegove širine i dužine. Mogu se ugraditi u tlo ili površinski. Za takve se reaktore ističe kao prednost dugačak put od ulaza do izlaza truležne biomase, no zato je otežano miješanje supstrata. Proizvedeni plin sprema se izvan rektora.

Treći tip (Bag-Tube-Digester) zapravo je gumeni ili plastični balon u kojem se vrši fermentacija i zadržava plin (slika 3).

Takvim se sustavom moguće masovno koristiti, no on se može graditi jedino na površini tla, a bilo kakvo miješanje je isključeno. Osim toga, taj tip digestora nije prikladan za područja s većim i naglim promjenama temperature.

5. NAČINI KORIŠTENJA BIOPLINA

5.1. Direktno izgaranje

Direktno izgaranje bioplina svakako je najjednostavniji način njegova korištenja. Vobbeov broj za bioplin iznosi 24.5, što znači da se može izravno koristiti kao zamjena zemnom plinu bez potrebe za izmjenom plamenika, dakako uz isti pritisak istjecanja plinova. Korištenje topline dobivene direktnim izgaranjem bioplina vrlo je raznoliko [9], [3]. Ovdje su nabrojene najčešće mogućnosti. Pri tome treba imati na umu da su energetski rezultati koji se postižu pri zamjeni pojedinih klasičnih goriva bioplinom uvijek nešto niži od toplinske vrijednosti bioplina.

Plinsko kuhalo i plinski štednjak koji se za rad koriste bioplinom, dosta se često susreću u praksi. Bioplin se do kuhala dovodi preko priključnog spoja NO 13 (promjer cijevi 1/2″). Potrošnja bioplina je između 0.7 i 1.2 m^3/h kod plinskog kuhala i oko 1.7 m^3/h kod plinskog štednjaka.

Zagrijavanje vode ili zraka. Uređaji za zagrijavanje vode ili zraka mogu se uspješno koristiti bioplinom kao zamjenom za propan-butan. Plamenici ostaju isti, a pritisak na izlazu mora biti što bliži donjoj granici radnog pritiska karakterističnog za taj uređaj. Prednost primjene bioplina u odnosu na kruta, pa i tekuća goriva jest u tome što izgara potpuno, bez čađe i pepela. Nedostatak bioplina je što nešto lošije gori i ima nestabilniji plamen. Zagrijana voda može se koristiti npr. u domaćinstvu, za grijanje prostorija ili za grijanje smjese u reaktoru.

Proizvodnja električne energije. Korištenje bioplina u ovu svrhu postaje sve ekonomski opravdanije zahvaljujući razvoju plinskih agregata. Danas se koristi više tipova agregata različitih snaga od 80 kW do 350 kW.

Da se na ovom području primjene daleko otišlo, govori i primjer plinske elektrane iz Lamara u Koloradu. Bioplin dobiven iz ekskremenata 40 000 goveda s tamošnjih velikih farmi čini polovicu plina potrebnog za tu 50 MW elektranu.
Uračunavajući i gubitke u agregatu, proizlazi da se od svakog m^3 bioplina može dobiti 6 – 8 MJ, a ako se iskoristi i toplina ispušnih plinova, dobiva se još dodatnih 4 – 6 MJ energije.

Pokretanje motornih vozila. Bioplin se za pokretanje traktora ili automobila koristi već više od 50 godina, osobito u Njemačkoj. U tu svrhu upotrebljava se bioplin komprimiran u bocama, što bitno umanjuje ekonomičnost primjene, a ograničava i kretanje vozila.
Bioplin se uspješno može koristiti kako u otto-motoru, tako i u dizelskim motorima. Primjena se temelji na činjenici da bioplin ima oktanski broj 100 – 110, a metanski broj 135, što omogućuje njegovo korištenje i u strojevima s visokim stupnjem kompresije.

5.2. Korištenje u kemijskoj industriji

Dobivanje čađe ostvaruje se napotpunim izgaranjem bioplina. Taj način korištenja bioplina koristan je kada se njegov višak ne može upotrijebiti u druge svrhe ili kada transport bioplina do mjesta potrošnje nije ekonomičan.

Dobivanje acetilena može se ostvariti propuštanjem bioplina kroz Voltin luk ili ionizacijom plina u električnom polju visokog napona i frekvencije. Korištenje bioplina u tu svrhu opravdano je samo ako se raspolaže dovoljnim količinama i bioplina i struje.

Proizvodnja suhog leda. Budući da bioplin najčešće sadrži više od 30% CO_2, moguće je ostvariti proizvodnju suhog leda uz istovremeno znatno povećanje energetske vrijednosti bioplina s oko 22 MJ/m^3 na 33.5 MJ/m^3. Suhi led se obično proizvodi od plinova nastalih izgaranjem antracita. U usporedbi s tim načinom proizvodnje suhi led dobiven iz bioplina je i do dva puta jeftiniji.

6. EKONOMIČNOST PROIZVODNJE BIOPLINA

Kada se govori o ekonomičnosti proizvodnje bioplina, rezultati često nisu zadovoljavajući, pogotovo kod postrojenja manjih kapaciteta. Jedan od razloga jest nesagledavanje svih pozitivnih efekata bioplina. Naime, njegovu proizvodnju ne treba samo promatrati s energetskog stajališta, već i kao način proizvodnje kvalitetnog gnojiva i kao jedan od načina neutralizacije štetnih tvari u otpacima.

6.1. Proizvodnja energije

Pri korištenju bioplina u energetske svrhe pojavljuju se razni problemi koji bitno ograničavaju isplativost njegove proizvodnje. Prema dosadašnjim iskustvima, najbolji rezultati s proizvodnjom bioplina postižu se u toplijem klimatskom pojasu, gdje su izdaci za zagrijavanje mali. Stoga nije neobično da se u najnaprednije zemlje na ovom području ubrajaju Indija i Kina. U europskim izvedbama digestora na troškove zagrijavanja smjese često se troši i do 50% proizvedenog bioplina. Iskustvo pokazuje da se u području umjerenoga klimatskog pojasa za zagrijavanje reaktora mora upotrijebiti oko 1/3 proizvedenog plina. Također, pri korištenju bioplina kao energetskog izvora često se iskazuje problem usklađivanja proizvodnje i potrošnje. Pri tome treba imati na umu da čuvanje većih količina bioplina na duže vrijeme nije pogodno, a nepogodno je i njegovo transportiranje i komprimiranje zbog velikih dodatnih izdataka.

6.2. Dobivanje kvalitetnog gnojiva

Bioplin se uglavnom proizvodi od otpadnih materijala koji se i inače koriste kao gnojivo. Pri tome se misli na stajnjak i druge otpatke u poljoprivredi i stočarstvu. Postoje procjene prema kojima bi se pravilnim korištenjem raspoloživih otpadaka ukupna količina umjetnih gnojiva u mnogim zemljama s razvijenom poljoprivredom mogla smanjiti na polovicu i više [3]. Otpadni materijali kao što je stajnjak često se ne mogu upotrijebiti kao gnojivo neposredno nakon njegova nastanka. Uzroci su za to u neodgovarajućim količinama gnojiva u odnosu na potrebe za njim, eventualnoj prisutnosti otrovnih tvari, povećanju kiselosti zemljišta zbog porasta sadržaja organskih kiselina u stajnjaku kao i u nemogućnosti njegova dužeg čuvanja.

To su često dovoljni razlozi da se pristupi anaerobnoj obradi stajnjaka i otpadnih materijala stočarske i poljoprivredne proizvodnje. Pri tome se vrijednost stajnjaka kao gnojiva ne smanjuje, već je, naprotiv, ono kvalitetnije od neprerađenog stajnjaka. Razlog tome je što praktično cjelokupne količine originalno prisutnih hranjivih tvari — N, P, K ostaju nepromijenjene, dok se količina prisutnog ugljika u prerađenom stajnjaku smanjuje zbog stvaranja bioplina. To uvjetuje smanjenje odnosa C/N sa 30 na 15, što se smatra povoljnim s stajališta primjene prerađenog stajnjaka kao gnojiva. Najjednostavnije je da se kao gnojivo upotrijebi kompletna fermentirana smjesa, onakva kakva izlazi iz digestora. Takvo gnojivo može se dopremati na zemljište neposredno pomoću crpki ili posebnih cisterni.

Danas su već poznate teškoće koje proizlaze iz intenzivne primjene umjetnih gnojiva. Pogoršanje biološke ravnoteže, kao i fizikalno-kemijskih značajki zemlje, problemi su koji će u idućim godinama biti sve izraženiji. Zbog porasta zahtjeva za zdravom hranom u budućnosti teba očekivati intenzivnije korištenje prirodnih gnojiva, pri čemu bi prethodna anaerobna obrada stajnjaka i biomase mogla imati istaknutu ulogu.

6.3. Higijenski aspekti proizvodnje bioplina

Jedan od važnih aspekata proizvodnje bioplina koji treba svakako imati na umu pri određivanju ekonomičnosti njegove proizvodnje jest i zaštita okoliša [10]. Ona se ostvaruje neutralizacijom štetnih tvari

što se nalaze u svježem gnojivu i otpadnim vodama. Naime, u otpadnim vodama domaćinstava i stočarske proizvodnje često su prisutni različiti mikroorganizmi koji mogu uzrokovati širenje bolesti. Ako se svježi stajnjak rasipa po polju, raste opasnost od infekcije stoke koja dolazi u dodir sa kulturama što se na poljima nalaze. Smatra se da je zemljište u tom pogledu sigurno tek nakon mjesec dana od primjene stajnjaka. Kako se anaerobnom obradom stajnjaka i otpadnih voda uništava najveći dio patogenih mirkoorganizama, korištenje fermentirane mase kao gnojiva postaje s ovog stajališta manje opasno nego neposredno korištenje svježeg stajnjaka.

Još jedan važan učinak metanogene fermentacije kao načina obrade fekalne i otpadne tvari jest i uklanjenje zadaha na amonijak i ostale isparljive stajske plinove, što mogućuje fertilizaciju poljoprivrednih površina i u blizini nastamba. Nakon anaerobne obrade dobiva se supstrat s karakterističnim, ali ne i neugradnim mirisom koji podsjeća na miris seoskih domaćinstava koja se bave stočarskom proizvodnjom.

6.4. Moguća proizvodnja bioplina u Hrvatskoj

Radi određivanja količine bioplina i isplativost izgradnje digestora u Hrvatskoj potrebno je poznavati broj stoke i količine ekskremenata koje ona dnevno odnosno godišnje proizvodi. Na temelju podataka iz tablica 3. i 4, kao i na osnovi internih podataka Državnog zavoda za statistiku [11] o bilanci stoke u Hrvatskoj tijekom 1993. godine, izračunate su potencijalne godišnje količine bioplina koje bi bilo moguće proizvesti u Hrvatskoj.

No prethodno treba spomenuti nekoliko činjenica koje dosta utječu na dobivene rezultate. Ponajprije, vidimo da se od ukupnog broja goveda i peradi u Hrvatskoj na početku 1994. godine tek 20 – 30% nalazilo na većim farmama, u vlastištvu poljoprivrednih zadruga i prehrambeno-industrijskih poduzeća. Ostatak stočnog fonda otpada na rastrkana seoska domaćinstva, od kojih najveći broj ima 1 – 2 krave i 1 – 5 svinja koje ne mogu osigurati gotovo nikakav prihod, a isto tako ni veće pozitivne efekte zbog proizvodnje bioplina.

Rješenje je problema u potrebi podizanja farmi s više stoke, pa se stoga u Hrvatskoj, u sklopu programa »Hrvatski farmer«, zagovara izgradnja malih farmi (mini-farme) kapaciteta 10 – 50 grla goveda te svinjogojskih farmi s osnovnim stadom 30 – 90 krmača [12].

Kako se za proizvodnju bioplina isplati skupljati gnoj samo onih životinja koje nisu smještene na otvorenom ukupne količine raspoloživog stajnjaka nešto su manje od postojeće mase. Osim toga, u procjenama nisu uzete u obzir količine bioplina koje se mogu dobiti anaerobnom fermentacijom ostalih sirovina, npr. biljnih ostataka.

Dobiveni su sljedeći rezultati:

Na osnovi podataka o broju i prometu stoke u Hrvatskoj maksimalna godišnja proizvodnja bioplina iznosi oko 400 milijuna kubnih metara. Ako pretpostavimo da je proizvodnja bioplina isplativa samo kad je stajnjak već skupljen u posebnim bazenima, što je najčešće u farmama u društvenom sektoru, godišnja proizvodnja bioplina iznosi oko 100 milijuna kubnih metara. Znamo li da je za grijanje smjese do optimalne radne temperature (npr. 38 °C) potrebna oko 1/3 bioplina (naročito u zimskim mjesecima), korisna energija dobivena izgaranjem preostalih 67 mil. m³ bioplina mogla bi u godini dana zamijeniti oko 40 milijuna litara loživog ulja.

Danas se smatra da je uz prosječnu i racionalnu potrošnju količine topline dobivene iz bioplina moguće podmiriti potrebe za toplinskom energijom domaćinstava i mini-farme.

Ulaganja u izgradnju postrojenja nisu malena. Za već spomenuto postrojenje na farmi u Velikoj Trnovitici [2], koja je 1981. imala 350 rasplodnih krmača i godišnji promet 6 000 odojaka, cijena investicija bila je od 100 000 do 135 000 DEM prema tadašnjem tečaju. S obzirom na troškove grijanja farme koji su iznosili oko 33 000 DEM godišnje, ova investicija bi se isplatila za 3 – 4 godine. Današnje investicijske procjene [12] kreću se od minimalnih 2 000 do 3 000 DEM (kapacitet gnojišta za desetak krava zadovolja-

Tablica 3. Broj stoke i peradi u Hrvatskoj na početku 1994. godine

Vrsta životinje	Prosječna težina, kg	Broj stoke u društvenom sektoru	Broj stoke na individualnim posjedima
telad	105	9 956	40 790
junad	296	73 804	42 650
bikovi, krave, steone junice, volovi	400	7 788	343 720
prasad, do 2 mj.	14	76 509	317 970
svinje, 2 – 6 mj.	45	253 683	392 710
svinje, preko 6 mj.	130	46 782	259 430
konji	430	432	21 160
ovce	31	24 887	419 360
perad	5.8	5 896 716	6 606 440

Tablica 4. Prosječna dnevna proizodnja ekskremenata i bioplina [13]

Vrsta životinja	Težina, kg	Količine ekskremenata, l	Količine organske tvari, kg	Bioplin, m³/SJ
muzne krave	500	42	4	0.88
tovna goveda	500	25	2.2	0.48
telad	45 – 135	12	0.09	0.11
svinje	15 – 27	3.1	0.22	2.72
	27 – 68	3.9	0.32	1.75
	68 – 120	5.8	0.40	1.10
konji	500	30	5.8	1.70
ovce	500	36	5.8	1.70
kokoši nesilice	230 100 kokoši	14	2.5	2.53

va potrebe domaćinstva) pa do 30 000 DEM i više (kapacitet gnojišta za više stotina krava). Dakako da kao sirovine u obzir dolaze i drugi otpaci. Uložena sredstva vraćaju se u roku 3 do 6 godina uz velike uštede na troškovima energije. Sama proizvodnja bioplina uglavnom nema neko komercijalno značenje (plin se malokad prodaje drugim), ali pridonosi rentabilnosti stočnih farmi.

7. ZAKLJUČAK

Iako se o bioplinu govori već preko četrdeset godina, ukupna razina znanja i iskustva u vezi sa samim procesom još se ne može smatrati zaokruženim, jer se stalno pronalaze nova tehničko-tehnološka rješenja koja pridonose ekonomičnijoj proizvodnji bioplina. Bioplin se može koristiti direktnim izgaranjem za grijanje, pogon motora, kao i za proizvodnju električne energije. U našim klimatskim i ekonomskim uvjetima proizvodnja bioplina vezana je za niz ograničavajućih činitelja:

1. osnovna sirovina u poljoprivredi je stajnjak, no oko 70 – 80% stočnog fonda nalazi se na individualnim usitnjenim gospodarstvima za koje sistemi za proizvodnju bioplina nisu uvijek ekonomični, čak ni uz nizak tehnološki nivo;
2. optimalna temperatura za održavanje procesa anaerobne fermentacije jest oko 38 °C, što znači da se jedan dio bioplina — a zimi i do 50%, mora utrošiti za održavanje samog procesa, pa se time energetsko korištenje raspoloživih količina znatno smanjuje;
3. eventualna proizvodnja električne energije iz bioplina vezana je za visoke investicijske troškvoe, kao i uz problem prodaje potencijalnih viškova;
4. postrojenja za proizvodnju bioplina relativno su skupa ako ih gledamo s isključivo energetskog stajališta.

Na osnovi toga može se zaključiti da je proizvodnja bioplina isplativa ako se tijekom cijele godine raspolaže jednakim količinama stajnjaka i prikladnim potrošačima koji podnose variranja raspoloživih količina bioplina. Pri tome će postupak anaerobne fermentacije biti sigurno prihvatljiv ako se istovremeno uz energetsku valorizaciju bioplina cijeli proces gleda i kao izvor kvalitetnog gnojiva i kao način zaštite okoliša.

Današnje spoznaje pokazuju da unatoč prethodno spomenutim ograničavajućim faktorima postrojenja za proizvodnju bioplina postaju standardni pratitelj većine stočnih farmi zapadne Europe i Azije, osiguravajući pritom njihovu djelomičnu ili potpunu energetsku nezavisnost. Podaci o mogućim uštedama fosilnih goriva govore u prilog bioplinu kao aditivnom energetskom izvoru. Mišljenje je autora da ozbiljnijim i detaljnijim pristupom ovoj energetskoj opciji stočarske farme i seoska domaćinstva u Hrvatskoj sigurno mogu u proizvodnji bioplina pronaći svoje interese.

LITERATURA

[1] UN: »Energy Planing in Developing Countries«, New York, 1984.

[2] M. JAKŠIĆ: »Grijanje na stajski gnoj«, Vjesnik, 18. 1. 1981.

[3] Grupa autora: »Biogas — proizvodnja i primena«, Novi Sad 1985.

[4] P. M. LIAO: »Efect of Liquid-Solid Saparation on Biogas Production from Dairy Manure«, Energy in Agriculture, 3/1984.

[5] M. KAYHANIAN, K. LINDENAUER: »Two Stage Processes Combines Anaerobic and Aerobic Mathods«, BioCycle, March 1991.

[6] P. HOCHREIN, T. OUTERBRIDGE: »Anaerobic Digestion for Soil Amendment and Energy«, BioCycle, June 1992.

[7] R. GOGALA: »Elektrarna na smetišču«, Dnevnik, 14. 5. 1994.

[8] J. L. WELSH: »Handbook on Biogas Utilization«, Georgia Institut of Atlanta, 1988.

[9] J. IVOŠ, B. KRSNIK, S. KOVAČEVIĆ. »Korištenje bioenergije u stočastvu«, Veterinarska stanica 4, 1982.

[10] A. ASAJ i suradnici: »Higijensko-ekonomski aspekti bioplina u stočarstvu«, Veterinarski glasnik 36(2) 1982.

[11] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske: Interni dokumenti

[12] Hrvatski farmer: »Programi razvoja obiteljskih gospodarstava«, Zagreb, 1992.

[13] »Biogas Handbuch«, Aarau, 1984.

POSSIBILITIES OF BIO-GAS PRODUCTION IN CROATIA

Getting energy from the bio-mass is the oldest energy option. Today direct combustion and fermentation of bio-mass into alcohol and heating of bio-mass without air conduction (so called dry destilation) are more or less known and described energy transformations. As distinguished from them, there are very few data on anaerobic bio-mass fermentation and bio-gas production, and this work tries to fill in the existing information lack. Beside a short review of bio-gas characteristics and technologies of its production, the paper also offers the estimation of possible bio-gas production of Croatia.

UMFANG DER ERZEUGUNGSMÖGLICHKEITEN VON BIO-GAS IN KROATIEN

Die älteste Möglichkeit der Energiegewinnung ist ihre Erzeugung aus der Biomasse. Direkte Verbrennung, Verwandlung der Biomasse in Alkohol und die erwärmung der Biomasse ohne Luftzufuhr (Entgasung) sind heutzutage mehr oder weniger allgemein bekannte und veröffentlichte energetische Umwandlungen. Demgegenüber gibt es bei uns kaum Angaben über die Gärung der Biomasse ohne Luftzufuhr; dieser Artikel stellt den Versuch dar dem bestehenden Informationsmangel entgegenzusteuern. Neben einem kurzen Einblick in die Merkmale des Bio-Gases und in dessen Erzeugungsverfahren, wird in diesem Artikel eine Bewertung des möglichen Umfanges der Bio-Gas Erzeugung in Kroatien gegeben.

Naslov pisca:

Josip Lebegner, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda,
Direkcija za razvoj i inženjering,
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-01-10

PATENTI

Proizvodi ljudskog duha, intelekta kao i materijalna dobra intelektualno su vlasništvo, koje se može podijeliti na industrijsko vlasništvo i autorska i srodna prava. *Industrijsko vlasništvo* je oznaka za subjektivno pravo koje se odnosi na izume, žigove, modele i uzorke, te oznake podrijetla proizvoda. Prava industrijskog vlasništva stječu se odlukom nadležnog državnog tijela. *Autorskim pravom* je regulirana zaštita autorskih djela, tj. svih duhovnih ostvarenja iz područja znanosti, književnosti i umjetnosti i drugih oblika stvaralaštva, a stječe se objavljivanjem autorskoga djela.

Izum je novo tehnički izvodljivo i primjenljivo tehničko rješenje određenog problema, a štiti se patentom. *Patentom* se označava pravo i patentna isprava, koju je izdao nadležni državni organ, a kojom se potvrđuje da određenoj osobi pripada patent za određeni izum.

Zaštita intelektualnog vlasništva regulirana je nizom međunarodnih sporazuma i ugovora od kojih je neke potpisala i Republika Hrvatska. To su:

— Konvencija o ustanovljenju Svjetske organizacije za intelektualno vlasništvo
— Pariška konvencija za zaštitu industrijskog vlasništva
— Lokarnski sporazum o ustanovljenju međunarodne klasifikacije za industrijske uzorke i modele
— Madridski sporazum o međunarodnoj klasifikaciji proizvoda i usluga radi registracije žigova
— Ničanski sporazum o međunarodnoj klasifikaciji proizvoda i usluga radi registracije žigova
— Bernska konvencija za zaštitu književnih i umjetničkih djela
— Briselska konvencija o distribuciji signala za prijenos programa preko satelita.

Za promicanje zaštite intelektualnog vlasništva te poticanje stvaralačke aktivnosti na međunarodnom nivou osnovana je *Svjetska organizacija za intelektualno vlasništvo WIPO* (World Intellectual Property). To je međunarodna organizacija država i djeluje pri Ujedinjenim narodima. Osnovana je 1967. godine Konvencijom o ustanovljenju sa sjedištem u Ženevi.

Državni zavod za patente predstavlja državni organ nadležan za industrijsko vlasništvo. Osnovan je nakon osamostaljenja Republike Hrvatske u listopadu 1991. godine. Usko surađuje s *Hrvatskim savezom inovatora.*

Državni zavod za patente Republike Hrvatske izdaje stručno-informativno glasilo *»Hrvatski patentni glasnik«* za područje industrijskog vlasništva. Ujedno priprema 6. izdanje *Međunarodne klasifikacije patenata na hrvatskom jeziku.*

Državni zavod za patente raspolaže *bazom podataka kompletnog registra međunarodno registriranih žigova,* te pruža usluge pretraživanja ove baze na zahtjev zainteresirane osobe uz plaćanje propisanih troškova.

Ubrzo nakon preuzimanja bivšeg saveznog *Zakona o zaštiti izuma, tehničkih unapređenja i znakova razlikovanja* (NN 53/91 doneses je *Zakon za zaštitu industrijskog vlasništva,* NN 19/92, NN 61/92, 26/93, 29/93, 94/93 i 100/93).

Područne informacijske jedinice u osnivanju po županijama obuhvatit će pomoć pri definiranju i pribavljanju relevantnih informacija o industrijskom vlasništvu, te davanje savjeta i uputa o načinu i postupku stjecanja industrijskog vlasništva u Republici Hrvatskoj.

Državni zavod za patente angažiran je na formiranju *Fonda za unapređenje inventivnog rada,* čije će djelovanje biti usmjereno prema izumiteljima pojedincima.

Zaštita intelektualnog vlasništva od izuzetne je važnosti kako za nositelja, tako i za državu, jer je jedan od pokazatelja nacionalnog bogatstva i kulture. Uvjet napretka svake države jest poticanje intelektualnog stvaralaštva. Sustav zaštite industrijskog vlasništva osigurava i znanstvenicima i znanstvenim organizacijama zaštitu rezultata znanstvenih istraživanja i njihovo uvođenje u gospodarski razvoj. Gospodarstvo dobiva nove poticaje, a znanost, kapitalizacijom istraživačkih rezultata unapređuje osnovicu vlastitoga djelovanja.

mr. *Slavica Barta-Koštrun,* dipl. ing.

FREKVENCIJSKA OVISNOST PARAMETARA ENERGETSKIH KABELA

dr. Srete Nikolovski — Saša Miletić, Osijek

UDK 621.315.2:621.317.616
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazan je matematički model za proračun parametara energetskih kabela. Korišten je program za računalo koji se temelji na modalnoj analizi i omogućuje izračun parametara kabela za različite frekvencije, što je potrebno u studijama prijelaznih pojava u kabelima. U radu su analizirane frekvencijske ovisnosti parametara kabela, i to djelatnog otpora, induktiviteta, kapaciteta, karakteristične impedancije, modalne valne brzine i modalne konstante prigušenja.

Ključne riječi: energetski kabel, modalna teorija, parametri kabela, frekvencijska ovisnost parametara kabela

1. UVOD

Danas se srećemo s različitim vrstama kabela glede njihove konstrukcije i načina polaganja, tako da je teško načiniti program za proračun parametara kabela koji bi obuhvatio svu tu raznolikost. Na drugoj pak strani, potreba za analizom valnih pojava i prenapona u kabelskim sustavima postaje sve važnija. Sve veći razvoj, proizvodnja i primjena kabela u elektroenergetskom sustavu Hrvatske, posebice primjena podmorskih kabela (otočne veze) opravdava primjenu jednoga točnoga i djelotvornoga programa koji omogućuje analizu parametara kabela i u stacionarnom stanju i prilikom prijelaznih pojava u kabelima. U ovom članku izložen je model programa za proračunom parametara energetskih kabela i izvršena, na temelju tog programa, analiza njihove frekvencijske ovisnosti.

Prikazan je matematički model koji se temelji na modalnoj analizi koja je iskorištena u alternativnom tranzijentnom programu za proračun elektromagnetskih prijelaznih pojava u EES-u (ATP-EMTP). Program pod imenom »CABLE CONSTANTS« kao njegov sastavni dio omogućuje izračun sljedećih parametara energetskih kabela:

— jedinične impedancije Z' (Ω/m)
— jedinične admitancije Y' (S/m)
— karakteristične impedancije Zc (Ω)
— konstante prigušenja a (db/km)
— valne brzine v (m/s).

Osim tih veličina moguć je izračun i ispis matrica posebice, jediničnoga djelatnog otpora (R'), jediničnog induktiviteta (L'), jedinične vodljivosti (G') i jediničnoga kapaciteta (C') kabela. U radu se prikazuje modeliranje i proračun parametara koaksijalnih energetskih kabela i ako sam program za računalo omogućuje i analizu parametara standardnih trofaznih kabela i posebnih konstrukcija kabela s okružujućom cijevi (cijevasti kabeli).

Teorijski pristup modeliranju i proračunu parametara energetskih kabela istovjetan je onom za modeliranje nadzemnih vodova [3] jer se oba modeliranja oslanjaju na korištenje modalne analize. U zadnjim godinama stanje razvoja metoda i modela za određivanje parametara kabela znatno je uznapredovalo radovima H. W. Dommela, L. M. Wedepohla, D. J. Wilcoxa, G. W. Browna, A. Ametanija i drugih autora koji su doveli do opće formulacije matrice impedancija i matrica admitancija jednožilnih koaksijalnih i cjevastih kabelskih sustava.
U ovom radu bit će izložene teorijske osnove modela za proračun parametara energetskih kabela, a zatim na konkretnom energetskom 110 kV kabelu, XHE-48-A 1 000 mm² izvesti istraživanje kako se mijenjaju parametri kabela u ovisnosti o promjeni frekvencije. Termin parametar kabela rabi se umjesto ustaljenog izraza »konstanta« kabela jer se time upravo želi naglasiti da »konstante« kabela nisu fiksne veličine već su ovisne o frekvenciji.

2. MATEMATIČKI MODEL

Naponi i struje bili kojeg višefaznog n-vodičkog prijenosnog sustava mogu se predstaviti sljedećim matričnim jednadžbama:

$$\frac{d}{dx}[V] = -[Z'][I] \tag{1}$$

$$\frac{d}{dx}[I] = -[Y'][V], \tag{2}$$

gdje su

$[V]$ — vektor stupac faznih napona
$[I]$ — vektor stupac faznih struja
$Z'_{ij} = R'_{ij} + j\,\omega L'_{ij}$ jedinična serijska impedancija između i-tog i j-tog vodiča u sustavu
$Y'_{ij} = G'_{ij} + j\,\omega C'_{ij}$ jedinična poprečna (shunt) admitancija između i-tog i j-tog vodiča.

Jednadžbe (1) i (2) predstavljaju uzajamnu ovisnost napona i struja u faznoj domeni, pri čemu su parametri $R'_{ij}(\omega)$, $G'_{ij}(\omega)$, $L'_{ij}(\omega)$, $C'_{ij}(\omega)$ frekvencijski ovisni. Prethodne dvije jednadžbe mogu se još jednom derivirati i dobiti jednadžbe:

$$\frac{d^2}{dx^2}[V] = -[Z'][Y'][V] \tag{3}$$

$$\frac{d^2}{dx^2}[I] = -[Y'][Z'][I] \tag{4}$$

Prethodni sustav diferencijalnih jednadžbi vrlo je teško, ako ne i gotovo nemoguće riješiti u općem slučaju jer su sve faze u uzajamnoj elektromagnetskoj vezi. Matematički rečeno, matrični umnošci $[Z']^*[Y']$ i $[Y']^*[Z']$ nisu isti jer imaju različite izvandijagonalne elemente. Međutim moguće je modalnom teorijom dijagonalizirati matrice i time sustav od »n« uzajamno vezanih jednadžbi u faznoj domeni razvezati u »n« međusobno razdvojenih jednadžbi u modalnoj domeni. Razvezane jednadžbe u matričnoj formi dane su jednadžbom (5):

$$\frac{d^2}{dx^2}[V_{mod}] = [\Lambda][V_{mod}]. \tag{5}$$

Matrični produkt $[Z']^*[Y']$ u jednadžbi (3) predstavlja kvadrat matrice konstanti rasprostiranja n-vodičkog prijenosnog sustava.

Transformiranje faznih veličina u modalne veličine i obrnuto provodi se primjenom linearne transformacije. Za napone ta transformacija prikazana je sljedećim jednadžbama:

$$[V_f] = [T_v][V_{mod}] \tag{6}$$

$$[V_{mod}] = [T_v]^{-1}[V_f]. \tag{7}$$

Zamjenom jednadžbi (6) i (7) u jednadžbu (3) dobivamo:

$$\frac{d^2}{dx^2}[V_{mod}] = [T_v]^{-1}[Z'_f][Y'_f][T_{vf}][V_{mod}] \tag{8}$$

gdje je s obzirom na jednadžbu (5), matrica modalnih konstanti rasprostiranja dana izrazom:

$$[\lambda] = [T_v]^{-1}[Z'_f][Y'_f][T_{vf}]. \tag{9}$$

Određivanje matrice transformacije $[T_v]$ kojom se dijagonalizira matrični umnožak $[Z']^*[Y']$ jest problem koji rješava matrična algebra teorijom vlastitih vrijednosti i vlastitih vektora matrice [3]. Vlastita vrijednost matričnog produkta $[Z']^*[Y']$ može se izračunati definirajući vlastitu matricu matričnog produkta kao matricu $[\Lambda]$ iz jednadžbe (8) koju dijagonalizira vlastiti vektor, matrica $[T_v]$ koja je ekvivalentna matrici transformacije između faznih i modalnih veličina. Program CABLECONSTANTS koristi modificiranu LR — transformaciju autora Rutishauera za dijagonaliziranje matričnog umnoška. Kada se dobije dijagonalizirana matrica $[\Lambda]$, može se izračunati i njezin kvadratni korijen i time odrediti modalne konstante rasprostiranja za svaki mod:

$$[\gamma] = [\Lambda]^{\frac{1}{2}}. \tag{10}$$

Iz modalnih konstanti rasporstiranja stvarne konstante mogu se dobiti inverznom matričnom transformacijom. Konstanta rasprostiranja dana je izrazom

$$\gamma = \alpha + j\beta, \tag{11}$$

gdje je

α — konstanta rasprostiranja

β — fazna konstanta

Fazna valna brzina dana je izrazom

$$v = \frac{\omega}{\beta}. \tag{12}$$

Valna dužina dana je izrazom

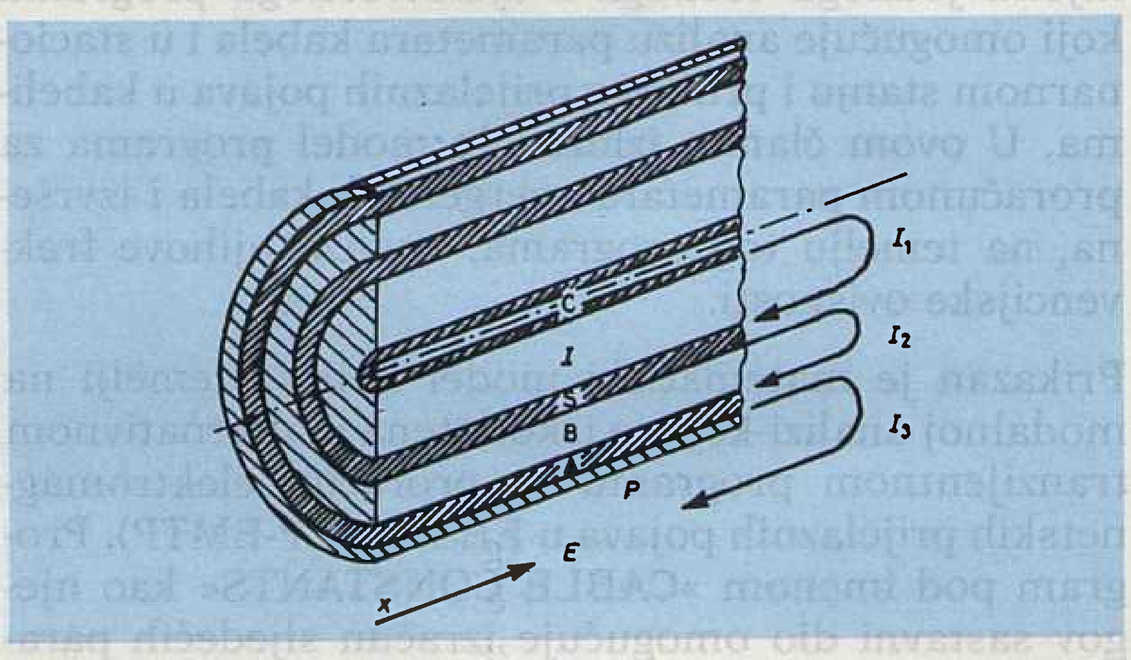
$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \tag{13}$$

Karakteristična impedancija kabela dana je izrazom

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z'}{Y'}} \tag{14}$$

gdje se jedinična impedancija Z' i jedinična admitancija Y' izračunavaju pomoću relacija Carsona i Pollaczeka danih u [3].

U radu će biti analizirani parametri jednožilnih koaksijalnih kabela i njihova frekvencijska ovisnost, iako sam program omogućuje i izračun parametara trofaznih višežilnih kabela, kao i specijalnih kabela u cijevima kojih još nema u upotrebi kod nas. Za koaksijalni energetski kabel prikazan na sl. 1, koji se sastoji u općem slučaju od faznog vodiča, plašta i armature, prikazane su strujne petlje.



Slika 1. Strujne petlje koaksijalnog kabela s jezgrom plaštom i armaturom

Na temelju te slike serijska impedancija ovih triju strujnih petlji može se napisati trima uzajamno vezanim jednadžbama u matričnom obliku

$$-\frac{d}{d_x}\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'_{11} & Z'_{12} & 0 \\ Z'_{21} & Z'_{22} & Z'_{23} \\ 0 & Z'_{32} & Z'_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \tag{15}$$

Izrazi za vlastite i uzajamne impedancije izuzetno su složeni i detaljnije opisani u [3]. Pogodniji je izraz (15) napisati u obliku prihvatljivijem za računalo, gdje figuriraju naponi i struje vodiča (jezgre), plašta i armature, a što se može uraditi uvođenjem sljedećih relacija:

$$V_1 = V_j - V_p \qquad I_1 = I_j$$
$$V_2 = V_p - V_a \qquad I_2 = I_p + I_j \qquad (16)$$
$$V_3 = V_a \qquad I_3 = I_a + I_p + I_j$$

gdje je

V_j — napon između faznog vodiča i referentne zemlje

V_p — napon između plašta i referentne zemlje

V_a — napon između armature i referentne zemlje.

Nakon preuređenja dobije se matrična jednadžba koja povezuje napone i struje faznog vodiča, plašta i armature:

$$-\frac{d}{d_x}\begin{bmatrix} V_j \\ V_p \\ V_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'_{jj} & Z'_{jp} & Z'_{ja} \\ Z'_{pj} & Z'_{pp} & Z'_{pa} \\ Z'_{aj} & Z'_{ap} & Z'_{aa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_j \\ I_p \\ I_a \end{bmatrix} \qquad (17)$$

gdje je

z_{jj} — vlastita impedancija faznog vodiča (jezgre) kabela

$z_{jp} = z_{pj}$ — uzajamna impedancija između jezgre i plašta kabela

$z_{ja} = z_{aj}$ — uzajamna impedancija između jezgre i armature

z_{pp} — vlastita impedancija plašta i kabela

$z_{pa} = z_{ap}$ — uzajamna impedancija između plašta i armature kabela

z_{aa} — vlastita impedancija kabela.

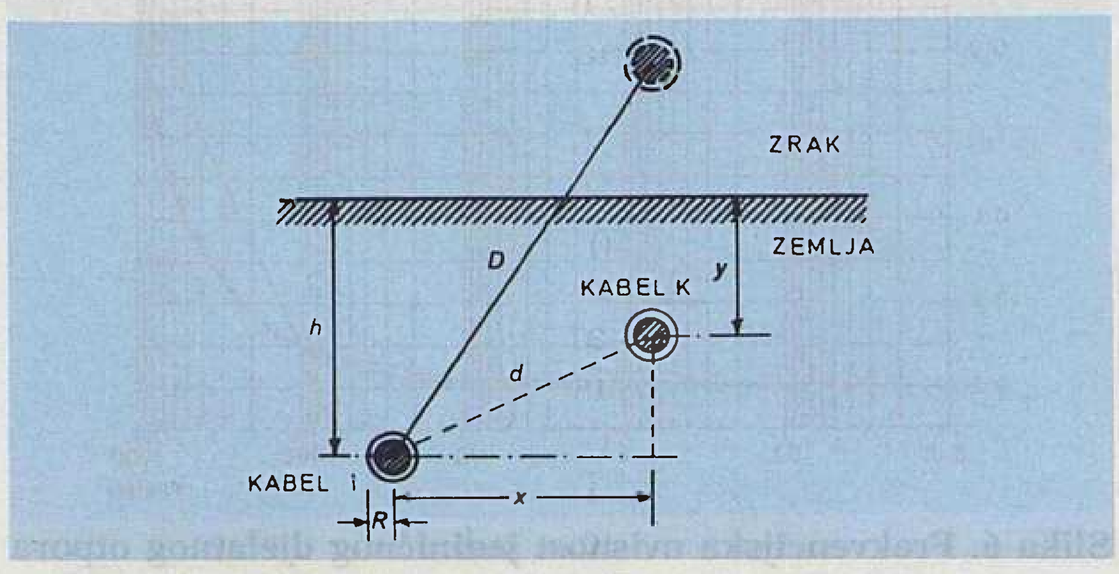
Točni izrazi za impedancije jezgre, plašta, armature dani su u [3] i zahtijevaju rješavanje beskonačnih redova. Paralelna admitancija za jednožilni koaksijalni kabel sa sl. 1, a shodno jednadžbi (2) ima oblik:

$$-\frac{dI_1}{dx} = (G'_1 + j\omega C'_1)V_1$$
$$-\frac{dI_2}{dx} = (G'_2 + j\omega C'_2)V_2$$
$$-\frac{dI_3}{dx} = (G'_3 + j\omega C'_3)V_3, \qquad (18)$$

gdje je

$Y_i = G_i + j\omega C_i$ admitancija i-tog vodiča.

Matematičkim modelom obuhvaćeno je više načina polaganja kabela, i to polaganje kabela u zraku, u zemlju i u moru. Ako se kabel polaže u zraku, koriste se relacije Carssona kao i za nadzemne vodove [5]. Ako su kabeli položeni u zemlju koristi se model polubeskonačne zemlje za koju je prvi izračunao parametre kabela Pollaczek, [3]. Na slici 2. prikazana je



Slika 2. Položaj kabela u modelu polubeskonačne zemlje

konfiguracija kabela u modelu polubeskonačne zemlje.

Za kabele položene u more koristi se model beskonačne zemlje ako je dubina prodiranja povratnog puta struje kroz zemlju mnogo manja od dubine polaganja $d << y$. Dubina prodiranja može se izračunati prema [3]:

$$d_z = \sqrt{\frac{\rho}{f}} \qquad (19)$$

Za podmorske kabele specifična otpornost morske vode ima tipične vrijednosti $r = 0.2 - 0.3$ m, pa je izraz za »d« zadovoljen preko cijelog opsega frekvencija od interesa za analizu prijelaznih pojava u kabelima.

3. PROGRAM ZA RAČUNALO

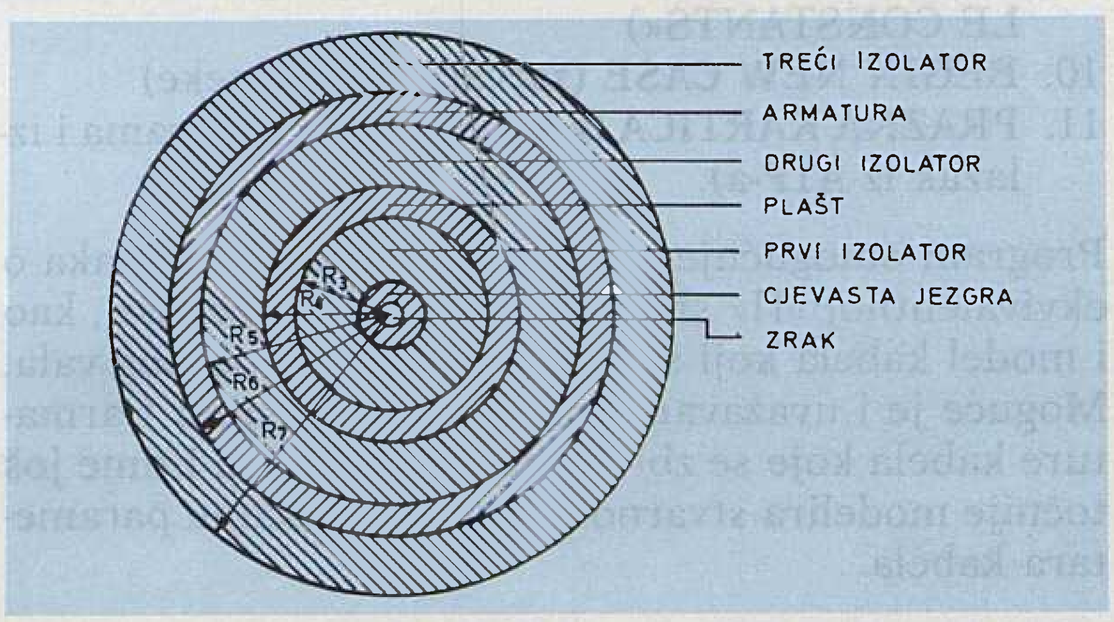
Računalni program »CABLE CONSTANTAS« obuhvaća tri skupine kabelskih sustava:

A — standardne koaksijalne jednožilne kabele, položene u zemlju, more ili zrak,

B — koaksijalne kabele s okružujućom cijevi (cijevasti kabeli)

C — nadzemne prijenosne vodove.

Skupina A može obuhvatiti sustav do 30 položenih jednožilnih kabela svaki s jezgrom, plaštom i armaturom, kao što je prikazano na slici 3.

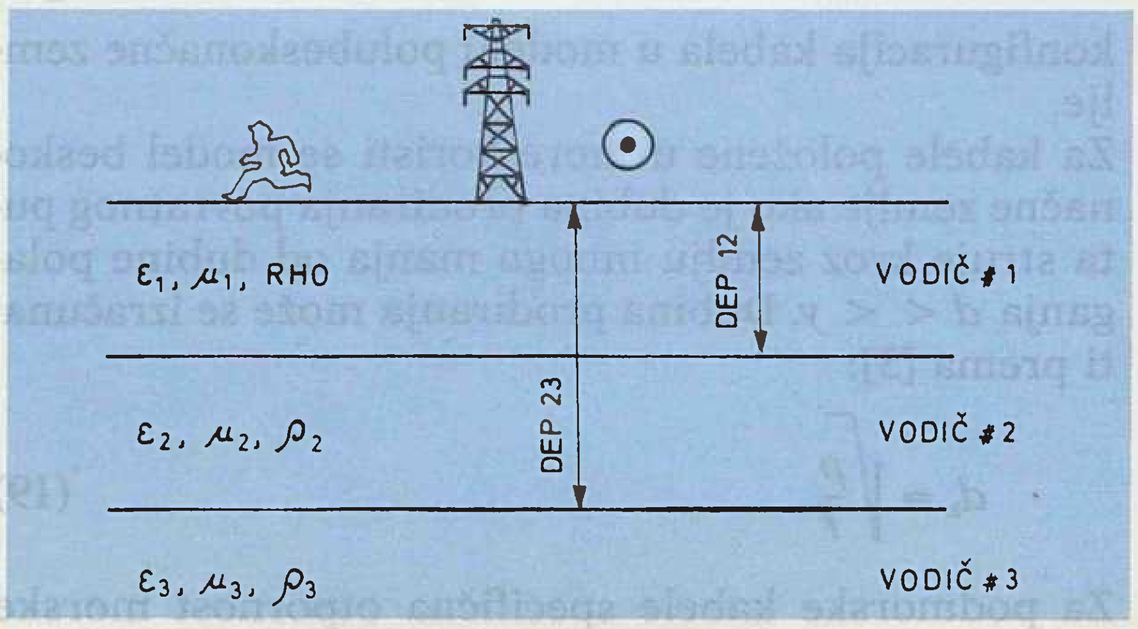


Slika 3. Presjek koaksijalnog energetskog kabela

U ovom radu analizirat će se grupa »A« standardnih jednožilnih koaksijalnih kabela položenih u zemlju. Program omogućuje izračun parametara kabela položenih u zraku, zemlji i u moru. Kod kabela položenih u zraku postoji mogućnost izbora modela zemlje, i to Carsonov homogeni model jednoslojne zemlje i Nakagawin model troslojne zemlje. Nakagawin model troslojne zemlje prikazan je na slici 4.

Sam program »CABLE CONSTANTS« sastoji se od jedanaest grupa programskih naredbi, kako slijedi:

1. BEGIN NEW DATA CASE (početak novog analiziranog primjera)
2. CABLE CONSTANTS (zahtjev za programom)
3. KARTICA MJEŠOVITIH PODATAKA (podaci o načinu polaganja, modelu tla, broju jednožilnih kabela, ispisu modalnih veličina, ispisu matrica



Slika 4. Nakagawin model troslojne zemlje

serijske impedancije [R], [L] ili [X] i poprečne admitancije [C], [B] ili obje

4. KARTICA BROJA VODIČA
5. KARTICA GEOMETRIJSKIH I FIZIKALNIH PODATAKA (podaci o geometriji vodiča, materijalu pojedinih slojeva, otpornost, magnetski permeabilitet, dielektrična konstanta prema sl. 3)
6. KARTICA SMJEŠTAJA KABELA (vertikalna i horizontalna udaljenost i uvjeti uzemljenja vodiča, plašta i armature kabela)
7. FREKVENCIJSKA KARTICA (podaci o frekvenciji i otpornosti tla ili logaritamskom nizu frekvencija posebice za Carssonov, a posebice za Nakagawin model zemlje)
8. PRAZNA KARTICA (završetak frekvencijske kartice)
9. PRAZNA KARTICA (završetak programa »CABLE CONSTANTS«)
10. BEGIN NEW CASE (zatvaranje datoteke)
11. PRAZNA KARTICA (završetak svih programa i izlazak iz ATP-a).

Program omogućuje i dobivanje izlaznih podataka o ekvivalentnoj »Π« shemi kabela visoke točnosti, kao i model kabela koji se koristi modelom putnog vala. Moguće je i uvažavanje preplitanja plašteva i armature kabela koje se zbiva kod nekih kabela i time još točnije modelira stvarno stanje pri izračunu parametara kabela.

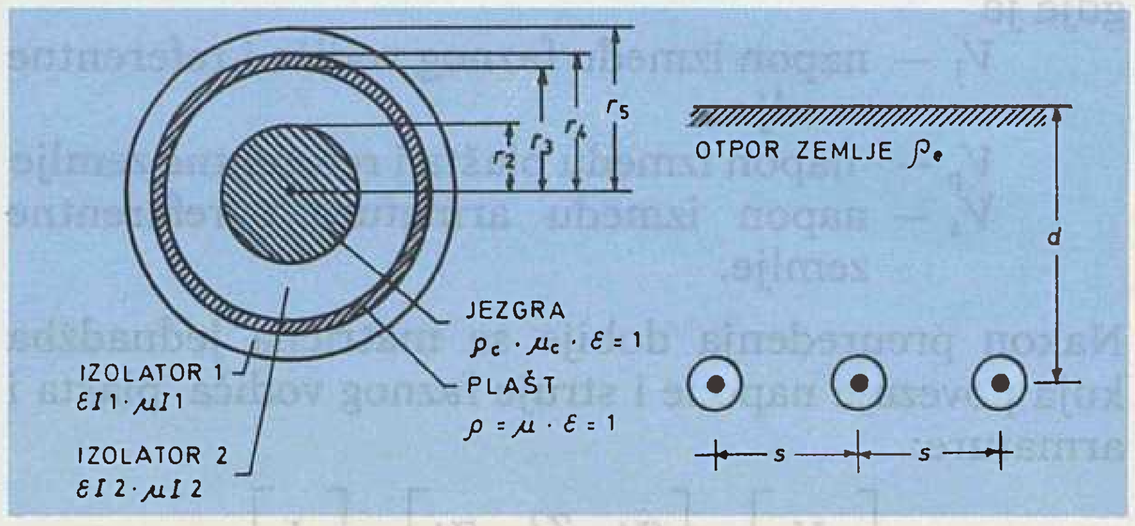
4. PRIMJER PRORAČUNA

Za primjer proračuna izražene su frekvencijske ovisnosti djelatnog otpora, induktiviteta, kapaciteta i valne impedancije 110 kV-tnog kabela XHE 48-A 1 000 mm², koji se sastoji samo od faznog vodiča (jezgre) i plašta, kako je prikazano na slici 5.

Podaci o geometrijskim veličinama i izolaciji kabela dani su u tablici 1.

Kabel je položen u zemlju specifične otpornosti $\rho = 50\ \Omega m$ na dubinu 0.8 m u horizontalnom rasporedu s razmakom između kabela 0.5 m, kao što je prikazano na slici 5.

Uzet je u analizu logaritamski slijed frekvencija u pet dekada s početnom frekvencijom od 10 Hz, a zatim slijedi niz od pet dekada sa po jednom frekvencijom po dekadi, i to 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz i 1 MHz. U tablici 2. sistematizirani su i prikazani podaci o parametrima kabela, jer su izlazne liste programa izuzetno opsežne.



Slika 5. Presjek i raspored kabela XHE-48 u zemlji

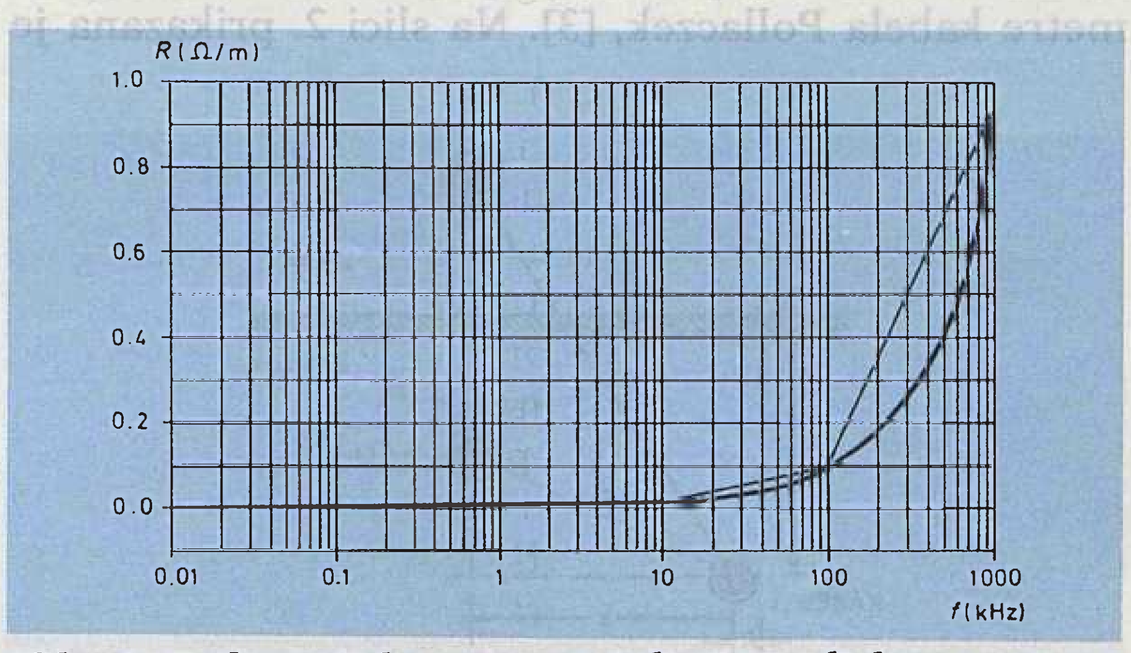
Tablica I. Podaci o kabelu XHE-48-A

POLUMJERI	r1 = 0 m , r2 = 19,96E – 3 m r3 = 36,20E – 3 m; r4 = 37,10E – 3 m r5 = 43,20E – 3 m.
IZOLATOR 1	εI1 = 2,3 ; μI1 = 1
IZOLATOR 2	εI2 = 2,3 ; μI2 = 1.
JEZGRA	ρc = 2,91E – 8 Ωm; μc = 1.
PLAŠT	ρs = 1,85E – 8 Ωm; μs = 1.

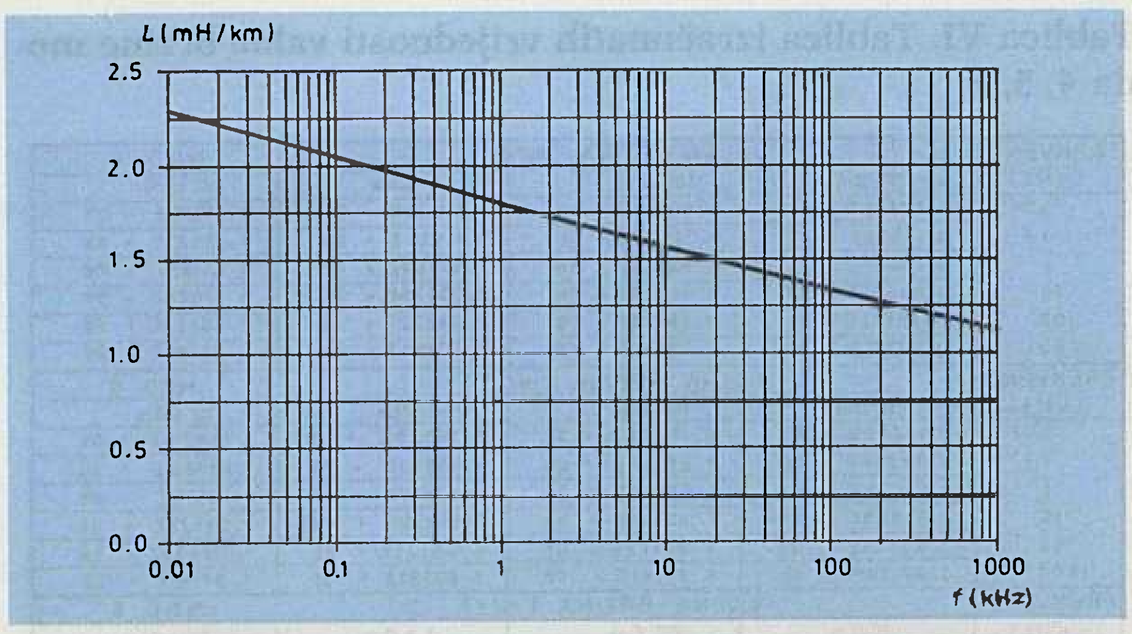
Tablica II. Tablica izračunatih vrijednosti temeljnih parametara kabela

FREKVENC. (kHz)	R (Ω/m)	L (H/m)	C (F/m)	Z_c (Ω)
0.01	3.32964E – 05	2.29204E – 06	2.09744E – 10	102.2397430
0.1	1.31283E – 04	2.05241E – 06	2.09744E – 10	79.09855465
1	1.06776E – 03	1.79697E – 06	2.09744E – 10	67.14418866
10	9.85270E – 03	1.56133E – 06	2.09744E – 10	64.23050000
100	9.35481E – 02	1.33842E – 06	2.09744E – 10	61.27880137
1000	9.11348E – 01	1.12781E – 06	2.09714E – 10	58.58328989

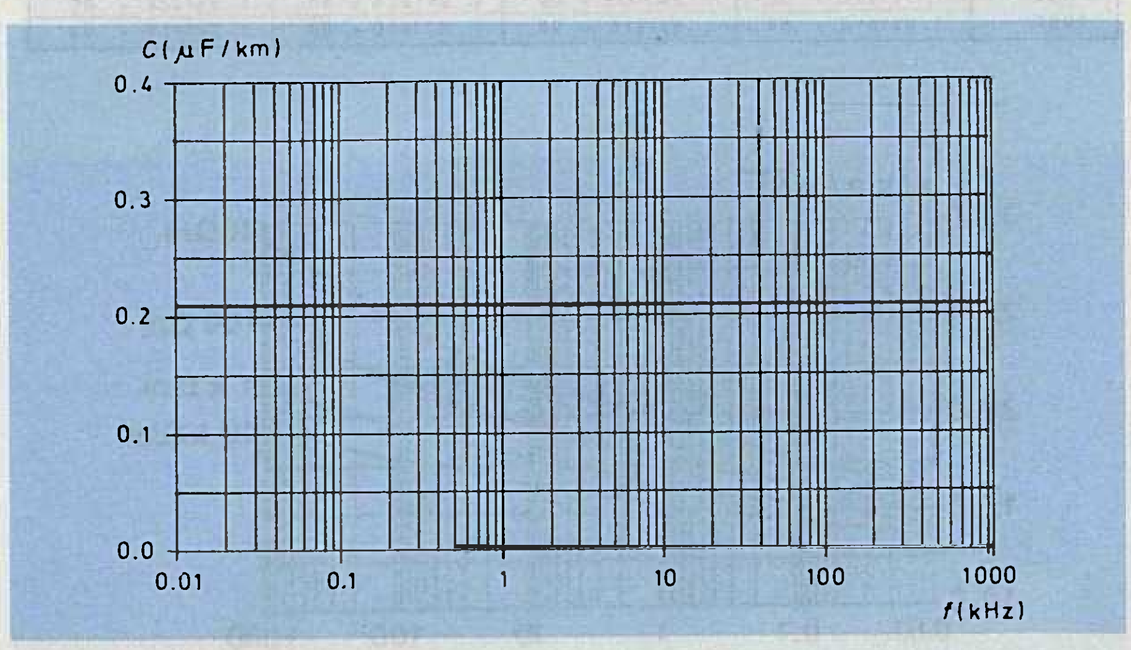
Frekvencijske ovisnosti parametara kabela XHE 48-A prikazane su dijagramima na slikama 6, 7, 8. i 9. Na slici 6. vidi se da djelatni otpor kabela raste pri frekvencijama višim od 100 kHz veoma brzo zbog skin-efekta za čiji se propračun koristi posebna podrutina »SKIN«. Sa slike 7. vidi se da induktivitet kabela gotovo linearno opada s povećanjem frekvencije zbog smanjenja dubine prodiranja povratnog puta vanjske strujne petlje prema relaciji (19). Kapacitet kabela pokazuje se neovisnim o promjeni frekvencije jer je njegova ovisnost samo o geometriji, diektričnim svojstvima izolacije i rasporedu vodiča unutar kabela, što je prikazano na slici 8. Promjena valne impedancije kabela koja je važna u studijama valnih prijelaznih pojava kreće se u rasponu od 102 Ω za frekvenciju od 10 Hz do 58 Ω za frekvenciju 1 MHz i prikazana je na slici 9.



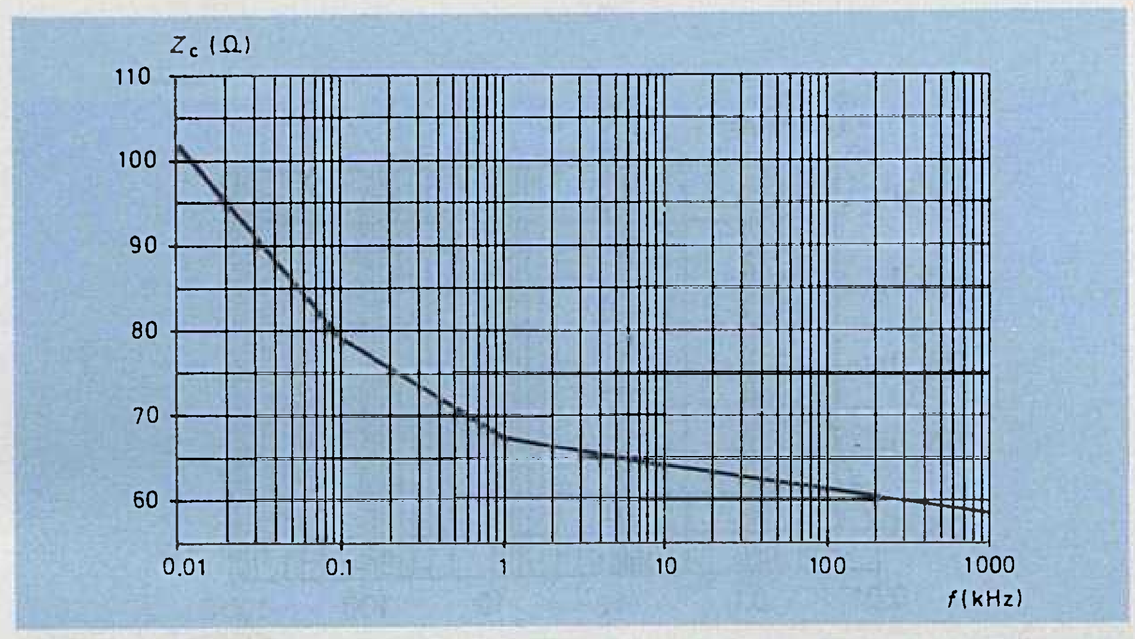
Slika 6. Frekvencijska ovisnost jediničnog djelatnog otpora kabela



Slika 7. Frekvencijska ovisnost jediničnog induktiviteta kabela



Slika 8. Frekvencijska ovisnost jediničnoga kapaciteta kabela



Slika 9. Frekvencijska ovisnost karakteristične impedancije kabela

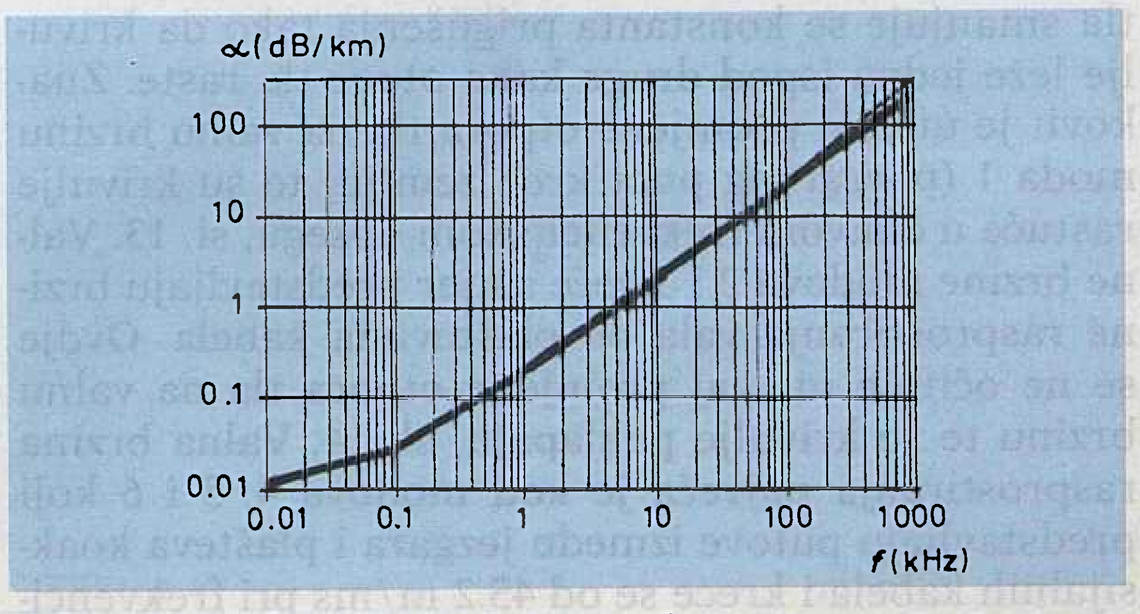
U daljnjem istraživanju analizirana je frekvencijska ovisnost manje značajnih modalnih parametara kabela i to valne brzine rasprostiranja i konstante prigušenja. Mijenjane su otpornosti tla od 10 Ωm do 10 kΩm u dekadama od po 10 Ωm i analiziran utjecaj otpornosti tla na valnu brzinu i konstantu prigušenja nekih karakterističnih modova. U tablici 3. prikazani su podaci proračuna za konstante prigušenja za sve modove od 1 do 6, a u tablici 4. prikazani su rezultati proračuna za valnu brzinu svih modova. Mod 1 je povratni put kroz zemlju i ima najveću konstantu prigušenja. Konstanta prigušenja kreće se od 0.013 dB/km pri frekvenciji od 10 Hz do 300.5 dB/km pri frekvenciji od 1 MHz pri otporu tla od 10 Ωm. Utjecaj promjene otpora tla postoji, ali nije znakovit, jer se krivulje gotovo preklapaju sl. 10. Modovi 2 i 3, koji predstavljaju putove između plašta i zemlje, imaju za red vrijednosti manje konstante prigušenja, ali je zato utjecaj promjene otpornosti tla na njih izrazitiji nakon frekvencije od 10 kHz, što je vidljivo i s dijagrama na sl. 11 za mod 2. Veće vrijednosti konstante prigušenja su kod manjih otpora tla. Konstanta prigušenja je još niža za modove 4, 5, 6 koji predstavljaju putove između jezgre i plašta svake faze kabela. Utjecaj promjene otpornosti tla na konstante prigušenja tih modova je neznatan jer se radi o putovima koji se zatvaraju između jezgre i plašta kabela, a što se vidi s dijagrama na sl. 12. za mod 4, jer se dijagrami za sve četiri vrijednosti otpora tla poklapaju.

Tablica III. Tablica izračunatih vrijednosti konstanti prigušenja moda 1, 2, 3

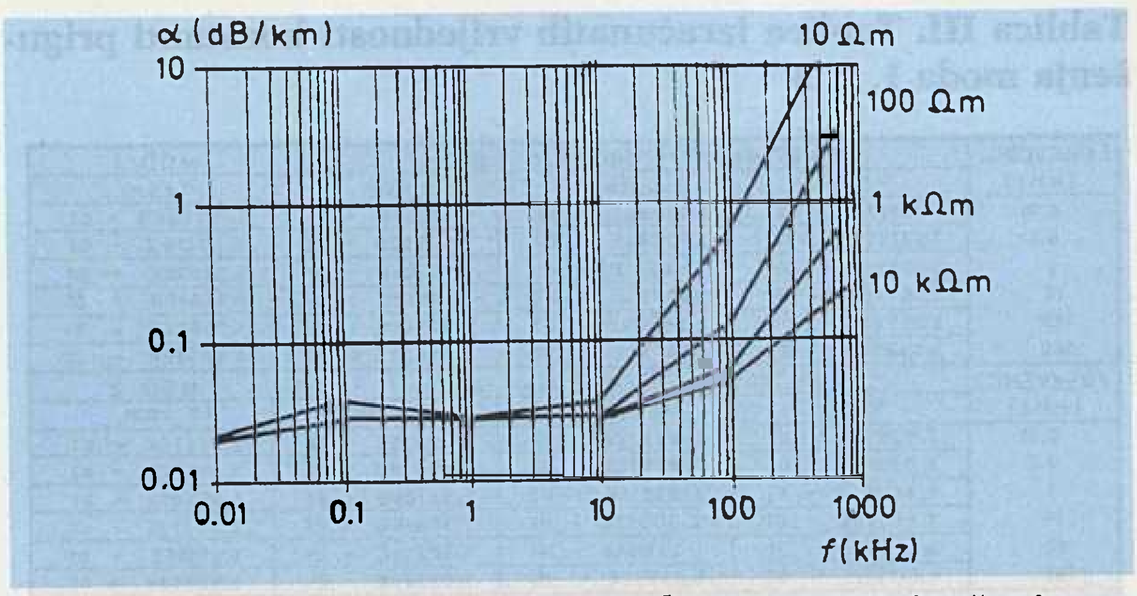
FREKVENC. (kHz)	KONSTANTA PRIGUŠENJA (dB/km) 10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	MOD 1 10 kΩm
0.01	1.30112E - 02	1.21060E - 02	1.13466E - 02	1.07064E - 02
0.1	2.93395E - 02	2.72353E - 02	2.54862E - 02	2.40219E - 02
1	2.03486E - 02	1.88419E - 01	1.75204E - 01	1.64038E - 01
10	2.06762E + 00	1.92027E + 00	1.77948E + 00	1.65510E + 00
100	2.26664E + 01	2.05582E + 01	1.90966E + 01	1.76978E + 01
1000	3.00497E + 02	2.26498E + 02	2.05432E + 02	1.90329E + 02
FREKVENC. (kHz)	KONSTANTA PRIGUŠENJA (dB/km) 10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	MOD 2 10 kΩm
0.01	2.03832E - 02	2.03828E - 02	2.03826E - 02	2.03824E - 02
0.1	3.03982E - 02	3.03972E - 02	3.03970E - 02	3.03970E - 02
1	2.86098E - 02	2.85218E - 02	2.85100E - 02	2.85083E - 02
10	3.67598E - 02	3.00072E - 02	2.90810E - 02	2.89312E - 02
100	6.27565E - 01	1.29664E - 01	6.20871E - 02	5.27915E - 02
1000	4.01320E + 00	5.94672E + 00	9.66539E - 01	2.90558E - 01
FREKVENC. (kHz)	KONSTANTA PRIGUŠENJA (dB/km) 10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	MOD 3 10 kΩm
0.01	1.99860E - 02	1.99860E - 02	1.99860E - 02	1.99860E - 02
0.1	3.71636E - 02	3.71504E - 02	3.71413E - 02	3.71346E - 02
1	3.46472E - 02	3.45480E - 02	3.44914E - 02	3.44554E - 02
10	3.94521E - 02	3.73095E - 02	3.64112E - 02	3.59100E - 02
100	2.02714E - 01	1.07233E - 01	8.59361E - 02	7.70387E - 02
1000	9.07017E + 00	1.62906E + 00	6.74057E - 01	4.61162E - 01

Tablica IV. Tablica izračunatih vrijednosti konstanti prigušenja moda 4, 5, 6

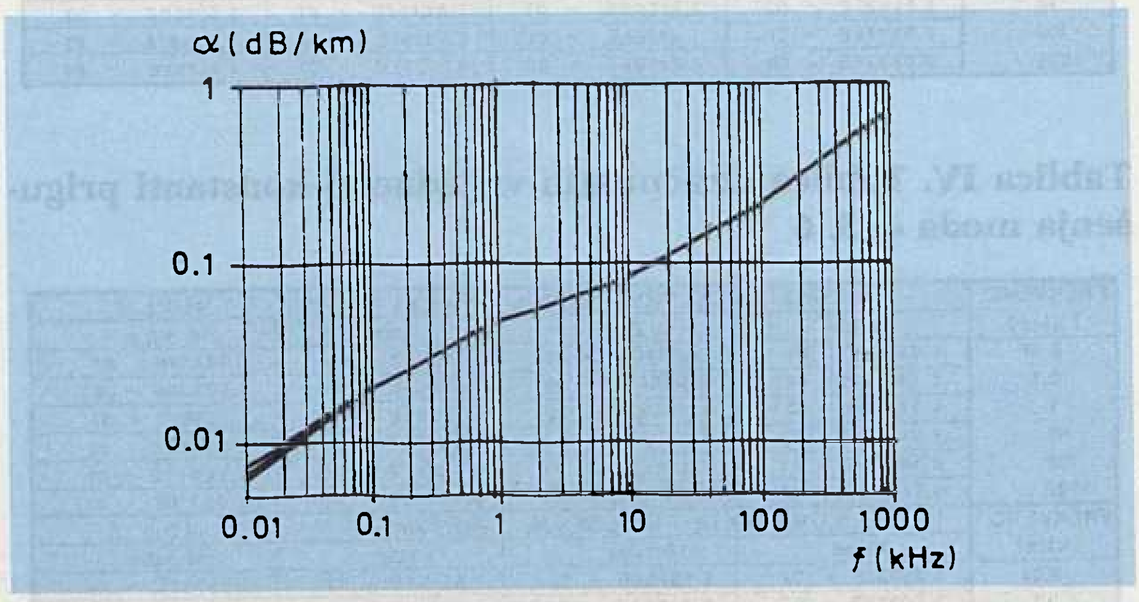
FREKVENC. (kHz)	KONSTANTA PRIGUŠENJA (dB/km) 10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	MOD 4 10 kΩm
0.01	6.28563E - 03	6.81180E - 03	7.21848E - 03	7.55417E - 03
0.1	1.98648E - 02	1.98649E - 02	1.98649E - 02	1.98649E - 02
1	4.76346E - 02	4.76354E - 02	4.76358E - 02	4.76361E - 02
10	8.34217E - 02	8.34218E - 02	8.34218E - 02	8.34218E - 02
100	2.14812E - 01	2.14812E - 01	2.14811E - 01	2.14811E - 01
1000	6.94413E - 01	6.94413E - 01	6.94413E - 01	6.94130E - 01
FREKVENC. (kHz)	KONSTANTA PRIGUŠENJA (dB/km) 10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	MOD 5 10 kΩm
0.01	1.65758E - 03	1.65758E - 03	1.65757E - 03	1.65757E - 03
0.1	2.60349E - 02	2.61953E - 02	2.63119E - 02	2.63999E - 02
1	4.77759E - 02	4.77761E - 02	4.77762E - 02	4.77762E - 02
10	8.34076E - 02	8.34078E - 02	8.34078E - 02	8.34078E - 02
100	2.14812E - 01	2.14812E - 01	2.14811E - 01	2.14811E - 01
1000	6.94413E - 01	6.94413E - 01	6.94413E - 01	6.94413E - 01
FREKVENC. (kHz)	KONSTANTA PRIGUŠENJA (dB/km) 10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	MOD 6 10 kΩm
0.01	1.69293E - 03	1.69276E - 03	1.69264E - 03	1.69255E - 03
0.1	1.59130E - 02	1.59185E - 02	1.59225E - 02	1.59255E - 02
1	4.79591E - 02	4.79780E - 02	4.79905E - 02	4.79992E - 02
10	8.33758E - 02	8.33763E - 02	8.33755E - 02	8.33756E - 02
100	2.14813E - 01	2.14813E - 01	2.14813E - 01	2.14813E - 01
1000	6.94413E - 01	6.94413E - 01	6.94413E - 01	6.94413E - 01



Slika 10. Frekvencijska ovisnost konstante prigušenja za mod 1



Slika 11. Frekvencijska ovisnost konstante prigušenja za mod 2



Slika 12. Frekvencijska ovisnost konstante prigušenja za mod 4

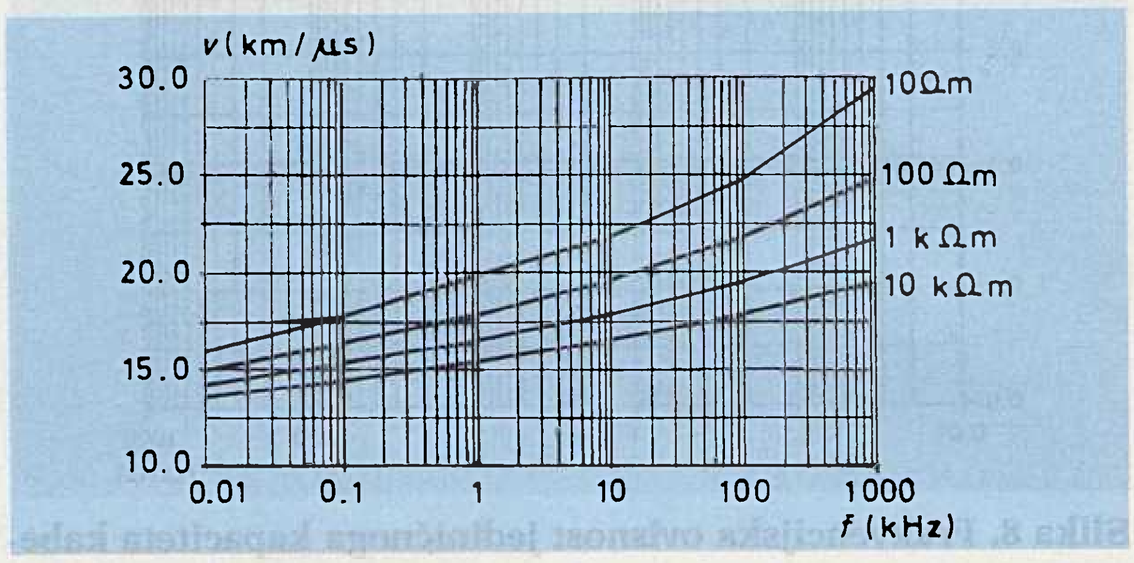
Glede valne brzine rasprostiranja različitih modova uočeno je iz tablica 5. i 6. sljedeće. Najmanja je brzina rasprostiranja za mod 1 i kreće se od 15.9 m/ms pri frekvenciji od 10 Hz do 29.5 m/ms za frekvenciju 1 MHz a za otpor tla od 10 Ωm. Pri većim otporima tla smanjuje se konstanta prigušenja tako da krivulje leže jedna ispod druge kako otpor tla raste. Znakovit je utjecaj promjene otpora tla na valnu brzinu moda 1 (povratnog puta kroz zemlju) te su krivulje rastuće u čitavom frekvencijskom opsegu, sl. 13. Valne brzine modova 2 i 3 veće su jer predstavljaju brzine rasprostiranja vala po plaštevima kabela. Ovdje se ne očituje utjecaj promjene otpora tla na valnu brzinu te se krivulje poklapaju, sl. 14. Valna brzina rasprostiranja najveća je kod modova 4, 5 i 6 koji predstavljaju putove između jezgara i plašteva koaksijalnih kabela i kreće se od 45.2 m/ms pri frekvenciji 10 Hz do 197.2 m/ms za frekvenciju od 1 MHz. Promjena otpora tla ne utječe na valnu brzinu modova 4, 5 i 6 te se ne uočava više krivulja, već samo jedna, sl. 15.

Tablica V. Tablica izračunatih vrijednosti valne brzine moda 1, 2, 3

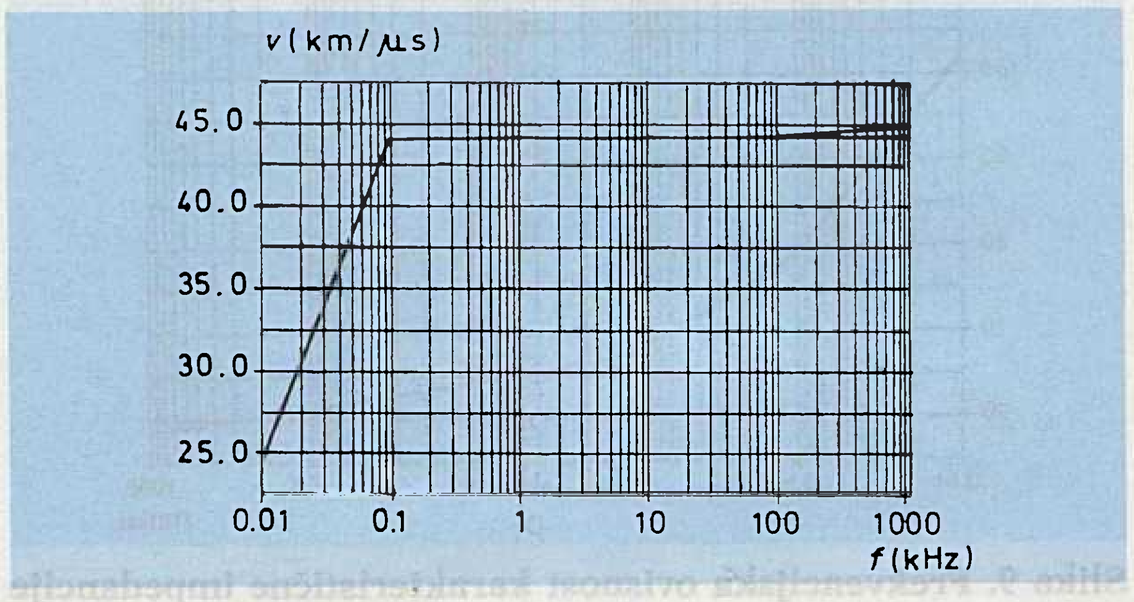
FREKVENC. (kHz)	VALNA BRZINA (m/s)			MOD 1
	10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	10 kΩm
0.01	1.59039E + 07	1.50176E + 07	1.42368E + 07	1.35509E + 07
0.1	1.77012E + 07	1.63830E + 07	1.53173E + 07	1.44342E + 07
1	1.94322E + 07	1.77350E + 07	1.64060E + 07	1.53337E + 07
10	2.16760E + 07	1.94376E + 07	1.77385E + 07	1.64084E + 07
100	2.47139E + 07	2.16775E + 07	1.94385E + 07	1.77391E + 07
1000	2.95060E + 07	2.47163E + 07	2.16791E + 07	1.94397E + 07
FREKVENC. (kHz)	VALNA BRZINA (m/s)			MOD 2
	10 Ωm	100 Ωm	1 kΩ	10 kΩm
0.01	2.43117E + 07	2.43115E + 07	2.43113E + 07	2.43111E + 07
0.1	4.40056E + 07	4.40056E + 07	4.40056E + 07	4.40056E + 07
1	4.41905E + 07	4.41890E + 07	4.41881E + 07	4.41876E + 07
10	4.41952E + 07	4.41893E + 07	4.41877E + 07	4.41869E + 07
100	4.42415E + 07	4.42001E + 07	4.41942E + 07	4.41926E + 07
1000	4.46995E + 07	4.42544E + 07	4.42129E + 07	4.42069E + 07
FREKVENC. (kHz)	VALNA BRZINA (m/s)			MOD 3
	10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	10 kΩm
0.01	2.38906E + 07	2.38906E + 07	2.38906E + 07	2.38906E + 07
0.1	5.13658E + 07	5.13582E + 07	5.13525E + 07	5.13480E + 07
1	5.19803E + 07	5.19660E + 07	5.19561E + 07	5.19488E + 07
10	5.19977E + 07	5.19758E + 07	5.19614E + 07	5.19514E + 07
100	5.20412E + 07	5.20059E + 07	5.19840E + 07	5.19696E + 07
1000	5.21411E + 07	5.20626E + 07	5.20273E + 07	5.20053E + 07

Tablica VI. Tablica izračunatih vrijednosti valne brzine moda 4, 5, 6

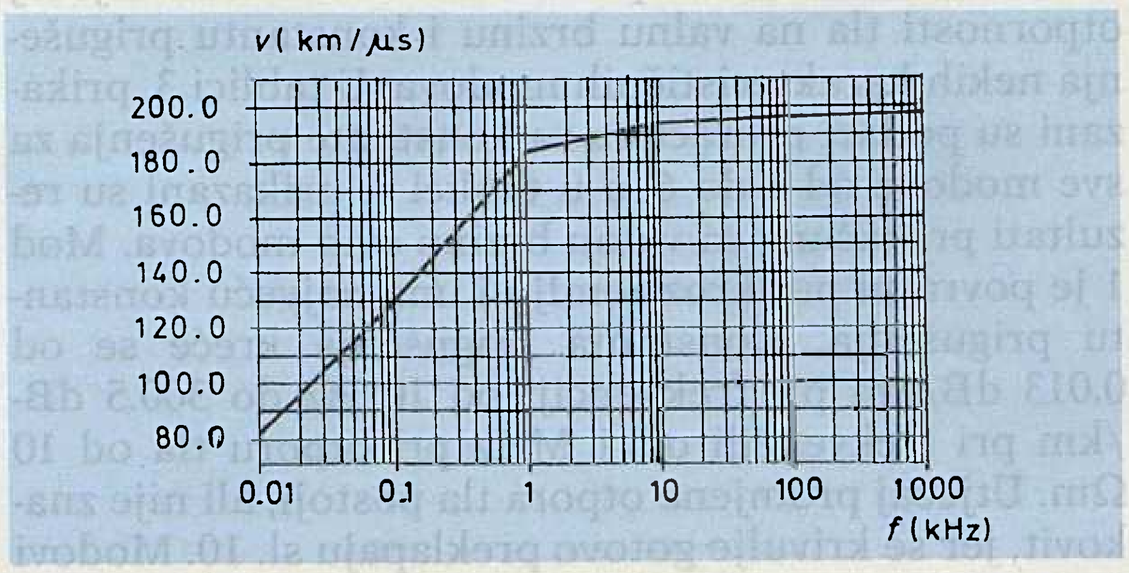
FREKVENC. (kHz)	VALNA BRZINA (m/s)			MOD 4
	10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	10 kΩm
0.01	4.52348E + 07	4.50062E + 07	4.50245E + 07	4.51670E + 07
0.1	1.13638E + 08	1.13638E + 08	1.13637E + 08	1.13637E + 08
1	1.83161E + 08	1.83162E + 08	1.83163E + 08	1.83163E + 08
10	1.93625E + 08	1.93625E + 08	1.93625E + 08	1.93625E + 08
100	1.96122E + 08	1.96122E + 08	1.96122E + 08	1.96122E + 08
1000	1.97181E + 08	1.97181E + 08	1.97181E + 08	1.97181E + 08
FREKVENC. (kHz)	VALNA BRZINA (m/s)			MOD 5
	10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	10 kΩm
0.01	8.16629E + 07	8.16629E + 07	8.16629E + 07	8.16629E + 07
0.1	1.27252E + 08	1.27667E + 08	1.27993E + 08	1.28256E + 08
1	1.83570E + 08	1.83570E + 08	1.83570E + 08	1.83570E + 08
10	1.93629E + 08	1.93629E + 08	1.93629E + 08	1.93629E + 08
100	1.96122E + 08	1.96122E + 08	1.96122E + 08	1.96122E + 08
1000	1.97181E + 08	1.97181E + 08	1.97181E + 08	1.97181E + 08
FREKVENC. (kHz)	VALNA BRZINA (m/s)			MOD 6
	10 Ωm	100 Ωm	1 kΩm	10 kΩm
0.01	9.16228E + 07	9.16136E + 07	9.16072E + 07	9.16022E + 07
0.1	1.11762E + 08	1.11759E + 08	1.11758E + 08	1.11756E + 08
1	1.84366E + 08	1.84397E + 08	1.84418E + 08	1.84434E + 08
10	1.93638E + 08	1.93639E + 08	1.93639E + 08	1.93639E + 08
100	1.96122E + 08	1.96122E + 08	1.96122E + 08	1.96122E + 08
1000	1.97181E + 08	1.97181E + 08	1.97181E + 08	1.97181E + 08



Slika 13. Frekvencijska ovisnost valne brzine za mod 1



Slika 14. Frekvencijska ovisnost valne brzine za mod 2



Slika 15. Frekvencijska ovisnost valne brzine za mod 4

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan matematički model za proračun parametara koaksijalnih energetskih kabela i istražene su frekvensijske ovisnosti temeljnih parametara kabela, i to jediničnog djelatnog otpora, jediničnog induktiviteta, jediničnog kapaciteta, karakteristične impedancije kabela, kao i valne brzine rasprostiranja i konstante prigušenja kabela. Prikazana je frekvencijska ovisnost jediničnoga djelatnog otpora kabela koji raste s povećanjem frekvencije zbog skin-efekta za kabel XHE-48-A, kao i smanjenje jediničnog induktiviteta kabela zbog smanjenja dubine strujne petlje povratnog puta kroz zemlju. Uočen je i znakovit utjecaj promjene otpora tla na valnu brzinu i konstantu prigušenja, kao i rast tih veličina s povećanjem frekvencije. Najveću konstantu prigušenja a najmanju valnu brzinu ima mod 1. Koaksijalni modovi između kabela (modovi 2 i 3) imaju veće valne brzine od moda 1, ali istovremeno za red veličina manje konstante prigušenja. Najveće valne brzine postižu se u jezgrama kabela svake faze i dostižu vrijednost oko 200 m/ms pri najvišim frekvencijama. Treba očekivati da bi kod podmorskih kabela (primjerice XHE 49 u otočnoj vezi, zbog manjeg otpora morske vode 0.2 – 0.3 Ωm) valna brzina i konstanta prigušenja bile veće nego kod kabela položenih u tlo, što bi bilo zanimljivo istražiti. U studijama prijelaznih pojava koje zadrže širok frekvencijski spektar parametri jednog kabela se mijenjaju s frekvencijom i njihovo modeliranje se vrši u cijelom frekvencijskom opsegu pomoću posebnih potprograma u ATP-EMTP programu.

LITERATURA

[1] A. AMETANI, »A general formulation of impedance and admitance of cables« IEEE Trans. on Power App. and Systems, Vol. PAS-99, no. 3, pp. 903-910, 1980.

[2] A. AMETANI, »Wave propagation characteristic of cables«, IEEE Trans on Power App. and Systems, Vol. PAS-99, no. 2. pp. 499-505, 1980.

[3] H. W. DOMMEL, »Alternativne transijents program« Theory blook, University of British Colymbia, July, 1987.

[4] K. U. LEUEVEN, »Alternative transijents program« Rule book, Leueven, July, 1987.

[5] S. NIKOLOVSKI, Proračun parametara višestrukih nadzemnih vodova osobnim računalom«, Energija, God 43, br. 3, pp. 163 – 174, Zagreb, 1994.

FREQUENCY DEPENDENCE OF POWER CABLE PARAMETERS

This paper presents a mathematical model for power cable parameter calculation. A computer program based on the modal theory was used, enabling calculation of cable parameters for different frequencies, which is necessary in transient analysis of power cables. In this paper frequency dependence of cable parameters are analysed, especially resistance, inductance, capacitance, characteristic impedance, modal propagation velocity and modal attenuation.

DIE FREQUENZABHÄNGIGKEIT VON PARAMETERN DER STARKSTROMKABEL

Dargestellt wurde das mathematische Modell der Berechnung von Parametern der Starkstromkabel. Dieses auf der Modal-Analyse beruhende Rechner-Programm macht die Berechnung von Parametern der Starkstromkabel für verschiedene Frequnzen möglich, was bei Abhandlungen über Übergangserscheinungen in den Kabeln benötigt wird. Im Artikel sind die Frequenzabhängigkeit der Kabelparameter, namentlich der Wirkwiederstandes, der Induktivität, der Kapazität, der karakteristischen Impedanz, der modalen Wellengeschwindigkeit und der modalen Dämpfungskonstante ergründet.

Naslov pisaca:

dr. Srete Nikolovski, dipl. ing.
Saša Miletić, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet Osijek,
54000 Osijek, Istarska 3,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-10-06.

HRVATSKO ENERGETSKO DRUŠTVO
ZAKLADA »HRVOJE POŽAR«

Glavni odbor Zaklade »Hrvoje Požar«, na temelju Poslovnika o dodjeli godišnje nagrade »Hrvoje Požar«, objavljuje

NATJEČAJ

I. Znanstvenim i stručnim djelatnicima dodjeljuje se godišnja nagrada »Hrvoje Požar«, u obliku plakete i povelje,

— za originalni znanstveni doprinos razvitku energetike,
— za inovacije u području energetike,
— za realizirani projekt racionalnog gospodarenja energijom,
— za unapređenje kvalitete okoliša, vezano uz energetske objekte.

U svakoj grupi dodjeljuje se po jedna nagrada.

Nagrade se mogu dodijeliti pojedincu, grupi stručnjaka koji su zajedno izvršili nagrađeno djelo, ili organizaciji — nositelju nagrađenog projekta.

Prijedlog za dodjelu godišnje nagrade mogu podnijeti znanstvene i znanstveno-nastavne organizacije, znanstvena i stručna društva, pojedini znanstveni i javni radnici, te ostale ustanove i trgovačka društva.

Prijedlozi se podnose pismeno, s obrazloženjem i s priloženom dokumentacijom o znanstvenom ili stručnom ostvarenju koje se predlaže za nagradu.

II. Studentima energetskog usmjerenja dodjeljuje se godišnja nagrada »Hrvoje Požar«, u obliku povelje i u novčanom iznosu,

— za izvrstan uspjeh u studiju, i/ili
— za posebno zapažen diplomski rad iz područja energetike.

Ukupno se dodjeljuju četiri nagrade.

Prijedlog za dodjelu godišnje nagrade najboljim studentima energetskog usmjerenja mogu podnijeti znanstveno-nastavne organizacije, sveučilišni nastavnici, ili sami studenti.

Prijedlozi se podnose pismeno, s obrazloženjem.

III. Natječaj je otvoren od 1. do 30. travnja 1995. godine.
Prijedlozi se podnose tajništvu Hrvatskog energetskog društva, Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, s naznakom: Godišnja nagrada »Hrvoje Požar«.

Odluka Glavnog odbora o dodjeli nagrada objavit će se početkom mjeseca srpnja u dnevnim listovima i stručnim publikacijama.

ZAŠTITA NADZEMNIH VODOVA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA

dr. Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.316.93
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Ukratko je opisan matematički model za proračun atmosferskih prenapona na nadzemnim vodovima. Dan je osvrt na impulsne impedancije uzemljivača stupova. Na temelju rezultata proračuna očekivanoga broja preskoka na izolatorima i ekonomskih parametara predložene su smjernice za odabir optimalnih konfiguracija uzemljivača stupova nadzemnih vodova.

Ključne riječi: atmosferski prenaponi, nadzemni vodovi, prenaponska zaštita.

1. UVOD

Atmosferski prenaponi najčešći su uzročnici kvarova na nadzemnim elektroenergetskim vodovima nazivnog napona manjeg od 220 kV. To pogotovo vrijedi za distribucijske vodove, gdje su atmosferski prenaponi najvažniji činitelj u koordinaciji izolacije, pa ih zbog toga treba posebno respektirati.

Poznato je da uzemljivači stupova nadzemnih vodova imaju važnu ulogu u zaštiti vodova od djelovanja atmosferskih prenapona. No, kod distribucijskih vodova ne treba precijeniti njihovu ulogu, kao što se često radi. Zbog toga će se u ovom članku podrobnije proanalizirati uloga uzemljivača stupova u zaštiti nadzemnih vodova od atmosferskih prenapona, uz poštivanje tehno-ekonomskog pristupa.

2. MODEL ZA ANALIZU ATMOSFERSKIH PRENAPONA NA NADZEMNIM VODOVIMA

Atmosferski prenaponi na nadzemnim vodovima mogu se, ovisno o vrsti voda, klasificirati u sljedeće kategorije:

Vodovi sa zaštitnim vodičem

- prenaponi zbog povratnih preskoka
- inducirani prenaponi prilikom udara gromova u blizini vodova
- prenaponi zbog izravnih udara gromova u fazne vodiče (mimo zaštitnih vodiča)

Vodovi bez zaštitnog vodiča

- inducirani prenaponi prilikom udara gromova u blizini vodova
- prenaponi zbog izravnih udara gromova u fazne vodiče.

U daljnjem tekstu razmotrit će se način proračuna očekivanog broja kvarova nadzemnih vodova zbog djelovanja atmosferskih prenapona.

2.1. Inducirani prenaponi

Prema suvremenim inozemnim spoznajama [1], [2], inducirani prenaponi malokad prelaze iznos od

$$U_i = 300 \text{ kV}.$$

Osim toga, zaštitni vodič bitno smanjuje veličinu induciranih prenapona. Teorijski model za analizu induciranih prenapona razvio je Rusck [3]. Prema tom modelu, inducirani prenaponi na vodovima razmjerni su struji groma i visini voda, a obrnuto su razmjerni udaljenosti između mjesta udara groma i voda.

U [2] izloženi su rezultati praćenja pojava induciranih prenapona na eksperimentalnom 11 kV vodu, visine 10 m, u Južnoafričkoj Republici. Statistička raspodjela dobivenih rezultata može se aproksimirati sljedećim izrazom:

$$N_i = 1.38 \cdot H \cdot \mathrm{TD}^{1.25} \cdot e^{-0.031 U_i} \qquad (1)$$

gdje je:

N_i — očekivani broj induciranih prenapona većih od iznosa U_i (god., 100 km)
H — visina stupa (m)
TD — broj grmljavinskih dana (godišnje)
U_i — veličina induciranog napona na vodu (kV).

Budući da se prema [1] dobiveni eksperimentalni rezultati dosta dobro slažu s teorijskim modelima upotreba formule (1) je opravdana.

2.2. Prenaponi zbog izravnih udara gromova u fazne vodiče

Udari gromova u fazne vodiče nadzemnih vodova opremljenih zaštitnim vodičima rijetka su pojava, pa se neće posebno razmatrati. To posebno vrijedi za vodove napona 110 kV i niže. Međutim, kod vodova bez zaštitnih vodiča praktički svaki izravni udar groma u fazne vodiče proizvest će preskoke na izolatorima.

Očekivani broj udara gromova u nadzemni vod (N_L) može se odrediti empirijskom formulom:

$$N_L = 0.112 \cdot TD^{1.25} \cdot H^{0.6} \text{ (god., 100 km)} \quad (2)$$

s istim značenjem veličina kao u izrazu (1).

2.3. Prenaponi zbog povratnih preskoka

Na vodovima sa zaštitnim vodičima većina udara groma završava na zaštitnom vodiču — na rasponu ili na stupu. Ako je veličina napona koji se pri tome pojavljuje veća od izolacijske čvrstoće voda prema zemlji, nastaje preskok s uzemljenog stupa na fazni vodič. Opisana pojava naziva se povratni preskok.

Korektna računska analiza ove pojave vrlo je složen zadatak. Za potrebe ovog članka korišten je matematički model opisan u [4]. U tom radu dan je algoritam koji uzima u obzir impulsnu impedanciju uzemljivača stupova i refleksije od susjednih stupova.

Pri određivanju vjerojatnosti nastanka povratnog preskoka nužno je definirati statističku razdiobu amplituda struja groma. Usvojena je razdioba koju preporučuje američka organizacija IEEE [5]:

$$p(I_m) = \frac{1}{1 + (I_m/31)^{2.6}} \quad (3)$$

gdje je:

I_m — amplituda struje groma koja će biti premašena s vjerojatnošću p (kA).

Zbog lakšeg korištenja odabranog modela, izraz (3) aproksimiran je jednostavnijom eksponencijalnom funkcijom:

$$p(I_m) = e^{-Im/42} \quad (4)$$

S obzirom na sve prisutne nesigurnosti, razlike između izraza (3) i (4) mogu se smatrati prihvatljivim.

Što se tiče raspodjele strmina struja groma, na temelju raspoloživih podataka iz literature također je usvojena eksponencijalna raspodjela:

$$p(I') = e^{-I'/10.9} \quad (5)$$

gdje je:

I' — veličina strmine struje groma koja će biti premašena s vjerojatnošću p (kA/μsek).

2.4. Proračun očekivanog broja ispada nadzemnog voda zbog atmosferskih prenapona

Očekivani broj preskoka na izolatorima nadzemnih vodova može se dobiti pomoću ovih izraza:

$$N = N_{bf} + N_i \text{ (a) ili } N = N_L + N_i \text{ (b)} \quad (6)$$

Izraz (a) odnosi se na vodove sa zaštitnim vodičem, a izraz (b) na vodove bez zaštitnog vodiča.

Značenja pojedinih veličina su sljedeća:

N_{bf} — broj povratnih preskoka

N_i — broj preskoka zbog induciranih prenapona

N_L — broj izravnih udara groma u vod.

Preskoci na izolatorima ne moraju uvijek dovesti do trajnih kvarova. To pogotovo vrijedi za vodove na kojima se provodi automatsko ponovno uklapanje (APU). U tom slučaju većina preskoka eliminira se u beznaponskoj pauzi, bez trajnog isključenja vodova iz pogona. Prema raspoloživim podacima u Hrvatskoj, APU u distribucijskim mrežama uspješno funkcionira u barem 80% slučajeva. To znači da će očekivani broj trajnih ispada (N_0) zbog djelovanja atmosferskih prenapona biti:

$$N_0 = N \cdot (1 - 0.8) = 0.2 \cdot N \quad (7)$$

gdje je:

N — broj preskoka na izolatorima, izraz (6).

3. IMPULSNE IMPEDANCIJE UZEMLJIVAČA STUPOVA NADZEMNIH VODOVA

Osnovna veličina koja opisuje uzemljivač pri odvođenju struje groma u zemlju jest njegova impulsna impedancija — z. To je veličina koja, za razliku od stacionarnog otpora uzemljivača, ovisi i o induktivitetu i kapacitetu elemenata uzemljivača te o procesu ionizacije tla oko uzemljivača. Osim toga, impulsna impedancija uzemljivača jest funkcija vremena.

Za potrebe praktičnih proračuna obično se definira tzv. konvencionalna impedancija uzemljivača kao omjer maksimalnih veličina napona i struje:

$$Z_i = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (8)$$

Odnos impulsne impedancije uzemljivača Z_i te stacionarnog otpora R koji je mjerodavan za odvođenje struja industrijske frekvencije definira se pomoću impulsnog koeficijenta:

$$\alpha_i = \frac{Z_i}{R} \quad (9)$$

Navedeni koeficijent može poprimiti vrlo različite vrijednosti (manje ili veće od 1), ovisno o geometrijskim karakteristima uzemljivača, vrsti tla i značajkama struje groma (strmini čela i amplitudi).

Za potrebe proračuna impulsnih impedancija složenih uzemljivača razvijen je odgovarajući model i program za elektroničko računalo. Model je zasnovan na primjeni Fourierova integralnog teorema, a potanko je opisan u [6].

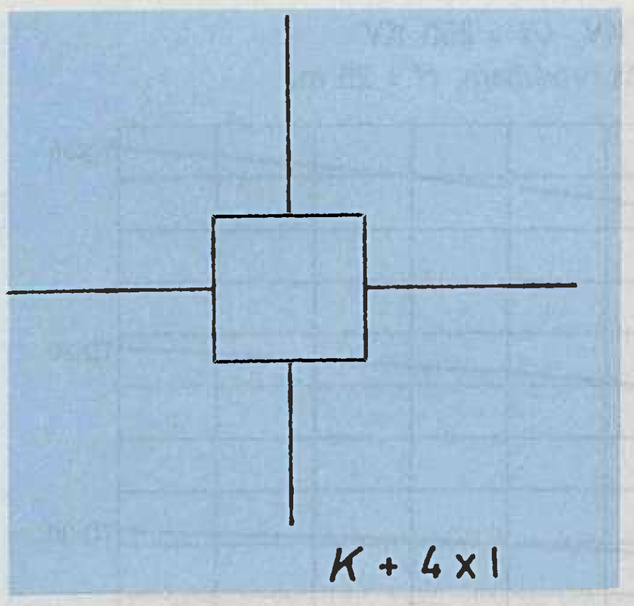
Formula (8) može se napisati u obliku koji je pogodan za praktičnu primjenu:

$$Z_i = \alpha_i \cdot R = \alpha_i \cdot c_R \cdot \rho \quad (10)$$

Numerička vrijednost konstante c_R jednaka je stacionarnom otporu uzemljivača R, uz otpornost tla ρ = 1 Ω m, a može se odrediti na temelju proračuna razvijenim programom.

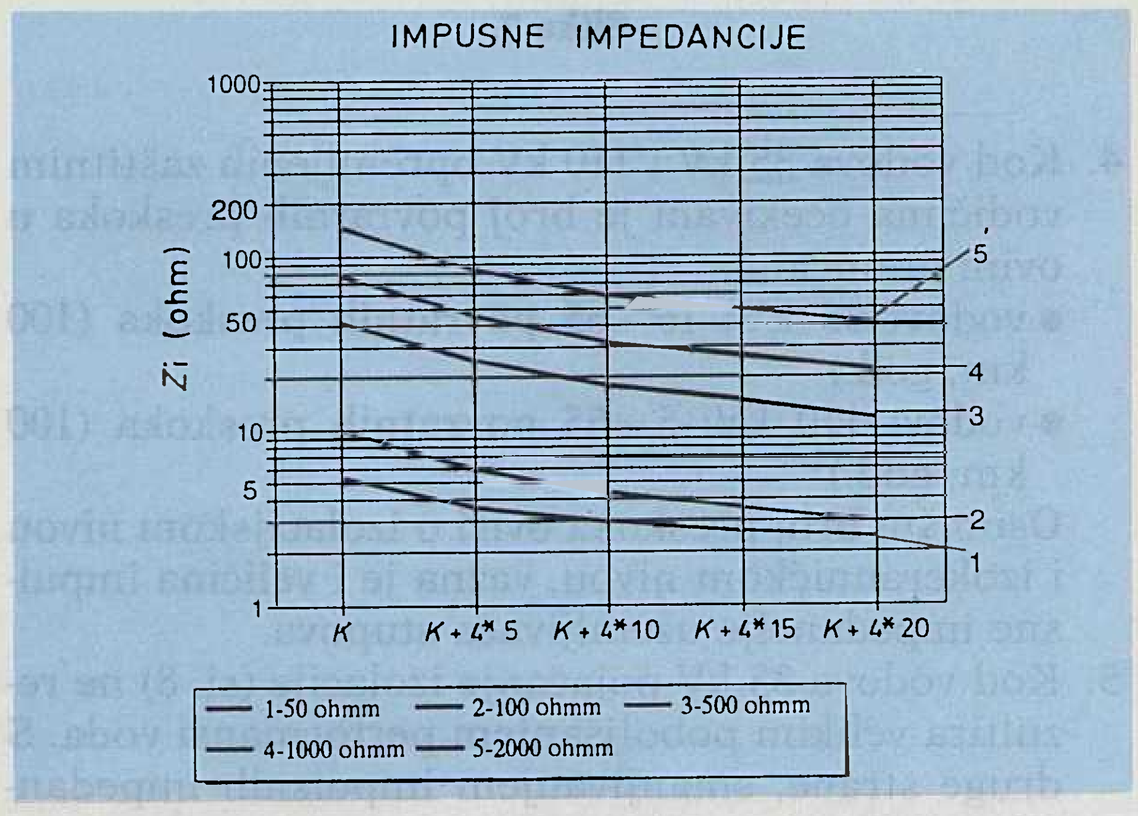
Za potrebe daljnjih proračuna analizirat će se jedan tipičan uzemljivač stupa, izveden u obliku konture (K) 4x4 m, s četiri dodatna kraka dužine »l« (po kraku). Svi bitni ulazni parametri dani su na sl. 1.

Karakteristične veličine uzemljivača sa sl. 1 prikazane su u tablici 1. Osim toga, na sl. 2. prikazane su impulsne impedancije uzemljivača u ovisnosti o dužini dodatnih krakova (»l«) i specifičnom otporu tla.



Polumjer užeta: 0.005 m
Dubina ukopa: 0.5 m
Kritična jakost polja: 1 200 kV/m
Dielektrična konstanta tla: 10
Amplituda struje groma: 20 kA

Slika 1. Analizirani uzemljivač



Slika 2.

Tablica 1. Impulsne karakteristike uzemljivača

Izvedba:	K	K+4x5 m	K+4x10 m	K+4x15 m	K+4x20 m
C_R (1/m)	0.113	0.065	0.044	0.035	0.027
ρ (Ωm)	Impulsni koeficijenti — α_i				
50	0.94	1.10	1.35	1.60	1.80
100	0.87	0.91	0.98	1.02	1.06
500	0.74	0.77	0.83	0.85	0.87
1000	0.68	0.70	0.72	0.77	0.81
2000	0.64	0.65	0.67	0.71	0.76

Navedeni podaci su ilustrativni za analizu raznih veličina koje utječu na impulsne karakteristike uzemljivača.

4. PRORAČUN OČEKIVANOGA BROJA PRESKOKA I ISPADA NADZEMNIH VODOVA

Očekivani broj preskoka i ispada nadzemnih vodova utvrđen je na temelju modela izloženog u točki 2. Obrađeni su sljedeći slučajevi:

a) vodovi 10(20) kV na drvenim ili betonskim stupovima visine H = 10 m, bez zaštitnih vodiča. Kod vodova na drvenim stupovima preskoci se događaju na uzemljenim stupovima, npr. stupovima s linijskim rastavljačima podnosivog udarnog napona izolatora U_i = 100 kV i 140 kV;

b) vodovi 20 kV na čeličnorešetkastim stupovima visine H = 12 m, bez zaštitnih vodiča podnosivog udarnog napon izolatora U_i = 140 kV;

c) vodovi 35 kV na čeličnorešetkastim stupovima visine H = 20 m, bez zaštitnih vodiča. Podnosivi udarni napon izolatora U_i = 260 kV;

d) vodovi 35 kV na čeličnorešetkastim stupovima visine H = 25 m, sa zaštitnim vodičima. Podnosivi udarni napon izolatora U_i = 260 kV i 320 kV;

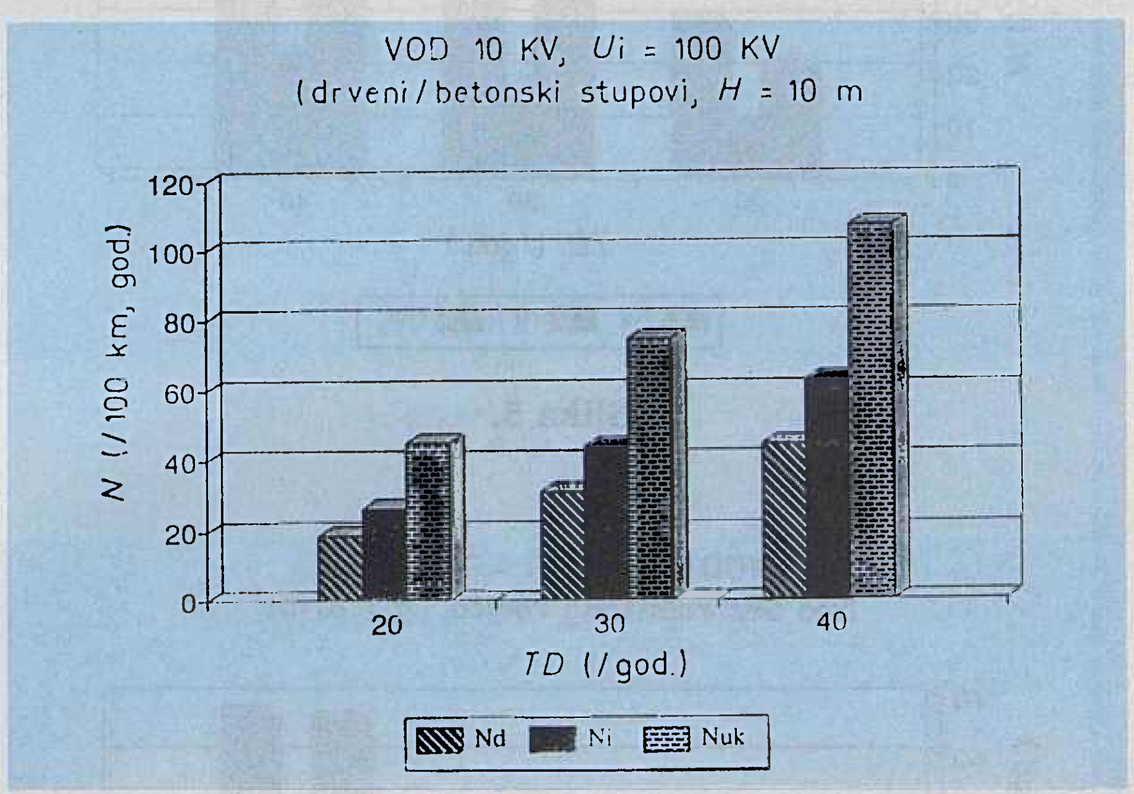
e) vodovi 110 kV na čeličnorešetkastim stupovima visine H = 30 m, sa zaštitnim vodičima. Podnosivi udarni napon izolatora U_i = 490 kV i 550 kV;

Rezultati proračuna očekivanog broja preskoka na izolatorima dani su na sl. 3 – 10. Značenja pojedinih veličina su sljedeća:

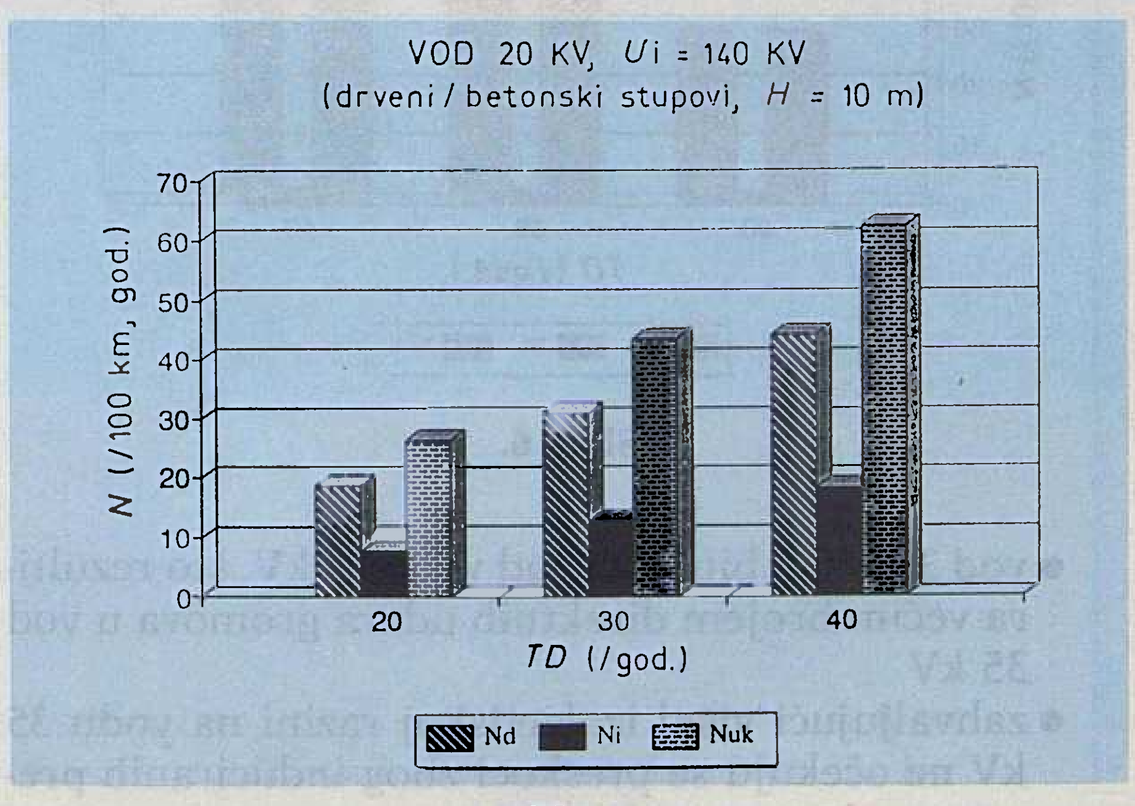
TD — broj grmljavinskih dana (god.)
N_d — broj izravnih udara gromova (100 km, god.)
N_i — broj induciranih prenapona većih od napona U_i (100 km, god.)
N_{uk} — ukupni broj ispada (100 km, god.)
H — visina stupova (m)
U_i — podnosivi udarni napon izolatora (kV)
Z_i — impulsna impedancija uzemljivača stupa (Ω).

Na temelju navedenih rezultata proračuna mogu se izvesti ovi bitni zaključci:

1. Inducirani prenaponi opasni su za izolaciju na 10 kV vodovima, iako je podnosivi impulsni napon



Slika 3.

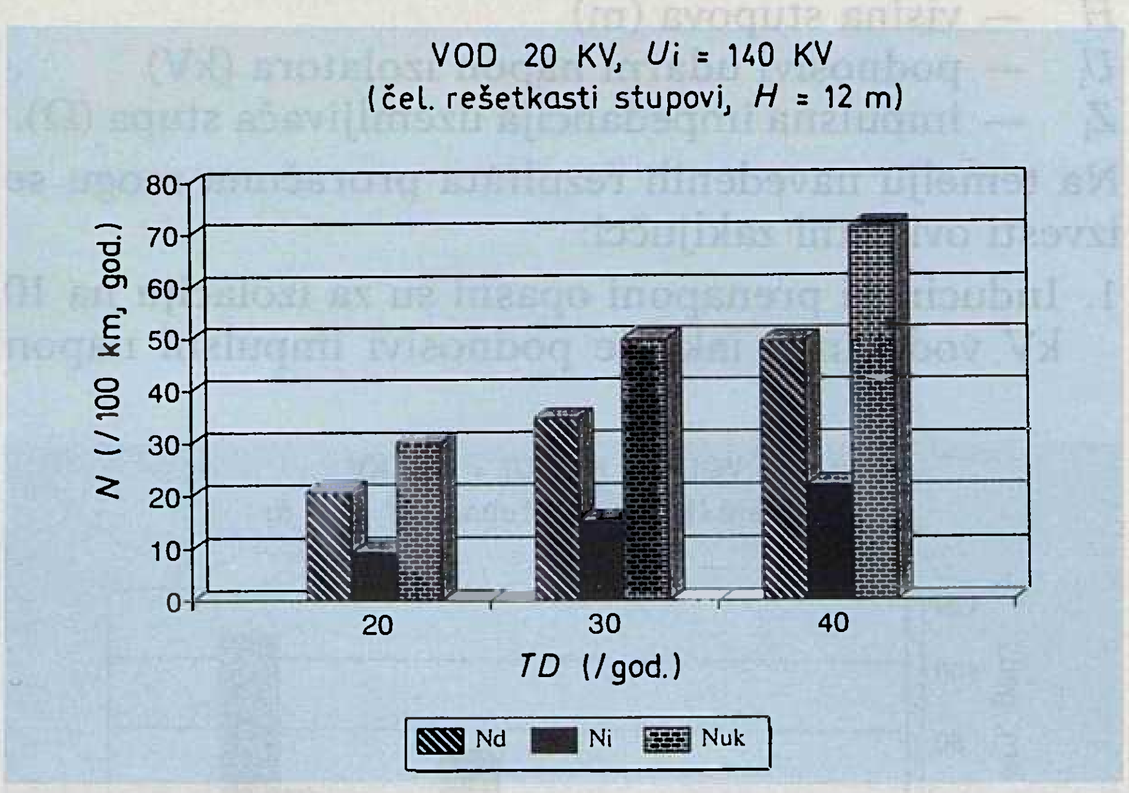


Slika 4.

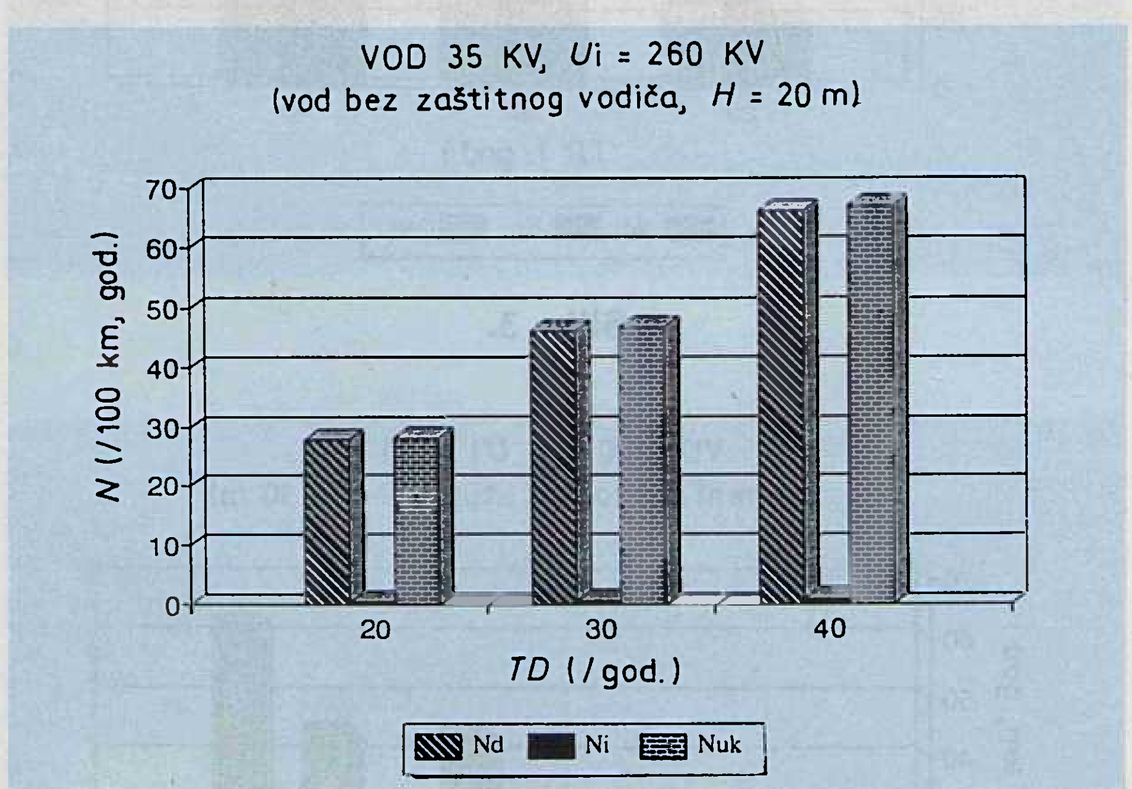
korištenih izolatora veći od propisane vrijednosti za taj stupanj izolacije (75 kV). Na vodovima nazivnog napona 20 kV štetno djelovanje induciranih prenapona znatno je manje izraženo.

2. Očekivani broj preskoka na izolatorima vodova bez zaštitnih vodiča nalazi se u ovim granicama:
   - vodovi 10 kV: 40 – 100 preskoka (100 km, god.)
   - vodovi 20 kV: 25 – 70 preskoka (100 km, god.)
   - vodovi 35 kV: 30 – 65 preskoka (100 km, god.).

   Broj trajnih ispada je bitno manji ako se provodi automatsko ponovno uklapanje (APU) na tim vodovima. Prema izrazu (7), u tom slučaju broj trajnih ispada neće biti veći od 20% u odnosu prema broju preskoka.
3. Ukupni broj preskoka na izolatorima 35 kV voda koji nema zaštitni vodič približno je jednak broju preskoka na 20 kV vodu (sl. 5. i 6). Takva, pomalo neočekivana situacija uvjetovana je sljedećim razlozima koji djeluju međusobno suprotno:

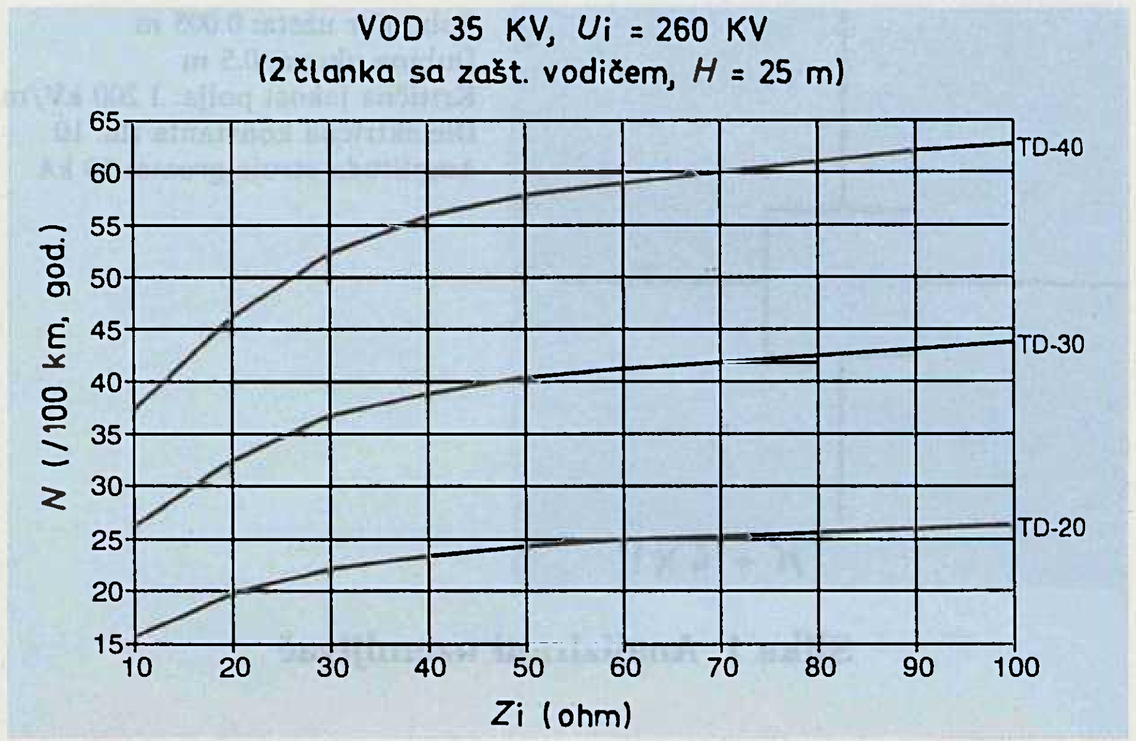


Slika 5.



Slika 6.

- vod 35 kV je bitno viši od voda 20 kV, što rezultira većim brojem direktnih udara gromova u vod 35 kV
- zahvaljujući višoj izolacijskoj razini na vodu 35 kV ne očekuju se preskoci zbog induciranih prenapona kao na vodu 20 kV



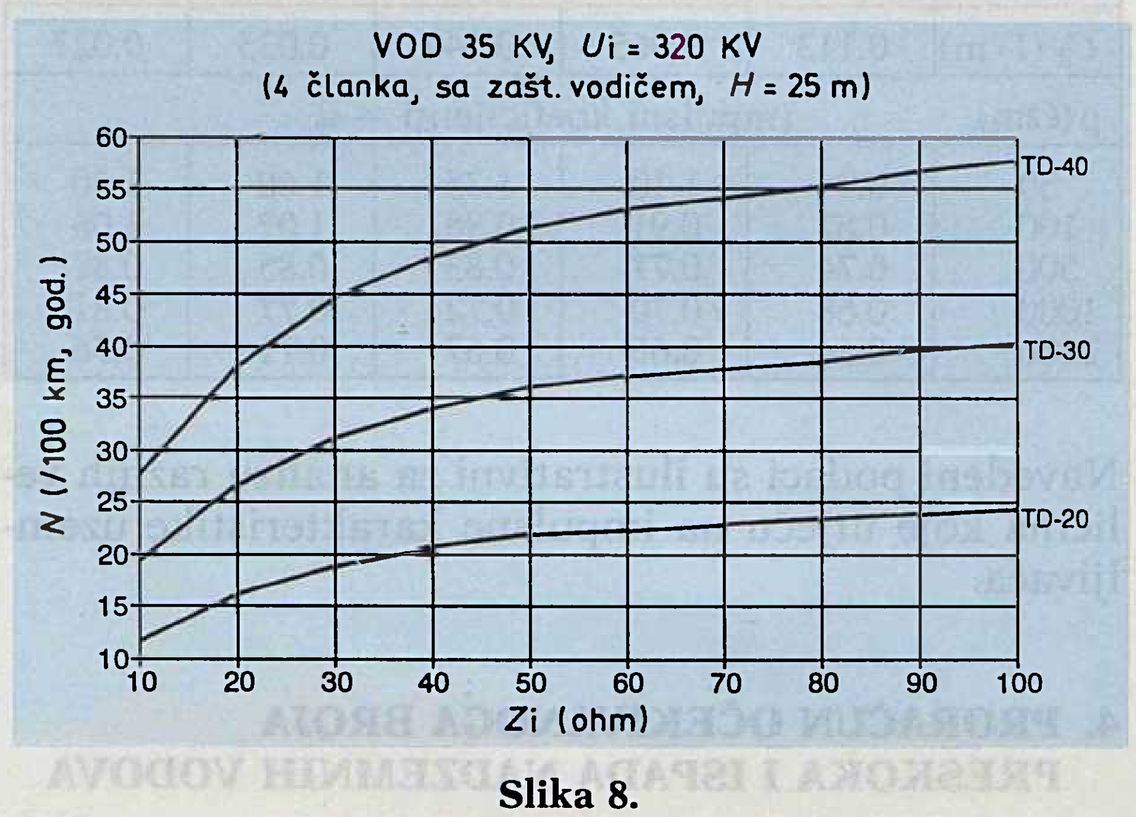
Slika 7.

4. Kod vodova 35 kV i 110 kV opremljenih zaštitnim vodičima očekivani je broj povratnih preskoka u ovim granicama:
   - vodovi 35 kV: 16 – 65 povratnih preskoka (100 km, god.)
   - vodovi 110 kV: 5 – 55 povratnih preskoka (100 km, god.)

   Osim što broj preskoka ovisi o izolacijskom nivou i izokerauničkom nivou, važna je i veličina impulsne impedancije uzemljivača stupova.
5. Kod vodova 35 kV pojačanje izolacije (sl. 8) ne rezultira velikim poboljšanjem performansi voda. S druge strane, smanjivanjem impulsnih impedancija postiže se znatno smanjivanje broja preskoka uz uvjet:

   $Z_i < 30\ \Omega$.

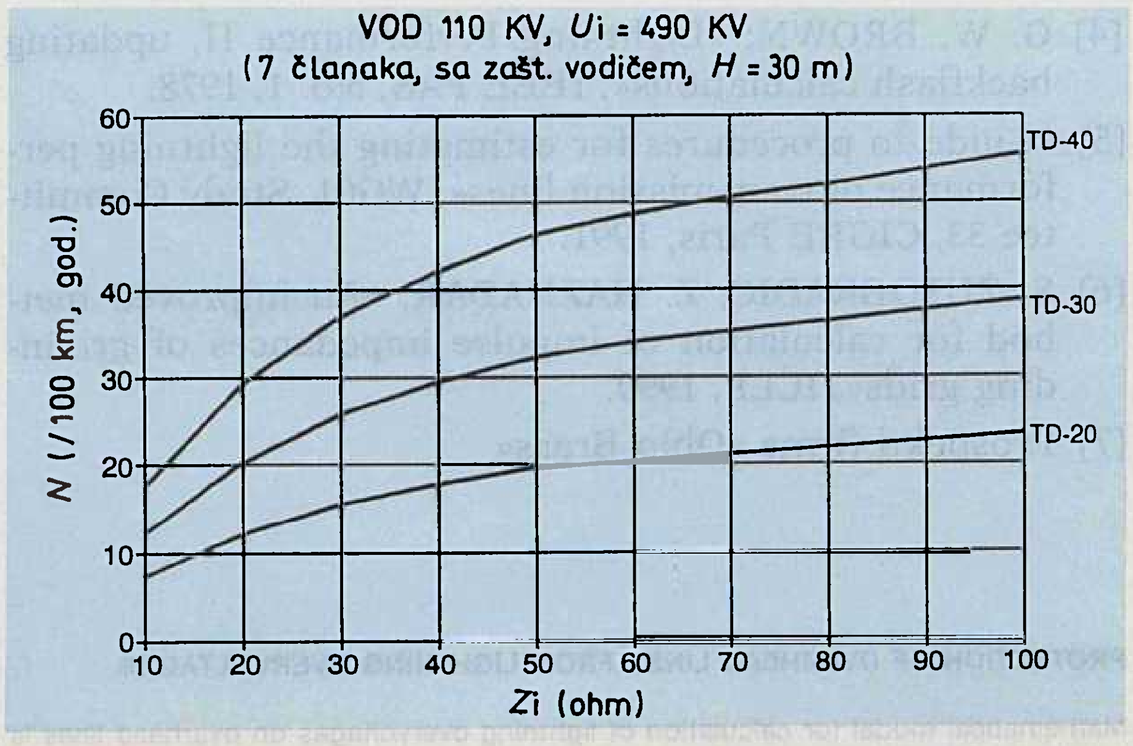
   To osobito vrijedi u zonama visokoga kerauničkog nivoa ($TD > 30$ dana/god.).



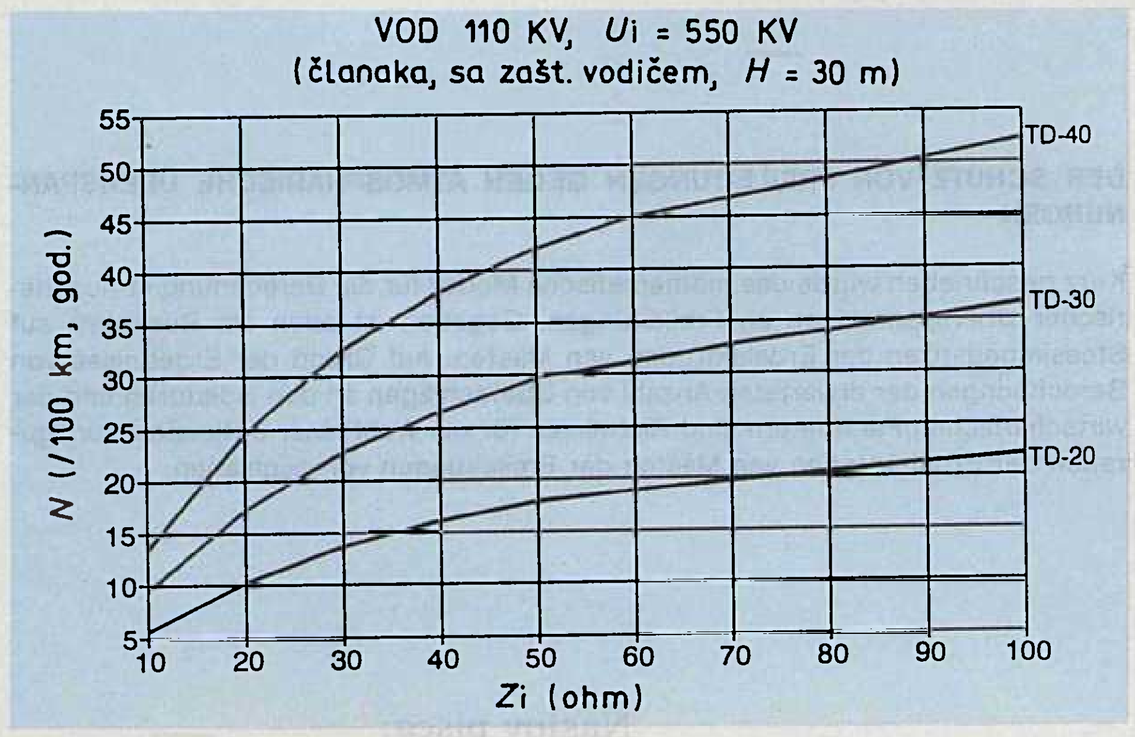
Slika 8.

6. Primjena zaštitnih vodiča na 35 kV vodovima rezultira smanjivanjem broja preskoka na izolatorima u odnosu na vodove bez zaštitnih vodiča, ali samo uz ostvarenje niskih impulsnih impedancija uzemljivača ($Z_i < 30\ \Omega$).
7. Kod vodova 110 kV vrijede slični zaključci kao u točki 5. Povoljan utjecaj uzemljivača stupova očituje se uz ispunjavanje uvjeta:

   $Z_i < 50\ \Omega$.



Slika 9.



Slika 10.

5. GOSPODARSKI ASPEKTI U ODABIRA UZEMLJIVAČA STUPOVA

Pri dimenzioniranju uzemljivača stupova nadzemnih vodova, potrebno je osim tehničkih aspekata (toč. 5) uzeti u obzir i ekonomske činitelje. Pri tome je nužno poznavati cijene izgradnje nadzemnih vodova i troškove izvedbe uzemljivača koji se nalaze u sljedećim granicama:

6 – 30 DEM/m.

Niže cifre odnose se na terene bolje specifične vodljivosti, i obrnuto.

Udio cijene uzemljivača u ukupnoj cijeni voda ovisi između ostaloga i o konfiguraciji uzemljivača. Kao granične slučajeve moguće je uzeti ove izvedbe:

- minimalni uzemljivač: jedna kontura oko stupa (K)
- maksimalni uzemljivač: jedna kontura oko stupa i četiri dodatna kraka, dužine 20 m svaki (K + 4x20 m)

Uz navedene pretpostavke udio cijene uzemljivača u ukupnoj investiciji nalazi se u granicama koje su prikazane u tabl. 2.

Kao što se vidi, kod vodova nižeg napona, udio troškova uzemljivača može biti vrlo visok. Zbog toga je opravdano predložiti smjernice koje će omogućiti optimalnu izvedbu uzemljivača stupova nadzemnih vodova u različitim uvjetima. Na temelju analize rezultata proračuna iz točke 4. može se zaključiti sljedeće:

Tablica 2. Udjeli cijene uzemljivača u ukupnoj investiciji

Vrsta voda	Vodljivost tla	
	dobra	loša
vod 110 kV	0.2% – 1.0%	0.7% – 3.5%
vod 35 kV	0.3% – 1.7%	1.2% – 6.0%
vod 20 kV, čelični stupovi	1.0% – 5.0%	4.0% – 15.0%
vod 20 kV, betonski stupovi	2.0% – 8.0%	12.0% – 25.0%

1. Kod vodova **bez zaštitnih vodiča** uzemljivači stupova ne utječu na zaštitu voda od atmosferskih prenapona. Prema tome, kod takvih vodova nema smisla ulagati u skupe uzemljivače (velikih dimenzija), pa je dovoljno izvesti uzemljivač u obliku jedne konture oko stupa (K).
2. Kod vodova **35 kV sa zaštitnim vodičima,** uzemljivači stupova važan su element zaštite od povratnih preskoka. Pri tome je bitno da impulsne impedancije uzemljivača budu manje od 30 Ω. To se može postići uporabom konfiguracija uzemljivača prikazanih u sljedećoj tablici:

ρ (Ω)	Konfiguracija	Z_i (Ω)	Udio u cijeni voda (%)
50	K	5	0.3
100	K	10	0.3
500	K + 4 × 5 m	25	2.5
1000	K + 4 × 15 m	27	4.8
2000	K	145	1.2

Kao što se vidi, na terenima izrazito visokog specifičnog otpora tla ($\rho >$ 1 000 Ωm), ne predviđa se izvedba uzemljivača velikih dimenzija, jer se uz racionalno korištenje materijala ne može postići znatnije smanjivanje broja preskoka na izolatorima. U takvim uvjetima treba tražiti drukčija rješenja zaštite od prenapona, kao što je npr. ugradnja odvodnika prenapona paralelno s izolatorima na vodu [7].

3. Kod vodova 110 kV vrijede isti zaključci kao i kod vodova 35 kV sa zaštitnim vodičima, pri čemu se pozitivni efekti postižu uz impulsne impedancije uzemljivača manje od 50 Ω. To se ostvaruje sljedećim konfiguracijama uzemljivača:

ρ (Ω)	Konfiguracija	Z_i (Ω)	Udio u cijeni voda (%)
50	K	5	0.2
100	K	10	0.2
500	K + 4 × 5 m	25	1.4
1000	K + 4 × 15 m	27	2.8
2000	K + 4 × 20 m	41	3.5

Očito je da se za nadzemne vodove 110 kV isplati izvedba uzemljivača velikih dimenzija i na terenima visokoga specifičnog otpora tla.

4. Na temelju prikazanih rezultata i odgovarajućih inozemnih iskustava trebalo bi razmotriti opravdanost izgradnje 35 kV nadzemnih vodova bez za-

štitnog vodiča. Pri tome se očekuje znatno pojeftinjenje voda, koje se može postići uvođenjem jeftinijih stupova. S druge strane, takvo rješenje ne bi dovelo do značajnijeg narušavanja pogonske sigurnosti voda.

6. ZAKLJUČCI

U članku je ukratko izložen matematički model za analizu atmosferskih prenapona na nadzemnim elektroenergetskim vodovima. Također je opisan pristup proračunu impulsnih impedancija uzemljivača, te je upozoreno na razlike između stacionarnih otpora i impulsnih imprdancija. U točki 4. dani su rezultati proračuna očekivanog broja preskoka na nadzemnim vodovima za različite uvjete.
Kvantificirane su poznate činjenice o djelovanju atmosferskih prenapona na vodove sa zaštitnim vodičem i bez njega. Kod vodova bez zaštitnih vodiča uzemljivači stupova nemaju bitnu ulogu u zaštiti voda od atmosferskih prenapona. Kod vodova s ugrađenim zaštitnim vodičima uzemljivači stupova imaju svoju ulogu u zaštiti od prenapona, ali uz ekonomska ograničenja. Zbog toga su u točki 5. predložene smjernice za odabir optimalnih konfiguracija uzemljivača, u različitim slučajevima.

LITERATURA

[1] ERIKSSON, M. F. STRINGFELLOW, D. V. MEAL: »Lightning — induced overvoltages on overhead distribution lines«, IEEE PAS, No. 4. 1982.

[2] C. T. GRAUNT, A. C. BRITTEN, H. J. GELDENHUYS: »Insulation Co-ordination of unshielded distribution lines from 1 kV to 36 kV«, South African Institute of Electrical Engineers

[3] S. RUSCK: »Protection of distribution lines«, »Lightning«, (knjiga), 1977

[4] G. W. BROWN: »Lightning Performance II, updating backflash calculations«, IEEE PAS, No. 1, 1978.

[5] »Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines«, WG01, Study Committee 33, CIGRE Paris, 1991.

[6] S. ŽUTOBRADIĆ, Z. HAZNADAR: »An improved method for calculation of impulse impedances of grounding grids«, ICLP, 1990.

[7] Prospekti firme »Ohio Brass«

PROTECTION OF OVERHEAD LINES FROM LIGHTNING OVERVOLTAGES

Mathematical model for calculation of lightning overvoltages on overhead lines is briefly described. A brief review is given on impulse impedance of tower groundings. Based on results of calculation of expected number of flashover on insulators and economic parameters, basic rules for choice of optimal tower grounding configuration are proposed.

DER SCHUTZ VON FREILEITUNGEN GEGEN ATMOSPHÄRISCHE ÜBERSPANNUNGEN

Kurz beschrieben wurde das mathematische Modell für die Berechnung atmosphärischer Überspannungen an Freileitungen. Gegeben ist auch ein Rückblick auf Stossimpedanzen der Erdelektroden von Mästen. Auf Grund der Ergebnisse von Berechnungen der erwarteten Anzahl von Überschlägen an den Isolatoren und der wirtschaftlichen Parametern sind Richtlinien für die Wahl einer optimalen Konfiguration der Erdelektroden von Mästen der Freileitungen vorgeschlagen.

Naslov pisca:

dr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
Energetski institut »Hrvoje Požar« Zagreb,
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-02-07.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

JE LI KRIPTON 85 IZ NUKLEARKI OPASAN ZA KLIMU

Tvrdnja da je plemeniti plin kripton 85, koji nastaje u nuklearnim elektranama, štetan za klimu, jer pridonosi stvaranju efekta staklenika, potpuno je pogrešna, kako je utvrdio DAtF (Deutsche Atomforum).
U pogonu nuklearki nastali plemeniti plinovi, a time i kripton 85, nepropusno su zatvoreni u gorivim štapovima. Plinovi se mogu osloboditi tek prilikom prerade, kad se gorivi štapovi mehanički režu. Tada se oslobođeni kripton može pustiti u atmosferu ili sakupiti. Ostali plemeniti plinovi imaju kratko vrijeme raspadanja, pa ne mogu biti štetni.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 12

Mrk.

IAE PREPORUČA DA SE NE ODUSTAJE OD NUKLEARNE ENERGIJE

Međunarodna energetska agencija (IAE) u svom dokumentu »Svjetski pogled 1994« predviđa znatan porast potrošnje energije, a time i znatno opterećenje okoliša. Do godine 2010. energetska bi se potrošnja povećala, prema 1991. za 48%, a emisija CO_2 za 50%. Predviđa se poskupljenje nafte i prirodnog plina, dok bi cijena ugljena ostala relativno stabilna. Prema tome se preporuča zemljama članicama da to uzmu u obzir i time se prilagode te da se ne odreknu nuklearnih elektrana.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 12

Mrk.

600 SUNČANIH FOTOVOLTAIČKIH UREĐAJA U ŠVICARSKOJ

U Švicarskoj je početkom 1994. bilo na javnu mrežu priključeno oko 600 sunčanih fotovoltaičkih uređaja instalirane snage 4 MW. Troškovi za proizvedeni kWh u ovim uređajima kreću se između 1 i 2 CHF/kWh, što je za 15 do 20 puta više nego što iznose troškovi proizvodnje u hidroelektranama ili nuklearnim elektranama.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 13

Mrk.

EKOLOŠKA VRIJEDNOST ELEKTROAUTOMOBILA

Američka agentura za zaštitu okoliša (EPA) objavila je istraživanja ekološke vrijednosti elektroautomobila. Istraživanje je obuhvatilo cijelu bilancu kompletnog sustava od proizvodnje struje potrebne za punjenje baterija do emisije koju proizvode vozila. Pri tome je utvrđeno da se emisija NOx može izjednačiti s onom modernih benzinskih automobila. Ukupno potrebna energija bitno je veća od one za vozila s otomotorom. Osim toga, nema uštede na emisiji ugljičnog dioksida, osim ako struja dolazi iz nuklearne elektrane.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 13

Mrk.

PROJEKT ZA ISPITIVANJE ELEKTROAUTOMOBILA

Na njemačkom otoku Rügen pokusno je stavljeno u promet 36 elektroautomobila, a do kolovoza 1994. trebalo bi ih biti ukupno 60. Već u prvim mjesecima uspješno su prošli 185 000 km. Pokusno je razdoblje predviđeno do 1996, kad se računa da će vozila prijeći ukupno milijun kilometara. Vozila su opremljena najmodernijim mjernim uređajima, pa će se automobilskoj industriji, graditeljima baterija i znanstvenicima moći dati dragocjeni podaci kao osnova za daljnji razvoj. Potrošak energije prema prijašnjim tipovima znatno je smanjen, pa iznosi 25 kWh na 100 km. Da se pak produlji doseg vožnje, razvijaju se baterije na bazi litija, ispituje se i upotreba gorivih ćelija. Ovu pokusnu akciju nazvanu »Rügenprojekt« obilno potpomaže njemačka savezna vlada.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 13

Mrk.

STAROST OPREME NJEMAČKE INDUSTRIJE

Prema njemačkim statistikama, za zapadni dio zemlje, sa stanjem početkom 1993, brutovrijednost opreme njemačkih industrijskih poduzeća procijenjena je na 2 244,6 milijardi DEM prema cijenama iz 1985. No najzanimljiviji su podaci o starosti opreme.

Procentualni dio po starosti izgleda ovako:

do 5 godina	44,8%
od 5 do 10 godina	27,0%
od 10 do 20 godina	22,8%
od 20 do 30 godina	4,5%
iznad 30 godina	0,9%.

Dakle, količina opreme starije od 20 godina zanemarujuće je mala. Prosjek pak iznosi 7,5 godina. Nova moderna oprema pridonosi znatno učinkovitosti proizvodnje. Uređaji koji su u upotrebi do 5 godina bili su vrijedni 1005,6 milijardi DEM. Industrija je znatnim ulaganjem obnovila svoja postrojenja. Dok je prosjek starosti u 1993. iznosio 7,5 godina, 1990. to je bilo 8,0 godina, a 1960. 10,2 godine.

ETZ, god. 115 (1994), br. 10

Mrk.

AEG UGRAĐUJE AUTOMATIZACIJU NA RUSKI PLINOVOD

Ruska tvrtka Tjumen-Transgas iz Jugorska ugovorila je s njemačkom tvrtkom AEG ugradnju automatizacije na svom plinovodu dugom 1500 km. Vrijednost posla je 43 milijuna DEM. U plinovod kojim dnevno protječe oko 1 milijarda m^3 plina iz Sibira za zapad Europe bit će ugrađeni automatski uređaji za upravljanje i nadzor sa centralom u Jugorskom. Novi bi uređaj proradio 1995.

ETZ, god. 115 (1994), br. 10

Mrk.

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U POVEĆANOJ EU

Ulaskom Norveške, Švedske, Finske i Austrije u Europsku uniju (EU) bitno su se promijenili udjeli proizvedene električne energije iz pojedinih energenata. U usporedbi prema 1992, kad je EU imala 12 članova, posebno se povećao udio električne energije dobivene iz vodnih snaga. No postotni udio dobave iz termoelektrana na ugljen ipak je ostao najveći. Udjeli su se prema energentima promijenili kako slijedi:

Članova u EU	12	16
Ugljen	37%	33%
Nuklearna energija	34%	32%
Voda	10%	19%
Nafta	11%	9%
Plin	8%	7%

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 14.

Mrk.

POVEĆANJE UČINKOVITOSTI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Njemačka nastoji zamjenom starih postrojenja u termoelektranama povećati ekonomičnost i smanjiti emisiju ugljičnog dioksida. Jedan takav primjer je i rekonstrukcija u termoelektrani Flimmersdorf (RWE), koja upotrebljava smeđi ugljen. Ugradit će se novi oblik od 900 MW koji će zamijeniti 6 starih naziva snage po 150 MW. Novi će blok imati korisnost od 42%, prema 30% u starom postrojenju. Emisija štetnih plinova smanjit će se za 30%. Potrebne se investicije procjenjuju na 2,5 milijarde DEM, a ulazak u pogon do godine 2000.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 14

Mrk.

BROJ POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŠVICARSKOJ

Prema podacima švicarskog saveza elektrana u zemlji ima 2 300 postrojenja koja proizvode električnu energiju. No 60% proizvodnje daje 25 većih elektrana. Među te se ubraja 5 nuklearki (Gösgen, Beznan I i II, Leibstadt i Mühleberg) i dvije akumulacijske hidroelektrane u Alpama (Grimsel i Dixans). Mali proizvodni uređaji kao male hidroelektrane, fotovoltaički uređaji, mala kombinirana toplinska postrojenja, kojih sveukupno ima 1 900, daju tek 1% proizvodnje. Ostalu električnu energiju dobavljaju elektrane srednje instalirane snage.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 14

Mrk.

STRAH OD POMANJKANJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŠVEDSKOJ

Prema analizi švedskog ureda za razvoj gospodarstva do 2005, dakle 5 godina prije nego će se prema zaključku parlamenta ugasiti švedske nuklearke, postoji mogućnost manjka električne energije. Premda je subvencijama potaknuta izgradnja obnovljivih izvora električne energije, kao goriva iz biomase i vjetra, nastojanja su ostala bez učinka.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 14

Mrk.

NOVA VELIKA FOTOVOLTAIČKA ELEKTRANA U ŠPANJOLSKOJ

U lipnju 1994. stavljena je u pogon, 30 km zapadno od Toleda, jedna od najvećih sunčanih elektrana u svijetu. Njezina snaga iznosi 1 MW, a predviđena je godišnja proizvodnja od 1 700 MWh. U uređaj je ugrađeno više vrsta ćelija koje su dobavile njemačke i španjolske tvrtke. Dio fotovoltaičkih ćelija ima korisnost 11%, a dio proizveden najnovijom tehnologijom 15%. Cilj je uređaja da se sakupe iskustva o radu ovakve vrste elektrana u južnim klimatskim područjima. Nekih 18 km od solarnog uređaja nalazi se hidroelektrana snage 76 MW, godišnje proizvodnje 180 GWh, pa je jedan od ciljeva i taj da se ispita zajednički rad obiju vrsta elektrana. Testirana će biti oba navedena tipa solarnih ćelija i usporedit će se djelovanje fiksnih i pokretnih ćelija. Cijeli projekt nazvan »Toledo PV 1« uklapa se u Eureka-projekt.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 15

Mrk.

KOMISIJA EU IZRAĐUJE »ENERGETSKU ZELENU KNJIGU«

Novi komesar EU za energetiku u Bruxellesu Marcelino Orea, kako je objavljeno, namjerava do kraja godine izdati »Zelenu knjigu« o europskoj energetskoj politici. Time se želi upozoriti na današnje stanje opskrbe energijom u 12 zemalja EU, kao i alternative za koordinaciju i daljnji razvoj europske energetske politike.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 16

Mrk.

ARMENSKA NUKLEARNA ELEKTRANA ULAZI U POGON UNATOČ OPASNOSTI OD POTRESA

Vlada Armenije objavila je da je prisiljena staviti u pogon svoju nuklearnu elektranu koja je 1988. isključena zbog potresa. Energetska kriza u zemlji i pomanjkanje električne energije traži takvu odluku. Elektrana ima dva bloka tipa WWER 440 električne snage po 407 MW.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 16

Mrk.

KANCEROZNO DJELOVANJE ELEKTRIČNIH I MAGNETSKIH POLJA

Znanstvenici Francuske i Kanade izradili su u timskom radu epidemiološku studiju o djelovanju električnih i magnetskih polja frekvencije 50/60 Hz na zdravlje čovjeka. Cilj je studije bio da se utvrdi mogu li ova polja kod profesionalnih radnika izazvati rak bilo koje vrste ili neki maligni tumor. Ako bi studija pokazala opasnost utjecaja električnih i magnetskih polja trebalo bi poduzeti zaštitne mjere za djelatnike koji su izloženi takvim poljima.

Premda je studija rađena vrlo rigorozno i znanstveno, nije dovela do čvrstih zaključaka. Prema rezultatima studije nije opravdano preporučiti mjere za zaštitu djelatnika od električnih i magnetskih polja. Dakako da daljnja istraživanja mogu promijeniti to stajalište. Prema današnjem gledanju, pitanje kanceroznoga djelovanja električnih i magnetskih polja ostaje problem daljnjih istraživanja.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 16

Mrk.

IZVORI OBNOVLJIVE ENERGIJE U EUROPI

Udio električne energije dobivene iz obnovljivih izvora, općenito uzevši, malen je, no ipak u toj kategoriji energenata glavni dio otpada na vodne snage. U Europi je malo zemalja koje veći dio energije dobivaju iz hidroelektrana. U tom prednjače Island sa 99,9% i Norveška sa 99,6%. U Austriji se dobiva iz vodnih snaga 71%, u Švicarskoj 58%, a u Švedskoj i Luksemburgu 51% struje. Njemačka iz regenerativnih izvora dobiva tek 4% potrebne električne energije. Ugljen je ipak dominantan u proizvodnji.

ETZ, god. 115 (1994), br. 11

Mrk.

BUDUĆNOST JE U RASPLINJAVANJU UGLJENA

U travnju 1994. ušla je u pogon u Buggenumu (Nizozemska) i priključena na nizozemsku mrežu prva termoelektrana koja kao pogonsko sredstvo upotrebljava rasplinjeni ugljen miješan kisikom. Ugljen se u posebnom reaktoru pretvara u plin u struji čistoga kisika. Taj je proces posebno kritičan jer odnos ugljene prašine i kisika mora biti točno održavan, a također i visoka temperatura i tlak u reaktoru. Da se turbina ne ošteti, nastali plin mora biti pročišćen prije izgaranja. Prednost je ovog postupka visoka iskoristivost i povoljna emisija plinova izgaranja. Njemačko elektroprivredno poduzeće RWE planira izgradnju termoelektrane takvog tipa u Goldenbergu, ali sa smeđim ugljenom.

ETZ, god. 115 (1994), br. 12

Mrk.

NOVO U RAZVOJU SOLARNIH ĆELIJA

U SAD je razvijena nova vrsta solarnih ćelija na bazi amorfnog silicija u tehnologiji tankog sloja. Njihov stupanj djelovanja iznosi preko 10%, što je bitno više nego kod dosadašnjih ćelija s amorfnim silicijem, kod kojih je iznosio 5% do 6%. Osim toga, nakon 1 000 sati rada nisu se opazile pojave starenja. Poduzeće United Solar Co. namjerava 1995., uz investicije od 30 milijuna USD, izgraditi svjetski najveću tvornicu tankoslojnih ćelija ukupne snage 10 MW godišnje. Predviđa se da će cijena ćelija pasti od sadašnjih 0,28 do 0,56 USD/kWh na 0,18 do 0,13 USD/kWh. Europski konzorcij pod vodstvom Termic GmbH, Heilbronn izradio je solarne ćelije vrlo visoke iskoristivosti, namijenjene svemirskim letovima. Uz uvjete u svemiru ćelija ima iskoristivost 25%, a to je najviše što je danas postignuto silicijskim ćelijama. Treba spomenuti da je prije nekih godinu dana razvijena galinmarsenidna solarna ćelija postigla iskoristivost 23%.
U svijetu se solarnoj energiji pridaje velika važnost. SAD planiraju do godine 2000 godišnju proizvodnju solarnih ćelija od 50 MW, a Japan teži proizvodnji od 75 MW. Američko tržište računa npr. na prodaju u Meksiko, gdje ima 80 000 mjesta bez električne struje, koja bi se mogla elektrificirati putem sunca.
Jednoj od komisija EU predložena je studija o masovnoj proizvodnji solarnih ćelija. Japan je slično njemačkim programom »1000 krovova« (vidjeti Energija, god. 40 (1991), br. 1 i god. 43 (1994), br. 1) organizirao program »75 000 krovova«. Oni eksperimentiraju s tankoslojnim ćelijama koje se integriraju u zidove zgrada i krovove.

ETZ, god. 115 (1994), br. 12

Mrk.

U SVIJETU RASTE POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE

Dok je u 1991. godini potrošak električne energije u svijetu iznosio 12 030 TWh Međunarodna energetska agentura (IEA) u Parizu računa da će 2010. doseći 2 450 TWh. Da se postigne navedeno povećanje od 70%, trebat će dodatno utrošiti 79,1. 10^{18} J primarne energije. Najveći dio potrebne energije dobilo bi se iz ugljena, uz dodatnu 1,1 milijardu tona. Povećao bi se također postotni udio zemnog plina, a pao bi udio urana i nafte. Sljedeća tablica pokazuje koliki su udjeli* primarnih energenata bili u 1991, a koliko predviđa IEA u 2010. godini.

Ukupna proizvodnja električne energije	1991.	2010.
	12 030 TWh	20 450 TWh
Udjeli	%	%
ugljen	39	40
zemni plin	13	20
vodne snage i ostali obnovljivi izvori	19	20
nuklearna energija	18	13
nafta	11	7

ETZ, god. 115 (1994), br. 15

Mrk.

IZDATAK ZA STRUJU PROSJEČNOG NJEMAČKOG KUĆANSTVA

Prosječno njemačko kućanstvo koje kuha na elektriku, ali nema električno pranje posuđa i sušilo rublja, mjesečno prosječno troši 250 kWh. Za toliki potrošak u zapadnom dijelu Njemačke ukupno plaća 81 DEM.
Specifikacija te svote izgleda ovako:

— cijena potroška	58 DEM
— osnovni iznos bez obzira na potrošak	7 DEM
— dodatak za ugljen (der Kohlepfeng) 8,5%	5,5 DEM
— porez 15%	10,5 DEM
— ukupno	81,0 DEM

U istočnom se dijelu Njemačke ne plaća doprinos za ugljenokope, pa je cijena nešto niža. U Njemačkoj je, ponajviše zbog različitih doprinosa, električna energija skuplja nego u bilo kojoj državi EZ. Na primjer: cijena za industriju, na osnovi potrošnje od 10 MW uz 5 000 sati godišnje, kretala se, svedena na njemačku valutu, kako slijedi:

* proizvedene električne energije iz pojedinih godina

Danska	7,6 Pf/kWh	Belgija	10,0 Pf/kWh
Nizozemska	9,2 Pf/kWh	Island	10,7 Pf/kWh
Luksemburg	8,5 Pf/kWh	Italija	11,7 Pf/kWh
Francuska	9,8 Pf/kWh	Španjolska	14,6 Pf/kWh
Velika Britanija	9,8 Pf/kWh	Portugal	15,9 Pf/kWh
Grčka	9,8 Pf/kWh	Njemačka	16,6 Pf/kWh

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 17

Mrk.

VELIKA KOMBINIRANA PLINSKA TERMOELEKTRANA U VELIKOJ BRITANIJI

Britansko elektroprivredno poduzeće National Power plc. iz Londona ugovorilo je s njemačkom tvrtkom Siemens (KWU) dobavu »ključ u ruke« kombinirane plinske termoelektrane koja će se graditi u mjestu Didcotu, 50 km zapadno od Londona. Narudžbu je dobio Siemens u oštrom međunarodnom nadmetanju, a referencije su mu bile slične elektrane koje je gradio u Britaniji Killingholme (900 MW) i Rye House (700 MW). Termoelektrana će imati plinsku i parnu turbinu, koja će proizvesti Siemens, no velik će dio opreme izraditi i britanska industrija. Instalirana snaga elektrona iznosit će 1 350 MW, a računa se s faktorom iskorištenja od 56%. Ugovorene investicije iznose blizu 1 milijarde DEM. Prva bi polovica postrojenja trebala ući u pogon potkraj 1996, a druga sljedeću godinu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 17

Mrk.

TRANSEUROPSKA MREŽA VRLO BRZIH VLAKOVA

Upravni vrh EU, prihvatio je prijedlog EU-komisije da subvencionira 11 projekata za transeuropsku prometnu mrežu vrlo brzih vlakova. U sljedećih 8 godina EU bi za ove projekte stavila na raspolaganje 130 milijardi DEM. Jedan od pravaca pruge bila bi europska veza sjever–jug: Berlin–Nürnberg–München–Verona, a nadalje povezivanje gradova Pariza, Bruxellesa, Kölna, Amsterdama i Londona.

ETZ, god. 115 (1994), br. 16

Mrk.

INOZEMNE INVESTICIJE U NJEMAČKOJ

Strane su tvrtke do kraja 1993. investirale u Njemačkoj 193 milijarde DEM. Osobito jak porast nastaje nakon ujedinjenja obaju dijelova Njemačke 1990., kad su tada ukupne investicije iznosile 143 milijarde DEM. Najviše su u Njemačkoj investirale SAD, a zatim Nizozemska, kako se vidi iz tablice, gdje su za pojedine države iz kojih su investitori, navedene investicije u milijardama DEM.

SAD	52,6 mld. DEM	Švedska	9,0 mld. DEM
Nizozemska	34,8 mld. DEM	Austrija	4,7 mld. DEM
Švicarska	24,9 mld. DEM	Italija	4,3 mld. DEM
Japan	15,2 mld. DEM	Belgija	2,7 mld. DEM
Francuska	13,5 mld. DEM	Kanada	2,7 mld. DEM
Velika Britanija	13,3 mld. DEM	Danska	2,5 mld. DEM
		Ostali	12,6 mld. DEM

ETZ, god. 115 (1994), br. 16

Mrk.

EUROPSKI ENERGETSKI SUSTAVI

Velike političke promjene u Europi, osobito u njezinu istočnom dijelu, imale su odjeka i u elektroenergetici. Prije tih promjena Europa je imala nekoliko elektroenergetskih sustava u kojima su električne mreže povezanih zemalja radile sinkrono. Unatoč jednakim zadacima pojedinih sustava, filozofije planiranja, pogona i vođenja bile su različite. Najveći od njih sustav UCPTE, udružio je, na dobrovoljnoj osnovi, električne mreže 22 poduzeća u 12 država. U skandinavskim zemljama (Norveška, Švedska, Finska, Danska i Island) djelovala je elektroprivredna organizacija NORDEL u kojoj su Norveška, Švedska i Finska činile sinkroni elektroenergetski sustav, bez otoka Islanda i Danske koja je preko Njemačke vezana na UCPTE. Ona s ostalim nordijskim zemljama izmjenjuje električnu energiju putem visokonaponskih istosmjernih kabela.

Promjene političkih prilika nisu za sada mnogo utjecale na organizaciju NORDEL, no jugoistočno krilo sustava UCPTE, grupa SUDEL, doživjela je raspadom Jugoslavije i ratnim razaranjima znatne promjene. Mreže Slovenije i dijela Hrvatske i sada rade paralelno s UCPTE, dok sustav povezanih mreža Grčke, Crne Gore, Srbije, Albanije i dijela Bosne i Hercegovine rade odvojeno.

Istočnoeuropski elektroenergetski sustav s centralnim dispečerskim centrom u Pragu, koji je bio u sklopu bivše privredne organizacije SEV, radi odvojeno od ruskog sustava. Ovu grupu čine Poljska, Češka, Slovačka, Mađarska, Ukrajina i bivša DR Njemačka. Nakon ujedinjenja Njemačke užurbano se radi da se njezin istočni dio priključi u jedinstveni njemački elektroenergetski sustav, a time i u UCPTE. Ostale navedene zemlje rade na potrebnim tehničko-organizacionim promjenama, kako bi one mogle postati dio zapadno-europskog energetskog sustava.

Jedinstveni elektroenergetski sustav bivšeg SSSR-a sastojao se od 9 podsistema, planiran i vođen po jednakim kriterijima, dirigiran iz Moskve. Nakon osamostaljenja pojedinih dijelova zemlje suradnja je nastavljena putem ugovora. Sam vezani sustav Rusije sastoji se od 6 podsustava: Centar, Sjeverozapad, Srednja Volga, Ural, Sibir i Sjeverni Kavkaz. Na ruski su sustav vezani Ukrajina, Bjelorusija i Kazahstan s vlastitim nacionalnim dispečingom. Osim toga, još su vezane zemlje Baltika, Litve, Estonija i Letonija, kao i zemlje Transkavkaza Gruzija, Armenija i Azerbejđan. Oni su još uvijek u velikoj ovisnosti od moskovskog centra.

Postoji težnja da se omogući razmjena električne energije na području cijele Europe bilo da se šire novim priključcima sustavi koji rade sinkrono, bilo da se grade jaki visokonaponski istosmjerni prijenosi. No povezivanje se već širi i izvan Europe. Predviđa se da će se već 1995. vezati na španjolsku mrežu sjeveroafrički sustav Maroka, Tunisa i Alžira.

U tijeku je niz studija koje se bave mogućnostima i alternativima europskog elektroenergetskog povezivanja.

ETZ, god. 115 (1994), br. 19

Mrk.

NEZAPOSLENOST INŽENJERA U NJEMAČKOJ

Potražnja za inženjerima, računajući one iz strukovnih škola i fakulteta, bitno se smanjila u 1993. godini. Broj slobodnih mjesta, smanjio se potkraj 1993. u zapadnom dijelu Njemačke na 3 500, a to je za 26% i manje nego u prethodnoj godini (4700). U rujnu 1993. bilo je ukupno 34 000 nezaposlenih inženjera, a to je 47% više nego u isto vrijeme 1992.

Ova teška situacija u zapošljavanju pogodila je prvenstveno elektroinženjere i strojarske inženjere. U rujnu 1993. bilo je 9 700 elektroinženjera bez posla. Od toga 5 700 iz strukovnih škola i 4 000 iz fakulteta. To je porast od 57% prema prethodnoj godini. U istočnom dijelu Njemačke registrirano je 1993. približno 3 500 nezaposlenih elektroinženjera, od toga 2 900 s fakultetom.

ETZ, god. 115 (1994), br. 19

Mrk.

RAZVOJ ROBOTA U JAPANU

Mnoge se japanske tvrtke bave razvojem robota koji bi preuzeli ljudske poslove jer Japan oskudijeva radnom snagom. Predsjednik sveučilišta u Tokiju iznio je podatak, kao rezultat istraživanja, da će 2007 godine 20% stanovništva Japana imati više od 65 godina, a privredi će nedostajati oko 500 000 znanstvenika.
Roboti bi trebali preuzeti teške i prljave poslove za koje se i sada teško nađu radnici. No u obzir dolazi također i robot za pomoć u kući, bolnici i za uklanjanje smeća. Smatra se da bi se upravo za kućne robote našlo veliko tržište. Prema predviđanjima, trebali bi za 5 do 10 godina prvi »inteligentni« strojevi čistiti otpatke na japanskim ulicama.

ETZ, god. 115 (1994), br. 19

Mrk.

SMANJENJE GUBITAKA U PRIJENOSU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Gubici električne energije u istočnom dijelu Njemačke polako se smanjuju. U godini 1993. iznosili su 9,6% prema 10% u prethodnoj godini. U apsolutnom iznosu gubitak je iznosio 5,6 milijardi kWh. Gubitke je uspjelo sniziti velikim financijskim ulaganjima u istočnonjemačku elektroprivredu. U zapadnom dijelu zemlje gubici su u apsolutnom iznosu od 17,7 milijardi kWh doduše mnogo veći, no procentualno mnogo manji nego u istočnom dijelu. I kod njih je zabilježen neznatan pad. Od 4,7% u 1992. godini na 4,6% u 1993, od ukupno prenesene energije od mjesta proizvodnje do potrošača.

ETZ, god. 115 (1994) br. 19

Mrk.

BANKA PODATAKA EU ZA ISTRAŽIVAČKE KONTAKTE

Europska unija (EU) nudi u sklopu organizacije Cordis (European Community Research and Development Service) opširnu banku podataka za kontakte u istraživanju. Podaci se mogu dobiti posredovanjem organizacije Echo (European Commission Host Organisation). Pomoću banke podataka poduzeća su u mogućnosti da se upoznaju s istraživačkim projektima EU i uspostave vezu s različitim institucijama. Kontakti su mogući unutar EU u europskom gospodarskom prostoru te u srednjoj i istočnoj Europi.

ETZ, god. 115 (1994), br. 19

Mrk.

BROJ TELEFONSKIH PRIKLJUČAKA U NJEMAČKOJ

Broj telefonskih priključaka u zapadnom dijelu Njemačke mnogo je veći nego u njezinu istočnom dijelu. U 1989, godini ujedinjenja, zapadni je dio na 1 000 stanovnika imao preko 4 puta više priključaka nego istok. No ta se razlika stalno smanjuje, tako da je sredinom 1994. broj priključaka na 1 000 stanovnika dosegao oko 60% onih na zapadu. Rast priključaka na 1 000 stanovnika prikazuje tablica.

God.	1989.	1990.	1991.	1992.	1993.	sred. 1994
SR Njemačka	460	470	484		498	513
DR Njemačka	109	119	149	119	265	300

ETZ, god. 115 (1994), br. 20

Mrk.

FOTOVOLTAIČKE ĆELIJE NA NOVOM NAČELU

Američka tvrtka Advanced Research Development, Athol-Massachusetts razvija posebnu vrstu sunčanih fotovoltaičkih ćelija na bazi organskih molekula. Sunčani se kolektor sastoji od tanke folije koja se dade savijati u svitke i tako jednostavno transportirati. Predviđa se da će one biti bitno jeftinije od dosadašnjih ćelija. Na foliji je tanki sloj poliacetilena, organskog lančastog spoja, koji je električki vodljiv. Znanstvenici pokušavaju u spomenuti sloj ugraditi organske molekule putem kojih bi se Sunčeva energija pretvarala u električnu koja bi se odvodila elektrodama ugrađenima na kraju. Uspjelo je učiniti sintezu takvih molekula koje mogu iskoristiti 99% sunčane svjetlosti, ali se još ne zna kolika će biti njihova učinkovitost kad se ugrade u sloj folije.

ETZ, god. 115 (1994), br. 20

Mrk.

SAVJET EU TRAŽI VIŠE NUKLEARNE SIGURNOSTI U UKRAJINI

Europski savjet, najviši organ EU, ponovno je izrazio zabrinutost zbog nedovoljne nuklearne sigurnosti u Ukrajini. Zaustavljanje nuklearnih blokova 1 i 2 u Černobilu, a uskoro i bloka 3, bit će nadomješteno reaktorskim uređajima koji su u gradnji u Zaporožju, opremljenih prema svim sigurnosnim normama. Osim toga je potrebno da nezavisni inženjeri provedu kontrolu i učine napore kako bi se građevinske i pogonske norme postrožile i poboljšale, da se postigne stupanj sigurnosti kako to traže norme EU. Ova je organizacija spremna sklopiti s Ukrajinom ugovor o planiranju u području nuklearne sigurnosti i doznačiti 400 milijuna Ecu u obliku Euroatom-zajma i još 1 milijun Ecu za vrijeme od tri godine u sklopu Tacis – progama.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 22

Mrk.

EMISIJA CO_2 U ZEMLJAMA EU JOŠ PREVISOKA

Prema izvještaju statističkog ureda EU (EUROSTAT) u prošloj je godini u zemljama EU izbačeno u atmosferu 3 milijarde tona ugljičnog dioksida, a to je 8,4 po stanovniku. U

vremenu između 1990. do 1993. emisija se smanjila za 3,2%, što je posljedica recesije i prestrukturiranja industrije u bivšoj DDR. No unatoč padu ona je još uvijek previsoka. Od 12 zemalja EU u njih 5 se i povećala. Najveće je povećanje u Portugalu, za 11,6%, a zatim u Belgiji 10,7%. Naprotiv, u Njemačkoj je smanjenje iznosilo 7,7%, u Velikoj Britaniji 3,9%, a u Francuskoj 3,1%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 22

Mrk.

VISOKA KORISNOST TERMOELEKTRANE NA KAMENI UGLJEN

Termoelektrana na kameni ugljen stavljena u pogon 1994. u Rostocku, bivša Njemačka DR, najmodernija je i najekonomičnija termoelektrana takve vrste u Njemačkoj, a i u svijetu. Od isporučioca ABB-Mannheim garantiran je stupanj korisnosti 42,5%, što je svjetski vrh. Ako elektrana radi dijelom kao toplana, iskorištenje goriva penje se na 62,5%. Uz vlastiti potrošak od 44 MW neto-snage iznosi 509 MW, a bruto 553 MW. Gradnja je trajala 3 godine, a investicije su iznosile 1,3 milijarde DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 22

Mrk.

SUPRAVODLJIVI MAGNETSKI AKUMULATOR ENERGIJE

Na razvoju supravodljivih prigušnica, kao magnetskih akumulatora energije, intenzivno se radi u SAD i Japanu. Predviđa se da bi se takvi uređaji mogli prije svega koristiti u elektranama. Energija se u njima akumulira bez gubitaka i stoji na raspolaganju za brzo korištenje, pa se time može, uz ostale uređaje, optimirati sekundarna rezerva. U praktičnu bi primjenu mogli ući negdje potkraj desetljeća. Slični se razvojni radovi provode i u Njemačkoj. Prema jednoj studiji, za ugradnju u elektroprijenosnu mrežu konstruirao bi se supravodljivi magnetski akumulator snage 100 MW sa sadržajem energije od 2 MWh.

ETZ, god. 115 (1994), br. 20

Mrk.

RASTE POTROŠNJA ENERGIJE U SVIJETU

Prema istraživanju British Petroleum (BP) korporacije potrošak energije u svijetu 1993. prema 1992. porastao je za 0,2%. U zemljama OECD potrošnja je jedva nešto porasla, ali je u Kini porast iznosio 4,6%, a u svim zemljama u razvoju 4,2%. Naprotiv, u bivšem SSSR-u i zemljama istočne Europe potražnja za energijom pala je za 8,2%. Na taj će način Kina u 1994. godini postati drugi svjetski najveći konzument energije poslije SAD. Nekada je SSSR držao drugo mjesto.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 22

Mrk.

DOVOLJNO GORIVA ZA NUKLEARNE ELEKTRANE

Prema izvješću agencije Euroatom iz Bruxellesa dobava nuklearnog goriva za elektrane bila je redovita za sve zemlje EU. Većina se goriva dobavljala na temelju dugogodišnjih ugovora. Zbog prerade urana i plutonija iz već korištenog goriva bit će u 1995. i 1996. godini potrebno malo prirodnog urana. Kapaciteti uređaja za konverziju, obogaćivanje i proizvodnju gorivih elemenata dovoljni su u zemljama EU. Prati se i uvoz iz istočnih zemalja, kako zemlje EU ne bi bile previše ovisne o dobavi goriva iz jednog izvora.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 22

Mrk.

KINA PLANIRA DALJNJU IZGRADNJU NUKLEARKI

Prema izjavi vlade NR Kina, prema namjeravanom planu razvoja proizvodnje električne energije, Kina će izgraditi dvije nove nuklearne elektrane locirane u provinciji Guangdong (Južna Kina). Najprije će se graditi po jedan blok od 1 000 MW električne snage. Kao što je bilo prilikom gradnje nuklearke Daya Bay, udaljene 5 km, i ovdje je predviđena suradnja inozemnstva pri projektiranju i gradnji.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 23

Mrk.

NOVE ELEKTRANE SNIZUJU POTROŠAK GORIVA

Međunarodna organizacija proizvođača električne energije (UNIPEDE) utvrdila je da će povećanju snage elektrana od 500 GW na 600 GW, u razdoblju od 1990. do 2010. godine, u novim elektranama, zbog boljeg stupnja korisnosti, godišnji porast potrebnog goriva iznositi 1,8%. Za usporedbu, u posljednjih 20 godina porast je iznosio 3,4% godišnje. Promjene će također nastati u udjelima grupa potrošnje. Udio sektora uslužnih djelatnosti porast će od 22% na 26%, dok će udio industrije past od 44% na 40%. Domaćinstvo će zadržati 25%, a također i poljodjeljstvo dosadašnjih 2%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1994), br. 22

Mrk.

NAJVEĆA U SVIJETU PUMPNO-AKUMULACIJSKA HIDROELEKTRANA

Najveća pumpno-akumulacijska hidroelektrana u svijetu, snage 2 400 MW, gradi se u Kini u provinciji Guandgdong. Prva etapa izgradnje s 4 motor-generatorska agregata po 300 MW bit će završena u 1999. godini. Opremu dobavlja konzorcij inozemnih tvrtki (Siemens, Voith), dok će montažne radove obavljati domaća poduzeća.

ETZ, god. 115 (1994), br. 22-23

Mrk.

NOVO SUPERRAČUNALO

U prosincu 1995. trebalo bi se naći na tržištu najbrže elektroničko računalo na svijetu. To je kompjutor SX-4, proizvod tvrtke NEC-Corp, Tokyo, sa 512 procesora. Računalo može u sekundi obraditi 1 000 milijardi računskih operacija. Mjesečni najam računala stajat će 9,4 milijuna DEM.

ETZ, god. 115 (1994), br. 22-23

Mrk.

LEUKEMIJA DJECE NIJE POVEĆANA

Prema podacima koje je donio British Medical Journal od srpnja 1994, poslije nesreće nuklearnog reaktora u Černobilu, u zemljama koje su bile najviše pogođene radioaktivnim oblacima nije opaženo povećanje leukemije djece. U Švedskoj i Finskoj provedena su osobito brižljiva istraživanja o posljedicama radioaktivnog zračenja. Epidemiolozi nisu mogli ustanoviti da se broj bolesne djece od leukemije povećao iznad dugogodišnjeg prosjeka.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 24

Mrk.

KOMERCIJALNI FUZIJSKI REAKTORI TEK ZA PEDESETAK GODINA

O budućem korištenju fuzijskih reaktora raspravljalo je oko 650 znanstvenika iz različitih zemalja na 18. Symposion on Fusion Technology (Soft) u Karlsruhe. Izneseno je mišljenje da je nuklearna fuzija jedina alternativa, da se nadomjesti fosilno gorivo koje ide prema iscrpljenju, a svjetske potrebe za električnom energijom rastu. No prema sadašnjem stanju tehnike ne može se računati s komercijalnom upotrebom fuzijskih reaktora prije nekih 50 godina.

Elektrizitätswirtschaft,, god. 93 (1994), br. 24

Mrk.

U NJEMAČKOJ RASTE BROJ SOLARNIH KOLEKTORA

Površina solarnih kolektora za zagrijavanje vode povećala se u Njemačkoj 1993. prema prethodnoj godini za 50% i dosegla 215 000 m². Očekuje se da bi do kraja 1994. mogla iznositi više od milijun m². Navedene podatke objavio je njemački savez za solarnu energiju. Ovakvim zagrijavanjem vode ušteđuje se energija i smanjuje emisija ugljičnog dioksida za 100 000 t godišnje. Prema istom izvoru, prodaja solarnih kolektora rasla je od 1986. prosječno godišnje za 40%. U godini 1993. po površini kolektora Njemačka je dostigla Grčku. Da se pak solarna energija može dobro koristiti i u umjerenoj klimi dokazuje činjenica da Austrija ima, računajući po stanovniku, devet puta veću površinu solarnih kolektora nego Njemačka.

ETZ, god. 115 (1994), br. 22/23

Mrk.

HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA

Hrvatska elektroprivreda (HEP) je javno poduzeće za proizvodnju, distribuciju, te prijenos električne energije i upravljanje elektroenergetskim sustavom, koje opskrbljuje cjelokupno područje Republike Hrvatske električnom energijom, a bavi se i toplinskom djelatnošću. HEP je osnovan Zakonom 28. srpnja 1990. godine kao javno poduzeće od posebnog društvenog interesa. HEP je pravni slj ednik bivše ZEOH (Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske. Okupio je 113 dotad samostalnih organizacija za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije i toplinarstvo - u jednu cjelinu.
Početak javne elektroprivredne djelatnosti u Hrvatskoj datira od puštanja u pogon HE Jaruga kod Šibenika, a to je bilo 28. kolovoza 1895. godine. Sadašnjim poduzećem upravlja Upravni odbor, čijih šest članova imenuje Vlada Republike Hrvatske, a tri člana bira HEP iz redova svojih djelatnika. Generalnog direktora, koji je odgovoran za organizaciju i ukupno funkcioniranje poduzeća, imenuje Vlada Republike Hrvatske. Rad poduzeća organiziran je u šest direkcija:
- za proizvodnju,
- za upravljanje i prijenos,
- za distribuciju,
- za razvoj i inženjering,
- za ekonomsko-financijske poslove,
- za administrativne poslove, i

Sektor za poslovnu informatiku.

HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA

Hrvatska Elektroprivreda (HEP, Croatian National Electricity) is a public utility for electricity generation, distribution and transmission and electric power system control. It supplies electricity over the entire territory of the Republic of Croatia and is engaged in the district heating activity as well.
HEP was founded by the Law on July 28, 1990 as a public utility of special social interest. HEP is the legal successor of the former ZEOH (Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske / Association of Croatian Electric Power Utilities/). It brought together and integrated 113 independent organizations for electricity generation, transmission and distribution and district heating. Public electricity supply in Croatia started with the commissioning of the hydro power plant Jaruga near Šibenik, precisely on August 28, 1895.
Present utility is managed by the Managing Board, the 6 (six) members of which are appointed by the Government of the Republic of Croatia and 3 (three) by HEP from its own employees. The Government of the Republic of Croatia appoints the General Manager who is responsible for the organization and overall functioning of the utility.
The operation of the utility is organized in 6 divisions:
- for production
- for system control and transmission
- for distribution,
- for development and engineering,
- for economic and financial affairs,
- for administrative affairs

and the business information system department.

KONČAR INCM

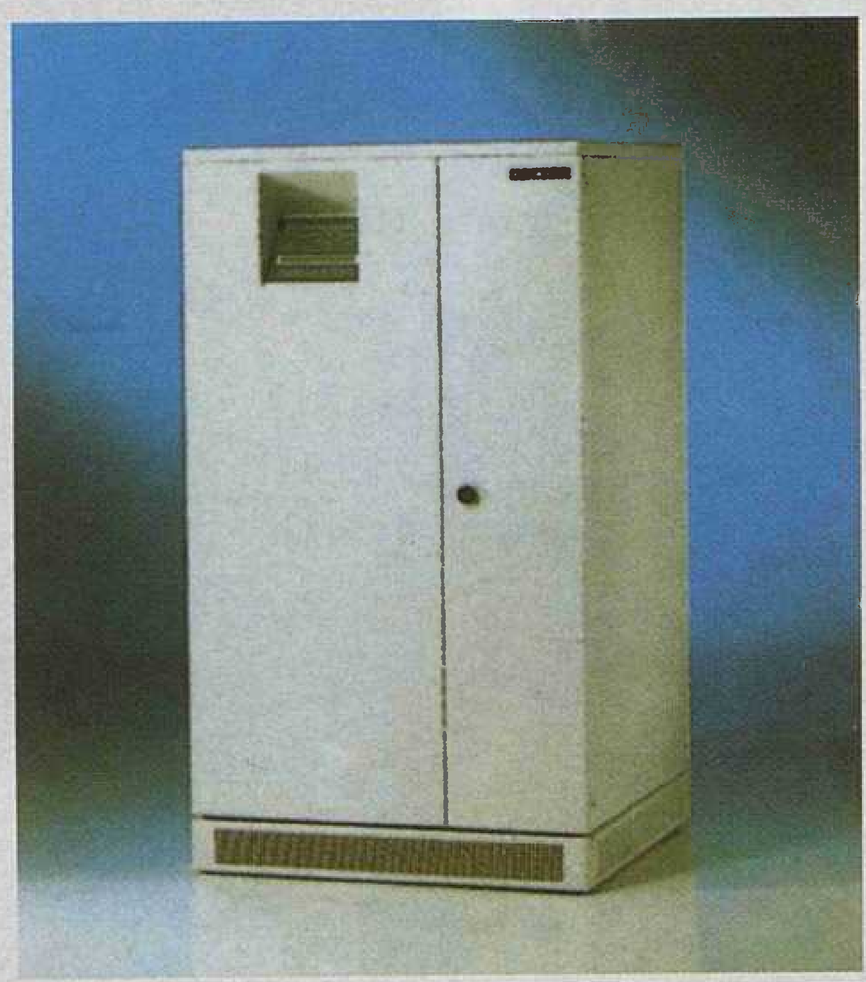
KONČAR Elektronika i informatika d.o.o.
Zagreb, Josipa Lončara 3
Telefoni: 01 156 515 i 01 157 565
Fax: 01 156 518

SUSTAVI ZA BESPREKIDNO NAPAJANJE

Napajanje izmjeničnim naponom (UPS)

On-line koncepcija u cjelokupnom rasponu snaga od 500 VA do 600 kVA:
- integrirani sustavi s ugrađenim hermetički zatvorenim akumulatorskim baterijama
- višestruka zaštita napajanog trošila:
  - od prekida u napajanju
  - od odstupanja napona od nazivne vrijednosti
  - od svih smetnji iz mreže
- automatsko periodičko testiranje baterija
- ugrađen kronološki registar događaja
- mogućnost redundantnog paralelnog rada
- daljinski nadzor i upravljanje preko računala
- daljinska dijagnostika stanja uređaja: TELESERVIS.

Reference: do danas instalirano opreme ukupne snage veće od 22000 kVA.



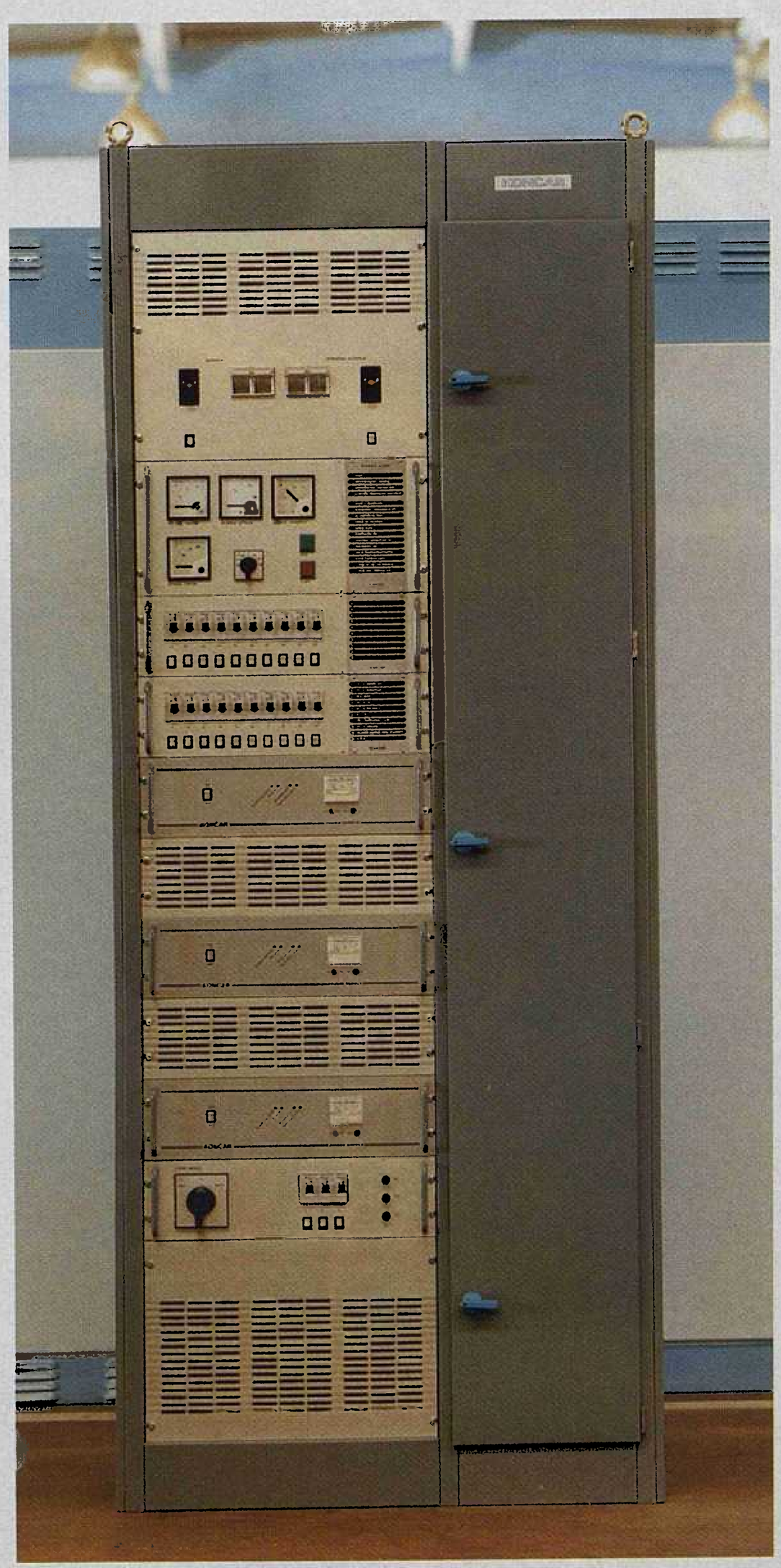
UPS tipa ST snage 60 kVA

UPS tipa SL snage 3 kVA

Napajanje istosmjernim naponom

Integrirani sustavi napajanja naponima 24, 48, 110 i 220 V:
- hermetički zatvorene akumulatorske baterije
- modularna konstrukcija
- redundantni paralelni rad ispravljača
- visoka pouzdanost i raspoloživost
- jednostavno povećanje nazivne izlazne struje
- mikroprocesorski nadzor i upravljanje
- visokofrekventni ispravljači
- sinusoidalna ulazna struja
- hlađenje: prirodno, zrakom
- široke mogućnosti prilagođenja konkretnim zahtjevima.

Reference: u posljednjih 10 godina instalirano opreme ukupne snage veće od 15000 kW



Sustav napajanja istosmjernim naponom 48 V

UDK 621.31 ENJAAC 44 (2) — (1995) 49—116 ISSN 0013-7448

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 44 (1995) Zagreb 1995 Br. 2

IZDAVAČ — PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

Redakcija završena 1995 — 07 — 03

SADRŽAJ

Fotografija na omotnoj strani
PRVI PRIJENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ (HE Jaruga 1 i vod za Šibenik)

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 625-328 i 625-111/2328, telefax 533-692, 511-612

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn). Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro račun kod ZAP, Zagreb — Hrvatska elektroprivreda (za »Energiju«) broj 30101-604-495

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

Uredništvo časopisa se ispričava čitateljima i suradnicima zbog zakašnjenja u izlasku ovog broja časopisa. Razlozi tome zakašnjenju su reorganizacijske promjene izvan samog časopisa, koje su se odrazile i na časopis. Nastojat ćemo do kraja godine dostići naš uobičajeni ritam, pa vas molimo za razumijevanje. Koristimo se prilikom da vas obavijestimo da je imenovan novi Izdavački savjet ENERGIJE.

Glavni urednik

STOTA OBLJETNICA ZAČETKA ELEKTROPRIVREDNE DJELATNOSTI U HRVATSKOJ

Ante Sekso, Zagreb

UDK 621.311.1
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Ukratko se prikazuje početak trajne elektroprivredne djelatnosti u Hrvatskoj zasnovane, pred 100 godina, na izmjeničnim i višefaznim sustavima. Opisan je prvi sustav na rijeci Krki i u Šibeniku, pušten u pogon 1895. godine. Naglašena je uloga Hrvatske u počecima razvoja elektroprivredne djelatnosti.

Ključne riječi: elektroprivreda, elektroenergetski sustav, graditelji sustava.

1. UVOD

Pri kraju dvadesetog stoljeća mnoge razvijene zemlje obilježavaju punih stotinu godina trajne djelatnosti suvremene elektroprivrede zasnovane na izmjeničnim i višefaznim sustavima. Hrvatska također ima priliku pridružiti se takvim zemljama i dostojno obilježiti u ovoj 1995. godini stoljetni jubilej našega prvog sustava na rijeci Krki i u Šibeniku, puštenoga u trajan rad u kolovozu 1895. godine. Pravi prodor i razvoj suvremene elektroprivredne djelatnosti počeo je tek onda kada je za prijenos i razdiobu električne energije odabrana tehnika izmjeničnih struja u kojoj transformator kao ključni element predstavlja elegantan način generiranja visokih napona tako nužnih za prijenos električne energije na potrebnu daljinu i širenje električnih mreža u današnjem smislu.

Suvremene izmjenične elektroenergetske mreže postale su najkompleksniji tehnički sustav što ga je napravio čovjek. Potrošnja električne energije stalno se mijenja i u realnom vremenu zadovoljava varijacijama proizvodnje. Današnje razvijene elektroenergetske mreže isporučuju električnu energiju pouzdano, ekonomično i s minimalnim varijacijama frekvencije i napona svakom potrošaču fizički povezanom na sustav. Da bi došlo do toga stupnja razvoja trebalo je proći mnoge faze u razvitku u proteklih stotinu godina. Stoljetni jubileji, pa i sam kraj ovog stoljeća i tisućljeća prilika je za retrospektivu i ocjenu prijeđenog puta. Stoga je u ovim godinama u mnogim zemljama opravdan interes stručnjaka, pa i najšire javnosti na same početke razvoja onoga što danas nazivamo elektroprivredom. Česta i uobičajena su pitanja prioriteta i priznanja, posebno na području koje se mijenjalo tako brzo kao ovo. Ta pitanja i česte nedoumice potencira kontinuirana i preklapajuća priroda tehničkih otkrića i njihovih primjena.

Jedna je od namjera ovog rada da upozori na prioritet u razvoju elektroenergetskog sustava u nas, jer do sada to pitanje nije bilo predmet istraživačkog rada. U tome je velika razlika u odnosu na razvijene zemlje, koje pitanjima povijesti energetike i posebno elektroenergetskih sustava pridaju posebnu pozornost. Dokaz tome su mnogi znanstveni radovi, povremeni tematski simpoziji, pa i stalne institucije kao što su časopisi i instituti za povijest modernih tehnologija, posebni kolegiji na sveučilištima itd. Hrvatska ima mnogo razloga da se aktivno uključi u povijesna istraživanja. Jedan je od njih u tome što su hrvatski ljudi dali bitne doprinose izumima na ovom području. Nadalje, u Hrvatskoj je napravljen jedan od prvih izmjeničnih sustava koji je poslužio kao eksperimentalan i u svjetskim razmjerima. Osim toga, naglašavanje naše povijesne uloge važno je i u vremenima kada se slika o hrvatskoj državi i naciji formira u suvremenom svijetu. Pri tome potrebno je naglasiti da svaki pokušaj stavljanja vrijednosti i dostignuća vlastitog naroda u kontekst šire zajednice, u ovom slučaju Europe pa i svijeta, predstavlja izuzetno težak i odgovoran zadatak. Prije svega moraju se izbjeći dvije krajnosti. Jedna je podcjenjivanje, a druga preuveličavanje svoga doprinosa i svoga vrijednosnog sustava. Ista se teškoća pojavljuje kada se naši pronalazači i graditelji sustava stavljaju u europski kontekst. Nema sumnje da su neki naši ljudi odigrali izuzetno važne uloge, od kojih se za neke malo zna i kod nas. Međutim, isto tako je važno prikazati kako su i mnogi drugi sudionici, stvarajući kritičnu masu znanstvenika, inženjera i graditelja, pridonijeli da Hrvatska bude sudionicom u stvaranju takvoga civilizacijskoga dostignuća kakav je naš prvi elektroprivredni sustav.

2. DEFINICIJE I DISTINKCIJE POJMOVA

Ovaj rad obrađuje u osnovi spomenuto pitanje prioriteta u gradnji našega elektroprivrednog sustava. Prethodno je nužno obrazložiti neke pojmove i definicije vezane za razmatranu temu. Prije svega, treba

naglasiti da se elektrane i na njih priključene mreže općenito dijele na javne, mješovite i industrijske. Iako i danas postoje dvojbe u gledanju na elektroprivredu kao ponajprije privrednu djelatnost ili svojevrstan oblik javne službe, ipak je u njezinim temeljima javna upotreba njezina proizvoda električne energije. U počecima razvoja elektroprivrede kao posebne privredne djelatnosti bitne su javne i mješovite elektrane i mreže, jer tada industrijske elektrane služe »samo za potrebe neke tvornice ili nekoga posebnog objekta, npr. kazališta, hotela ili slično« [1]. Ako se još uzme da su te male početne industrijske elektrane služile najčešće za privatnu upotrebu i koristile se uglavnom istosmjernom strujom onda se za njih ne može reći da su začeci današnje elektroprivrede i modernog elektroenergetskog sustava. Drugim riječima, nikako se ne može govoriti o začetku sustava kakav je danas npr. Hrvatska elektroprivreda pri ugradnji nekoga maloga istosmjernoga dinama za rasvjetu privatnog mlina ili kavane. Izgradnja malih kućnih dinama u pojedinmim reprezentativnim zgradama počela je u Hrvatskoj vrlo rano, još u vrijeme dominacije istosmjernog sustava. Tako su prve male kućne istosmjerne izvore dobile streljana u Tuškancu u Zagrebu još 1882. i novo kazalište u Rijeci 1885. godine. Ni spomenuta streljana ni kazalište još uvijek ne znače javnu elektrifikaciju, pa prema tome ni početak javne elektroprivredne djelatnosti. U tim slučajevima može se samo govoriti o vrlo ograničenoj elektrifikaciji nekih objekata, a ta je pojava tek prethodila osnivanju elektroprivredne djelatnosti.

Sustav javne elektroprivrede u tehničkom pogledu označavaju tri komponente: proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije. Danas se te funkcije obavljaju u složenom sklopu elektroenergetskog sustava što ga tvori više elektrana, obično različitih tehničko-ekonomskih svojstava, povezanih s prikladnom složenom mrežom postrojenja i vodova na način da se zadovoljenje potražnje ostvari uz poželjnu kvalitetu električne energije, pouzdanost i ekonomičnost. U takvom sustavu funkcije prijenosa i distribucije obavljaju danas razvijene posebne prijenosne i razdjelne mreže. Za početke javne elektroprivrede opravdano je uzeti one sustave koji su imali sve tri bitne komponente makar su neke od njih bile u početnom obliku (npr. samo jedan prijenosni vod i sl.). Drugim riječima u tehničkom pogledu sustav javne elektroprivrede uži je pojam od elektroenergetskog sustava. Stoga je moguće govoriti o počecima javne elektroprivredne djelatnosti već onda kada se pojavljuju prvi sustavi sa sve tri navedene komponente. To se odnosi i na naš prvi sustav javne elektroprivrede na Krki i u Šibeniku, koji je tek izgradnjom više elektrana (makar sličnih karakteristika) i više prijenosnih vodova prerasta u mali elektroenergetski sustav.

Jedna od komponenti elektroprivredne djelatnosti jest prijenos električne energije, a njegovu funkciju obavljaju prijenosni vodovi ili mreža. Česti su pokušaji definiranja razlike između prijenosnih i distributivnih (razdjelnih) vodova, ali se mnogi od njih nisu pokazali zadovoljavajućima. Jedna od definicija kaže da su »prijenosni vodovi oni koji su spojeni između opreme za transformaciju kod primarnog izvora energije i točaka prijema snage i ulaza u točke ukupne distribucije ili oni vodovi čija je primarna namjena da pojačaju, sakupe ili zajednički povežu izvore električne energije« [29]. Jednostavan i čest način razlikovanja prijenosnih vodova jest visina nazivnog napona, koja je jednaka ili veća od određene razine (kod nas danas 110 kV). Za same početke razvitka elektroprivrede vodovima prijenosnicama se mogu smatrati vodovi mnogo nižih nazivnih napona od današnjih tipičnih prijenosnih napona i to zbog uloge i značenja što su ga imali u vrijeme uvođenja u rad. Tada je temeljno svojstvo prijenosne aktivnosti bilo da se prenese relativno velika snaga na odgovarajuću veliku udaljenost. U tom smislu je prikladna definicija takvog voda kao prijenos »točka do točke« za razliku od vodova unutar mreže ili duž prstena s točkama transformacije. Konačno, jedna od značajki prijenosnih vodova jest njihova veća duljina, kojom se obično svladavaju lokalne klimatske i druge razlike parametara okoline. Sve navedeno primijenjeno na razvoj početaka javne elektroprivredne djelatnosti u nas dovelo je do toga da se za prvi prijenosni vod u Hrvatskoj proglasi [1] vod napona 3 kV i duljine 11 km između HE »Krka« (»Jaruga 1«) i Šibenika. Takvo je mišljenje potpuno ispravno.

Pojmovi suvremenoga i modernoga elektroenergetskog sustava također traže obrazloženje u povijesnom kontekstu. U društvenoj teoriji [27] moderna se tehnika kao moderno sredstvo proizvodnje definira kao tzv. opredmećenje najnovijih dostignuća egzaktnih znanosti. Epohalni rez koji markira prijelaz iz predmoderne epohe u modernu u tehnici se događa kada sredstva proizvodnje napuštaju dotadašnja radna iskustva i okreću se primjeni modernih znanosti. Ti događaji su obično poznati kao industrijska revolucija i u njih se svakako ubraja proizvodnja i prijenos električne energije. Svestrana primjena električne energije, a posebno svojstvo najjednostavnijeg prijenosa snaga na veliku daljinu vjerojatno su najviše utjecali na materijalni stil života ovog stoljeća [28].

Nije stoga čudno da npr. u Velikoj Britaniji danas smatraju jednim od svojih najvećih suvremenih dostignuća izgradnju svoje mreže za prijenos električne energije (National Supergrid). Može se reći da se u pitanju primjene električne energije prijelom iz moderne u suvremenu epohu dogodio pri uvođenju višefazne tehnike prijenosnih mreža.

Danas se, dakako, pod suvremenim elektroenergetskim sustavima razumijevaju samo oni trofazni, iako bi mnogo adekvatniji izraz bio »sustavi s okretnim poljem« (prema njem. »Drehstromsystem«, što se u nas nepotpuno prevodi kao »trofazni sustav«). Bit je suvremenih sustava u okretnom polju, a njih su već osiguravali pionirski dvofazni sustavi. Početni jednofazni prvi sustavi bili su moderni u odnosu prema dotadašnjim istosmjernim sustavima jer su bili osnovani na otkriću izmjeničnih struja koje su do danas ostale dominantne. Prema tome, ispravno je ka-

zati da prvi izmjenični sustavi predstavljaju početak nečega modernog a prvi dvofazni sustavi čak i početak suvremenih sustava. U razdoblju od 1891. do 1895. godine počinje u svijetu razvoj izmjeničnih i višefaznih sustava u obliku kakav danas poznajemo. Stoga se s tim godinama u razvijenim zemljama obično vežu obilježavanja stotih obljetnica elektroprivredne djelatnosti. Za nas je važno da se tada pojavljuje jedan hrvatski projekt kao doprinos općem napretku.

3. PITANJE PRIORITETA SUSTAVA

Cjelokupna naša literatura iz povijesti elektroprivrede sadrži uz brojne vrijedne priloge i mnoge nedostatke. Tako se u mnogim od citiranih radova [3 – 15] često potkradaju pogreške glede tehničkih podataka ili datuma nastanka naših pionirskih pothvata. Makar je većina takvih nepreciznosti uklonjena u kapitalnom dvosvešćanom djelu o razvoju elektrifikacije Hrvatske [1,2], čak i u njemu ostaju dva bitna nedostatka i nedorečenosti. Riječ je o nedovoljnom isticanju naših prioriteta i o izostanku njihova smještaja u europski i svjetski kontekst. Glavni je razlog takvih propusta u konceptu djela koji je zasnovan na regionalnom predstavljanju povijesnog razvitka u Hrvatskoj, pa nedostaje sintetski prikaz i analiza prioriteta na cjelokupnom hrvatskom području. Također vrijedi primjedba da hrvatski početni projekti i značajni ljudi nisu do sada obrađeni u njihovoj uporedbi sa svijetom. U moguće razloge ovdje se neće ulaziti, ali je to svakako propust što ga sadašnja istraživanja povijesti moraju ispraviti, to prije što su hrvatski ljudi, pa i početni projekt vrijedni i u svjetskim razmjerima.

Prvi rad u kojem se ističe kojem našem pionirskom pothvatu treba dati prednost u začetku onoga što danas zovemo elektroprivrednom djelatnošću objavljen je početkom devedesetih godina [18] kao rezultat usporednih studija naše i svjetske povijesti elektroenergetike. Tu je doista prvi put istaknuta važnost našega prvog sustava na rijeci Krki čiji je značaj podignut na općenacionalnu razinu. Prvi sustav na Krki obilježavan je prije toga samo na razini Šibenika i šibenske regije [16], ali mu ni na razini Dalmacije [7, 12—15] nije pridavano značenje koje nesumnjivo zaslužuje. U nekim se radovima prvom sustavu s Krke pokušava čak i umanjiti značenje time što se dovodi u sumnju njegov začetak višefaznog sustava, zatim time što se naglašava da prva javna razdjelna mreža nije imala priključke na kućanstva [1,12] i time što se takav značajan iskorak u tehnološkom pogledu stavlja u istu razinu s malim istosmjernim elektranama [3]. Mogli bi se dugo nizati primjeri takvog prikazivanja povijesti, a posljedica je takvog pristupa da sve donedavno ni u Hrvatskoj ni u svijetu nije dostatno naglašeno veliko značenje onoga što je bilo napravljeno u Hrvatskoj davne 1895. godine. Mnoge druge zemlje ističu svoje prve projekte, a neki su općeprihvaćeni kao prekretni događaji u suvremenoj povijesti. Kako će se kasnije pokazati, naš prvi sustav može se u mnogo čemu mjeriti s takvim svjetskim dostignućima. Ipak, pri tome ne treba upasti u pogrešku da se, neprovjereno, naš sustav proglašava prvim u Europi ili svijetu, jer on uistinu to nije. Ipak, njegovo značenje je u počecima razvoj izmjeničnih sustava veliko i tog treba biti svjestan, ali samo u sklopu činjenica utvrđenih znanstvenim istraživanjem povijesti.

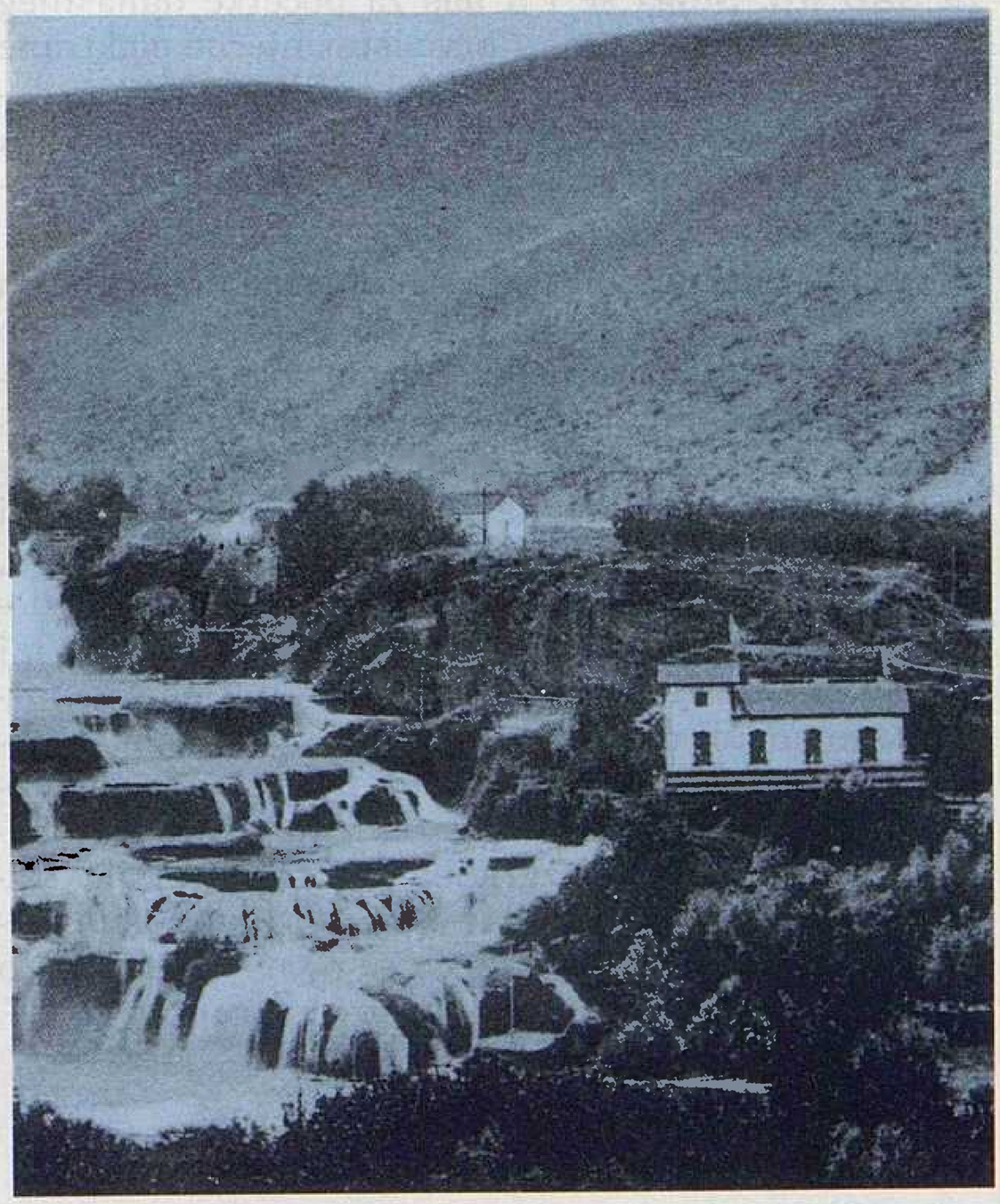
U spomenutom radu [18], a zatim i mnogim drugim popratnim materijalima [19] prvi put je javno istaknuta činjenica da je 1895. god. proradio između slapova rijeke Krke i Šibenika naš prvi kompletni elektroprivredni sustav sa svim bitnim komponentama:

a) proizvodnjom električne energije u prvoj našoj izmjeničnoj hidroelektrani,

b) prvim prijenosom električne energije u nas,

c) prvom izmjeničnom i javnom razdjelnom mrežom u Hrvatskoj.

Sve tri komponente, proizvodnja, prijenos i distribucija i danas su tehnička osnova svake elektroprivrede. U tom prvom našem elektroprivrednom sustavu bile su odmah zastupljena neka važna svojstva suvremenih sustava kao što je izmjenični napon, frekvencija veoma bliska današnjoj i začetak višefaznog sustava (u dvofaznom generatoru). Na taj je način prvi put istaknuto da je u Hrvatskoj još od 1895. godine počela funkcionirati puna elektroprivreda kao djelatnost javnog značenja, a u tehničkom pogledu zasno-



Slika 1. Pogled na slapove Krke, gornje mlinice i našu prvu hidroelektranu Jaruga 1

vana na sustavu izmjeničnih struja. Pošto je takvo obrazloženje dano u »Inicijativi za obilježavanje stote obljetnice« [19], prihvaćen je 1993. godine prijedlog da se dan puštanja u pogon našeg prvog sustava 28. kolovoza proglasi Danom Hrvatske elektroprivrede, a tijekom 1995. godine da se dostojno obilježi stota obljetnica elektroprivrede u Hrvatskoj. Time je i formalno sustav na Krki i u Šibeniku priznat kao naš prvijenac i začetak onoga što se do danas razvilo u elektroenergetski sustav Hrvatske. Kako je naš pionirski sustav nastao vrlo rano, važno ga je na temelju nužnih usporedbi i istraživanja postaviti u pravi odnos prema sličnim pothvatima u našem okružju, pa i u povijesti svjetske energetike.

Potrebno je prije toga odgovoriti na pitanje o tome što je bilo prije HE Jaruga 1 i kakva je bila uloga ostalih pionirskih pothvata u povijesnom kontekstu. Rana se elektrifikacija u nas obavlja kao i u svijetu: isključivo istosmjernom strujom, i to vrlo brzo nakon prvih istosmjernih elektrana u svijetu (»Holborn Viaduct«, London IV 1882., »Pearl Street«, New York VII. 1882.). Samo desetak godina nakon svjetskih premijera proradila je naša prva javna istosmjerna elektrana u Čakovcu (X. 1893.), a nedugo zatim i mnoge druge, npr. u Bakru, Belišću i Zadru (1894.), Opatiji (1897.) itd. Zbog vrste struje, nepostojanja prijenosa energije na veće udaljenosti i drugih razloga, prve javne elektrane ne označavaju početak suvremene elektroprivredne djelatnosti. To je slučaj i u svijetu, gdje se spomenute prve istosmjerne elektrane ne smatraju počecima suvremenih sustava već je to za Europu izmjenični prijenos Lauffen — Frankfurt (1891.) ili HE Niagara Falls (1895./96.) za SAD itd. Stoga se i u nas za početke današnjeg sustava ne mogu uzimati prve istosmjerne elektrane čak i ako su služile za javnu elektrifikaciju, a pogotovo kada su bile namijenjene privatnoj uporabi ili za pojedine zgrade (mlinove, hotele, streljane, kolodvore, kazališta i sl.).

Prva elektrana izmjenične struje izgrađena je u nas u Rijeci 1892. godine s tri jednofazna generatora po 120 kVA. Namjena joj je bila rasvjeta željezničko-lučkog čvorišta i napajanje motora velikoga žitnog elevatora u prostranom skladišnom prostoru. Naknadno je elektrana poslužila za elektrifikaciju ureda i stanova duž susjedne obale. Zbog malih udaljenosti, transformacije u točkama duž prstena i drugih razloga ne može se govoriti o prijenosnom vodu, pa taj sustav nije imao tu bitnu komponentu. Uz to je nužno napomenuti da je čitav skladišni kompleks za generalni teret u Rijeci došao 1891. pod monopolnu upravu budimpeštanske »Mađarske diskontne i mjenbene banke«, koja je izgradila postrojenja i elektranu. To je izazvalo uzaludan otpor riječkog poduzetništva [25], pa je i to razlog da se ne može govoriti o prvome hrvatskom sustavu javne elektroprivrede.

4. PRVI HRVATSKI GRADITELJI SUSTAVA

Prvo hrvatsko elektroprivredno poduzeće u posjedu potpunog i u ono vrijeme suvremenog sustava službeno je nazvano pri puštanju u redoviti rad 1895. godine Prvom povlaštenom električnom centralom u Dalmaciji »Šupuk i Meichsner« [17, 31]. Nedugo zatim (od 1897. g.) u imenu poduzeća pojavljuje se samo oznaka »Ante Šupuk i sin«. Sama elektrana nazivana je u početku »Krka«. Mađari je spominju pod nazivom »Šupuk« [31], ali se ipak najčešće susreće pod nazivom »Jaruga 1« nakon što je 1903. izgrađena nova elektrana na rijeci Krki (»Jaruga 2«). Elektrana i s njom povezani sustav pušteni su u pogon 28. kolovoza 1895., i to samo četiri dana nakon četvrte godišnjice od puštanja u pogon prvoga višefaznog prijenosa električne energije u sklopu Internacionalne elektrotehničke izložbe u Frankfurtu n/M 1891. godine. Gradnja elektrane i sustava prilično je opširno opisana u stručnoj literaturi [1, 12, 14, 16], pa će ovdje biti dodani neki nepoznati detalji.

Gradnju je potaknuo i u početku bio njezin »spiritus movens« pomorski kapetan Marko Šupuk (1856 – 1903) pošto je na spomenutoj izložbi u Njemačkoj imao priliku vidjeti prijenos energije s vodopada rijeke Neckar pokraj Lauffena u 175 km udaljeni Frankfurt. Bio je to prvi prijenos električne energije na veću udaljenost pomoću trofaznog sustava izmjenične struje i ujedno pobjeda nad dotadašnjim istosmjernim sustavima. Taj prvi sustav izgradio je u suradnji s brojnim uglednim suradnicima bavarski inženjer Oskar von Miller, a svojom ukupnom djelatnošću postao je prvi »graditelj sustava«. Slične zasluge su stekli u Velikoj Britaniji Charles Merz, u SAD Charles Stone i drugi, u Francuskoj Ernest Mercier, u Italiji Wilhelm Mengarini itd. Oskar von Miller je u svoj tim okupio i takve sudionike kakav je bio inženjer Charles L. Brown (osnivač kasnije poznate tvrtke BBC) i Michael Dolivo — Dobrowolsky (izumitelj trofaznog sustava i kaveznog motora), te tada poznate tvrtke Oerlikon i AEG. Time je nagoviješten budući timski rad u stvaranju elektroenergetskih sustava, ali sama demonstracija u Frankfurtu još nije značila pobjedu dok nije počela izgradnja izmjeničnih višefaznih sustava u svijetu. Naime, iako je sama izložba i demonstracija prijenosa uspjela (npr. faktor djelovanja u prijenosu snage, umjesto očekivanih 50%, ostvaren je u iznosu od 75%), dogodilo se da su još niz godina građene i dalje istosmjerne elektrane. Sam Frankfurt još je dulje vrijeme imao istosmjerno napajanje, a zatim samo jednofazno.

Ipak, proces širenja izmjeničnih sustava bio je nezaustavljiv i u tome je svoj doprinos dala i Hrvatska, tada u sastavu Austro-Ugarske Monarhije. Marko Šupuk je odmah našao potporu u svome ocu Anti, tadašnjem vlasniku mlinova na lijevoj strani Skradinskog buka. Ante Šupuk (1838. – 1904.) bio je prvi i dugogodišnji hrvatski gradonačelnik Šibenika, vrlo zaslužan za napredak grada, pa je ubrzo shvatio važnost novoga tehnološkog napretka. Međutim, sretna je okolnost bila da je u Šibeniku tada djelovao inženjer građevine i geometar Vjekoslav pl. Meichsner, (1847 – ?) koji se već dulje vrijeme zanimao za korištenje vodnih snaga Krke na nov način. On je na nagovor oca i sina Šupuka odmah prionuo poslu i već potkraj 1893. uspio je ishoditi ključan dokument, tzv.

»Razsudu«, prema kojoj mu je odobrena koncesija za korištenje vode rijeke Krke, općinskog zemljišta za gradnju prijenosnog voda i dozvola za izgradnju potrebne mreže preko gradskih ulica. Time je bio otvoren put za gradnju našega prvoga maloga elektroprivrednog sustava koji se sastojao od proizvodnje u prvoj hidroelektrani, prvog prijenosa energije na daljinu i prve izmjenične razdjelne mreže.

Prateći novi razvoj tehnike proizvodnje i prijenosa električne energije i dobro poznavajući vodne snage rijeke Krke, ing. Vjekoslav Meichsner je još 1892. godine, dakle samo godinu dana nakon frankfurtske izložbe ponudio prijenos električne energije do Zadra, a poslije i do Trogira, Kaštela i Splita. Time bi uz šibenski vod bila formirana prva projenosna mreža još u prošlom stoljeću. Međutim, otpor takvoj inicijativi bio je velik zbog tehničke, ali i političke prirode. Zadar, koji je tada glavni grad provincije Dalmacije i pod upravom autonomaša, iznosi putem gradonačelnika Trigarija mišljenje da »Zadar ne smije prihvatiti mišljenje jednoga hrvatskog inženjera i kao glavni grad provincije koristiti izvore od jednog drugog grada kao što je Šibenik« [17]. Od tehničkih razloga navodilo se da je ponuda tehnički presmiona, te da se »u čitavoj Europi nijedan grad nije usudio uvesti električnu energiju iz velike daljine«, pa čak do toga da je »izmjenična struja opasna za javnu sigurnost, štoviše smrtonosna« [20]. Iz današnjeg konteksta znakovit je tadašnji zadarski protuargument »da bi Vlasi iz inata razbili vodljive žice od Slapova Krke do Zadra«! Zadarska Općina je u to vrijeme uložila velika sredstva u donošenje odluke o izboru sustava za napajanje grada strujom studirajući postojeća rješenja u svijetu. Ponuda ing. Meichsnera činila im se presmionom, a prijenos energije na daljinu od 80 km teško ostvariv i za veće nacije. Stoga ponuda ing. Meichsnera nije ni spomenuta u odluci Općinskog savjeta iz studenoga 1893., a ne spominje se, nažalost, ni danas u inače potankom opisu početaka elektrifikacije grada [20]. Zadar je izborom istosmjernog sustava dugo ostao ograničen njegovim slabostima, a česta ograničenja u korištenju električne energije prestale su tek nakon pola stoljeća priključkom ipak na elektrane na rijeci Krki (1948. g.).

Srećom, zahvaljujući vizionarima, novim suvremenim poduzetnicima kakvi su bili ing. Vjekoslav Meichsner, te otac i sin Šupuk, Šibenik je bio pozvan da razbije predrasude i da samo četiri godine nakon izložbe i prije mnogih većih gradova u svijetu pusti u pogon suvremeni izmjenični sustav. Slične teškoće kao u Zadru imao je ing. Meichsner i kod ponuda elektrifikacije i prijenosa energije u drugim gradovima, pa je tako npr. u Dubrovniku više godina nakon njegove ponude i tek na samom kraju prošlog stoljeća donesena odluka o izgradnji suvremene izmjenične elektrane i gradske razdjelne mreže. Već svojim djelom na rijeci Krki, te mnogim drugim pokušajima i projektima ing. Vjekoslav Meischsner zaslužio je naziv prvoga hrvatskoga graditelja sustava slično von Milleru u Njemačkoj.

Ovdje je potrebno objasniti pojam graditelja sustava koji u povijesti modernih tehnoloških sustava kakav je elektroenergetski imaju ključno mjesto. Moderna povijest traži odgovor na pitanje tko su bili prvi graditelji sustava odgovorni za gradnju velikih električnih mreža kakve se danas ukrštaju krajolicima. Graditelji prvih prijenosnih vodova potkraj prošlog stoljeća i prvih prijenosnih mreža i sustava početkom ovog stoljeća bili su pokretači tzv. druge industrijske revolucije. Usprkos njihovoj važnoj ulozi u stvaranju modernog svijeta, graditelji tehnoloških sustava ostali su u sjeni prošlosti [38]. U nacionalnim povijestima znanosti znaju se imena i dostignuća izumitelja, poslovnih ljudi ili čak inženjera, ali prvi graditelji sustava obično nisu spomenuti. Graditelji električnih sustava morali su u svom djelovanju kombinirati međudjelovanje financija, upravljanja i tehničke konstrukcije. No, probleme novih tehnoloških promjena nije bilo moguće riješiti samo tehničkim i ekonomskim odgovorima zanemarujući političke silnice vremena. To je otežavalo posao prvih graditelja električnih sustava, ali im je zato davalo priliku da uvedu tehničke vrijednosti efikasnosti, objektivnosti i reda u politički i socijalni život svojih užih sredina ili zemalja. Graditelji prvih sustava morali su biti tehnički kompetentni i moralni ljudi da kreiraju i izgrade prve sustave nove tehnološke promjene. Prvi sustavi su građeni pod njihovom neposrednom supervizijom (nadzorom) iako su tehnički projektanti uglavnom bili izumitelji i inženjeri tadašnjih vodećih tvrtki. Takav je bio slučaj prvoga njemačkoga graditelja Oskara von Millera koji je morao pokazati veliku umješnost i fleksibilnost u svladavanju različitih opozicijskih sila u gradnji prvoga trofaznog prijenosa ili prvoga bavarskog sustava. Na zabrinutost Bavaraca da će hidroelektrana uništiti ljepotu njihovih ljubljenih Alpa von Miller je odgovorio arhitektonskim projektom koji je prilagođen krajoliku. On je također, kao i C. Merz u Velikoj Britaniji, shvatio potrebu kreiranja regionalnih sustava električnog napajanja, što je tijekom vremena dovelo do formiranja nacionalnih mreža. Gotovo identična situacija, u vezi s teškoćama, osobnih svojstava i zamisli, označuje i djelovanje našega prvoga graditelja ing. Vjekoslava Meichsnera. Dovoljno je reći da je on osobno jamčio za uspjeh prvog prijenosa električne energije na daljinu kod nas u vrijeme kada to nisu pokušale mnogo razvijenije sredine. Začetnik je prvoga našega subregionalnog sustava na Krki u kojem je kasnije izgrađen i prvi hrvatski trofazni prijenos. Pritom je uvelike brinuo o zaštiti naše prirodne ljepote Slapova Krke. Čini se da mu je i sudbina bila slična kao i sudbina Oskara von Millera, koji je odustao od rada na gradnji električnih sistema izmoren, možda, od borbe s raznim oponentima i svjestan erozije vlastite snage. Iako u gradnji i funkcioniranju našega prvoga elektroprivrednoga sustava treba posebno naglasiti veliku ulogu i podršku tadašnjega šibenskoga gradonačelnika Ante Šupuka, ključna uloga u gradnji pripada inženjeru Vjekoslavu Meichsneru. Kako je naš sustav građen u to vrijeme kao eksperimentalan, to je uloga prvoga hrvatskoga graditelja značajna i u svjetskim razmjerima.

Slika 2. Ing. Vjekoslav pl. Meichsner, prvi hrvatski graditelj elektroprivrednog sustava

Slika 3. Ante Šupuk, vlasnik sustava i gradonačelnik Šibenika

5. OPIS DIJELOVA NAŠEGA PRVOGA ELEKTROPRIVREDNOG SUSTAVA

Prva hrvatska hidroelektrana izmjenične struje izgrađena je 1895. godine pokraj Skradinskog buka na rijeci Krki. Vodne snage rijeke Krke oduvijek su se koristile za pogon različitih primitivnih hidrotehničkih uređaja kao što su stupe, valjavice, vodenična kola za brojne mlinice za žito (više od 100 na Krki i pritocima) itd. Svi ti uređaji, dovoz materijala i priljev okolnog stanovništva (koje je tu izgradilo privremene nastambe) imali su i te kako negativne učinke na rijedak i osjetljiv fenomen sedrenih barijera na slapovima Krke. U tom je kontekstu gradnja prve male elektrane i transport energije za pogon sličnih strojeva udaljenih od slapova značio rasterećenje od ljudskog utjecaja. Usprkos tome preostali vlasnici vodenica vodili su duge sporove s graditeljima i vlasnicima novog i efikasnog izvora energije. U vremenu prijeloma tehnološke ere vlasnici mlinica prilično su uspješno štitili svoja prava iako su baš mlinice bile štetne na više načina. Tako se navodi [23] »da su mlinice smještene na barijerama usječene u sedru čime se otvara špiljski sistem barijere i čini ga protočnim, a erozija u unutrašnjosti barijere je veoma opasna za njen opstanak«. Svega toga pri gradnji elektrane nije bilo, a voda se oduzimala sa sredine gornjeg slapa prirodnom jarugom (odatle kasnije ime elektrane), kojom dio vode otječe mimo slapova. Stoga ne čudi da su i u stručnim zaštitarskim krugovima zaključili [23] »da je mala HE podignuta 1895. i 1898. po svom negativnom učinku na barijeru tada još bila bezazlena«. Čak se usudimo kazati da je bila i pozitivna uzme li se smanjenje šteta od starih mlinica, prijenos i korištenje vodnih snaga dalje od vodopada, pa čak i utjecaj na ograničenje velikih voda koje svojom velikom erozijskom snagom mogu biti fatalne za sedru. Ne ulazeći dalje u problematiku zaštite prirode, pogotovo u vezi s izgradnjom druge elektrane na Skradinskom buku, može se još samo naglasiti da je kod prve elektrane koncesionirani pad od 25,8 m iskorišten samo sa 10 m. Sve govori da su pri gradnji našega prvog sustava bili maksimalno poštivani uvjeti zaštite prirodne okoline.

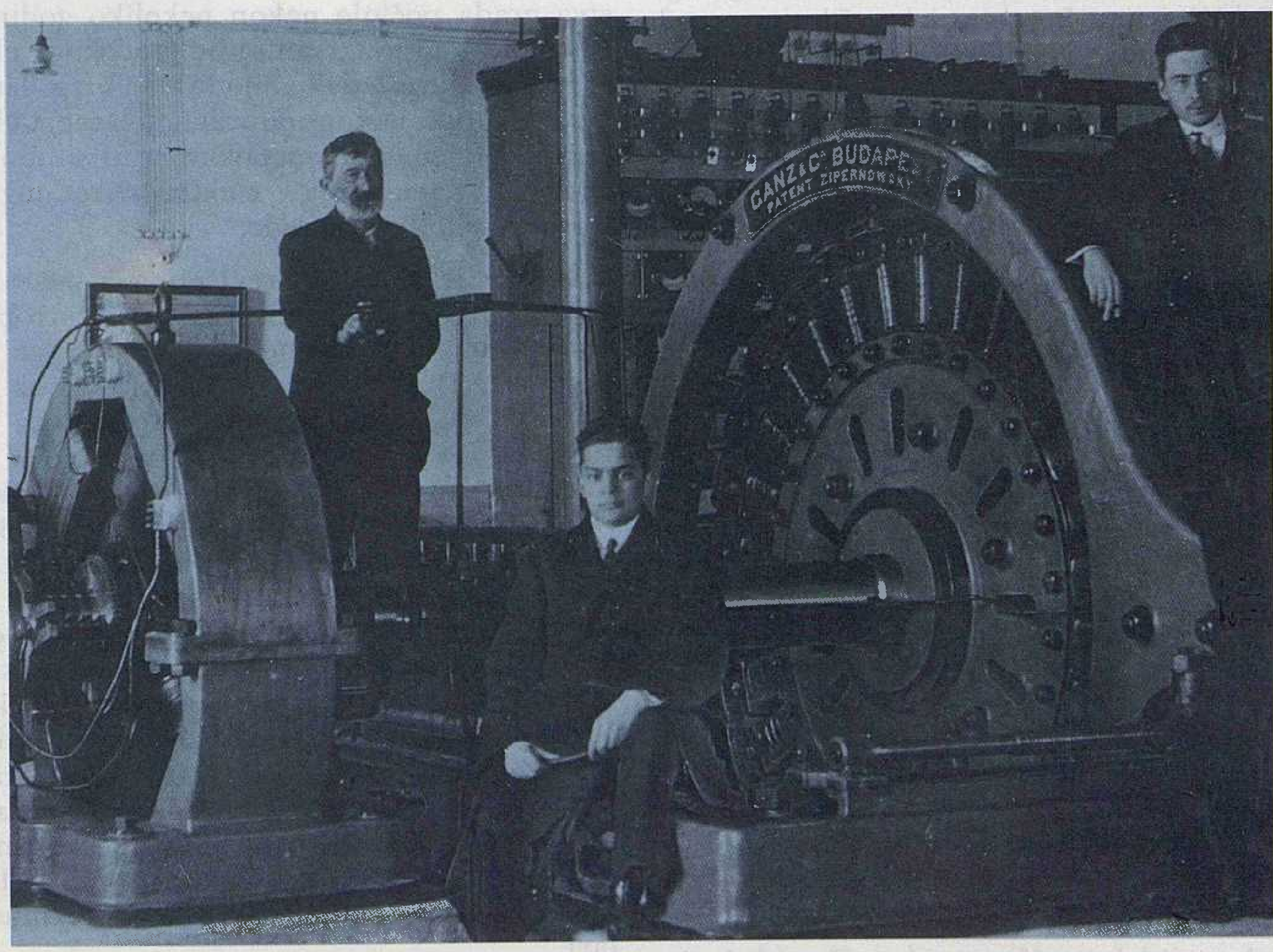
Kompletan projekat hidrotehničkih zahvata i dovoda vode kanalom dugim 60 m do zgrade elektrane izradio je sam ing. V. Meichsner. Dovodni kanal je s jedne strane izdubljen u stijeni, a s druge je napravljen čvrsti kameni zid s preljevnim otvorima. Time je postignuto dobro uklapanje u okoliš, a kanal je uglavnom do danas očuvan za razliku od ostalih građevina i opreme (sl. 4).

Cjelokupnu strojarsku i električnu opremu isporučila je tvrtka »Ganz« iz Budimpešte, tada vodeća u Europi. Od strojarske opreme najvažnija je turbina koja je bila tipa Girard i snage 320 KS. Riječ je o aksijalnoj turbini s vertikalnom osovinom čija gradnja je danas napuštena zbog niskog stupnja djelovanja. Specifičnost joj je u tome što kod nje prostor između lopatica rotora nije potpuno ispunjen vodom, pa je morala biti postavljena iznad donjeg nivoa vode. Prijenos na horizontalni generator obavljao se preko koničnog zupčanika. Za proizvodnju električne energije bio je upotrijebljen dvofazni alternator snage 320 kVA, generatorskog napona 3 000 V sa 42 periode u sekundi. Važno je naglasiti da je to bio jedan od prvih višefaznih generatora u komercijalnom sustavu u to vrijeme. Radilo se o prvom Ganzovu (prema dostupnim podacima) tranzitnom sustavu od jednofaznih prema trofaznim sustavima i u tome je veliko povijesno značenje. Snimka našega prvoga generatora s uzbudnikom na istoj osnovi prikazana je na sl. 5.

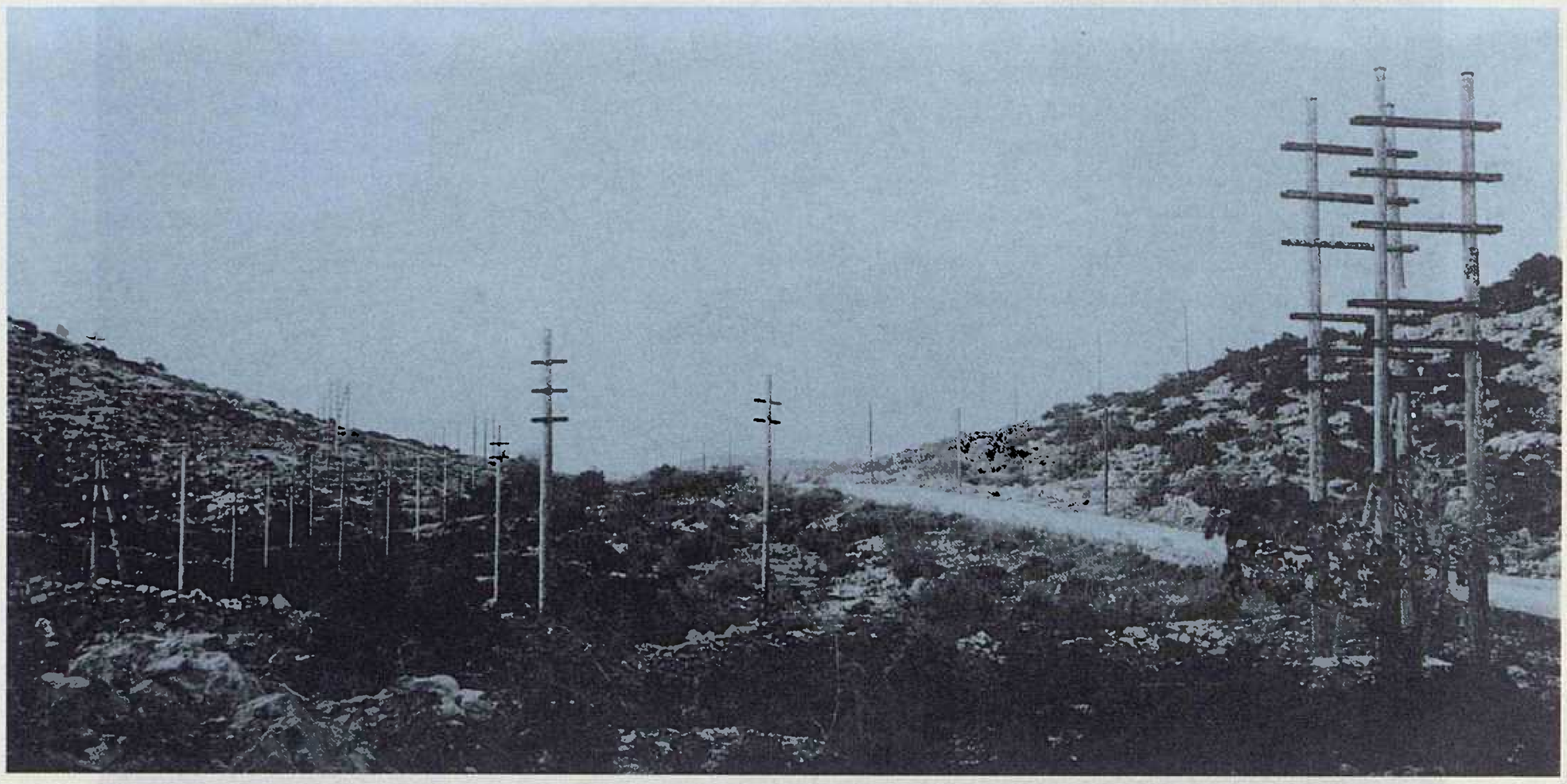
Napon se isprva nije transformirao, već se odmah prenosio u 11 km udaljeni Šibenik našim prvim prijenosnim vodom. Vod je bio građen na drvenim stupovima s metalnim konzolama od U-profila s potpornim izolatorima za 3 kV. Prijenos se obavljao za sva-

Slika 4. Današnji izgled ostataka HE Jaruga 1

ku fazu s dva bakrena vodiča, i to za jednu s vodičima presjeka 35 mm², a drugu s 50 mm², iz čega bi se moglo zaključiti da snage obaju faznih namotaja nisu bile jednake. Za vodiče svake faze koristila se po jedna metalna konzola s izolatorima, a na trećoj konzoli (na sl. 6) bila je montirana telefonska linija radi veze s gradom i lakšeg upravljanja. Inače vod nije išao najkraćom i ravnom trasom zbog teškoća u koncesiji za stupove, a kako se vidi nije imao ni zaštitno uže. Stoga je bilo dosta teškoća s ispadima pri



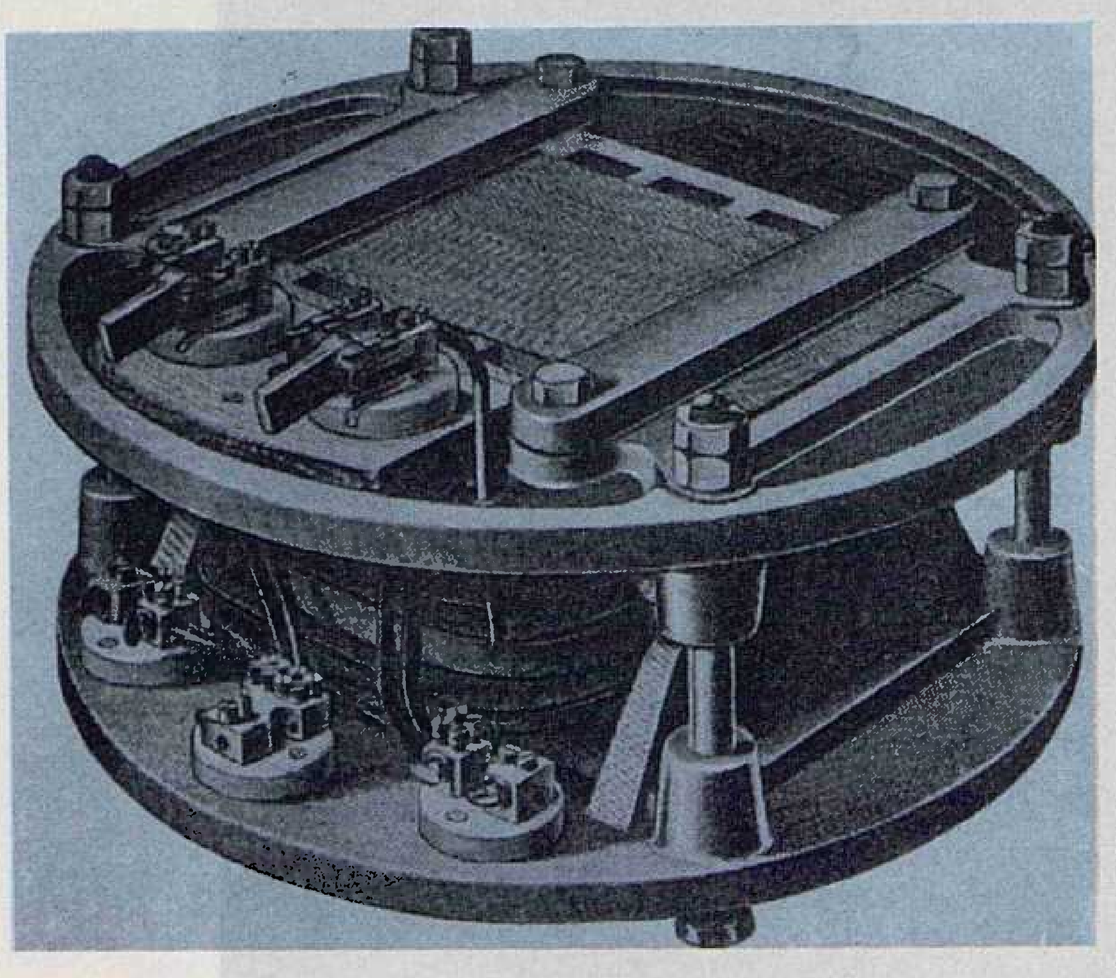
Slika 5. Prvi izmjenični dvofazni generator u HE Jaruga 1 iz 1895. godine



Slika 6. Stupovi prvog hrvatskog prijenosnog voda napona 3 kV iz 1895. godine

grmljavini, a kako je prenaponska zaštita bila vrlo slaba (tzv. živini protektori s rogovima), to su bili česti kvarovi na namotima generatora.

U Šibeniku je napravljena prva izmjenična razdjelna mreža napona 110 V, koji je odabran prema tadašnjem standardnom naponu za električne žarulje. Prva mreža Šibenika sastojala se od dvije rasklopne stanice napona 3 000 V (RS Varoš i RS Bogić) od šest transformatorskih stanica (TS Kazalište, TS Inchiostri, TS Makale, TS Kovačević, TS Sv. Dominik i TS Bolnica), prijenosnog omjera 3 000/110 V, snage uglavnom 7,5 kVA i tipa E po projektu Blathy, te od nadzemnih visokonaponskih i niskonaponskih vodova. Izgled prvih razdjelnih transformatora u mreži Hrvatske prikazan je na sl. 7, uz napomenu da su bili postavljeni na krovovima u malim kućištima s osiguračima visokog i niskog napona.



Slika 7. Prvi razdjelni transformatori u Hrvatskoj, tip E-Ganz

Prvi potrošači u gradu bile su svjetiljke javne rasvjete, i to u samom početku 216 žarulja s ugljenom niti i 12 lučnih lampa. Uz te javne svjetiljke postavljene na trgovima i ulicama Šibenika, u početku je bilo samo nekoliko zgrada s uvedenom rasvjetom (npr. vila Meichsner i sl.), zatim zgrade Bolnice u kojima su možda bila još neka trošila. Već iduće 1896. godine bilo je osvijetljeno iz javne gradske mreže Kazalište [24], a u idućim godinama spajaju se i prvi industrijski pogoni i to tvornice tjestenine, ledara, mlinice (u gradu i pokraj Slapova). Šire uvođenje struje u domaćinstva grada počinje nakon nekoliko godina. Tarifni sustav i puno funkcioniranje gradskoga elektroprivrednog poduzeća uslijedilo je vrlo brzo. Time je u Šibeniku započela kontinuirana djelatnost elektroprivrede s izmjeničnim sustavom, a to simbolički znači preteču današnjega elektroprivrednog sustava Hrvatske elektroprivrede.

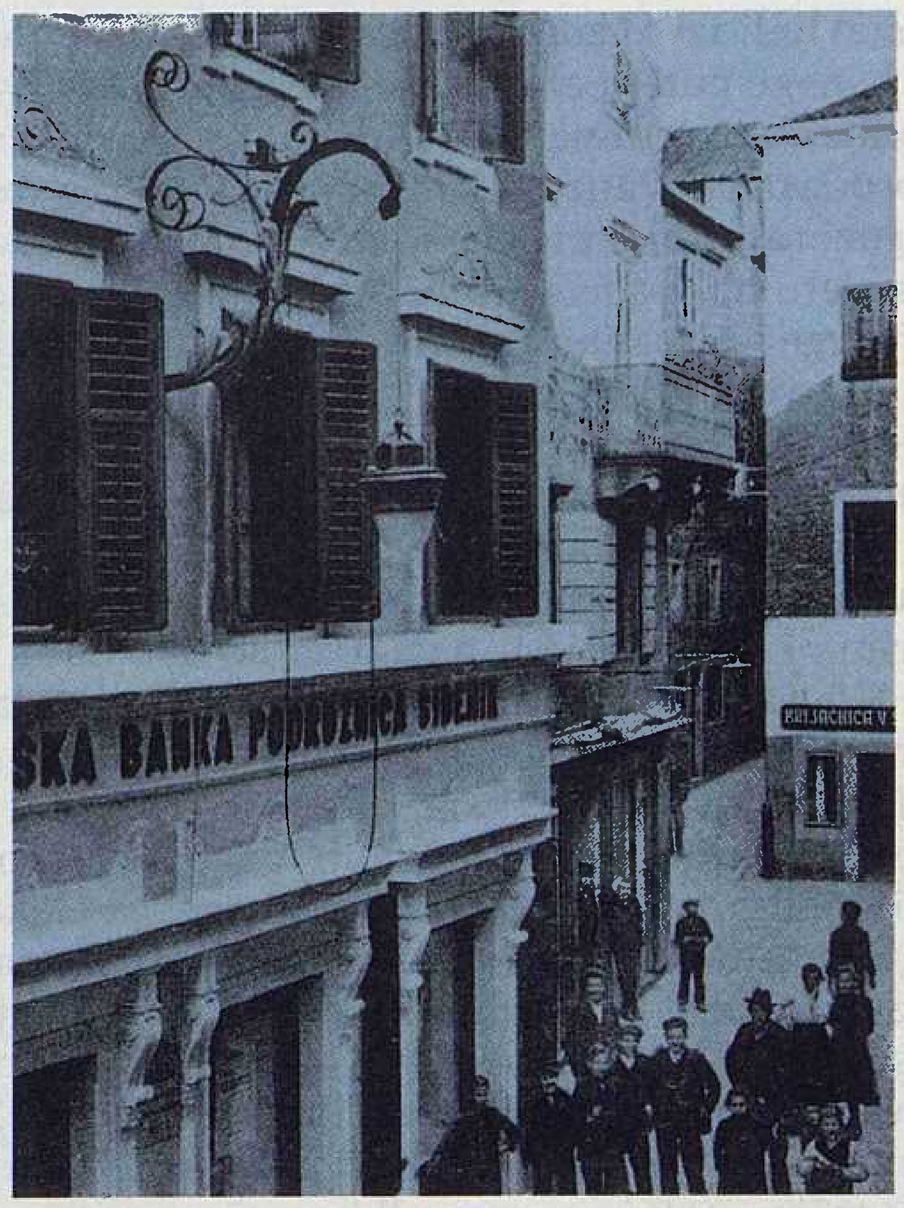
Potrebno je u ovom pregledu reći nešto o mjestu prvoga hrvatskog izmjeničnog elektroprivrednog sustava u svom vremenu. Izgradila ga je tvrtka »Ganz« iz Budimpešte, a osnova njezina tadašnjeg primata bila je u izumu transformatora što su ga 1885. godine ostvarila tri mlada Ganzova inženjera: Karl Zipernowsky (1853 – 1942), Mikša Deri (1854 – 1938) i Otto Tituš Blathy (1860 – 1939), koji su bili i konstruktori našega prvog sustava (sl. 9). Na temelju izuma transformatora i izmjeničnih alternatora bio je omogućen nov sustav prijenosa i distribucije električne energije putem izmjenične struje. Oni su patentirali taj sustav i svi prvi europski izmjenični sustavi rađeni su na njegovu temelju. Njihov izum bio je jedan od presudnih faktora u tzv. »borbi struja« u korist izmjeničnih struja. Ipak treba znati da nakon te prve faze u kojoj su pobijedili izmjenični, i to jednofazni sustavi, dolazi do konačne »borbe sustava«, kada prevagu odnose višefazni izmjenični sustavi.

Nakon izuma transformatora u današnjem obliku i

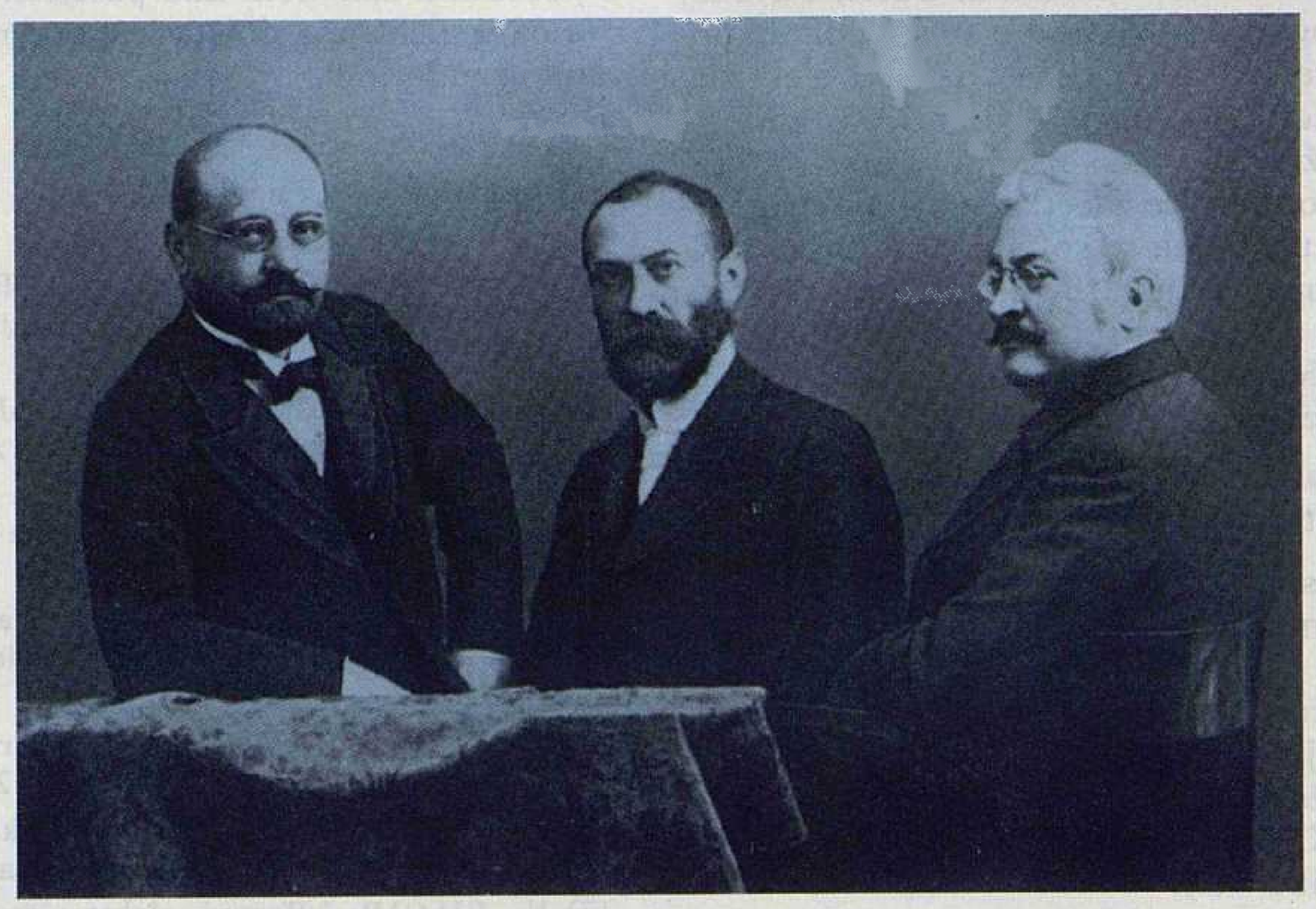
Energija, god. 44 (1995) 2, 51 – 61

prvog razvoja jednofaznih sustava pobornici istosmjerne struje krenuli su 1888. godine u posljednju ofenzivu, naglašavajući nepostojanje motora na izmjeničnu struju, te »apsolutnu sigurnost istosmjernih napona 110 V i 240 V«. Baš u to vrijeme dao je važan doprinos patentima Nikola Tesla (1856 – 1943), kojeg inače u monografiji stote obljetnice udruženja američkih elektroinženjera (IEEE) ispravno nazivaju »mladim hrvatskim emigrantom« [38]. Tesla i G. Feraris daju prvi principe obrtnoga magnetskog polja, makar je i prije njih bilo pokušaja u tom pravcu (Arago, Baily, Bradley), zatim Haselwandler i Wenström grade prve višefazne generatore, a nedugo zatim Dolivo-Dobrowolski razvija trofazni sustav i trofazni motor usavršavajući Teslin dvofazni sustav [26, 38]. Niz drugih ljudi dao je na tom novom polju važne doprinose, a od njih treba posebno istaknuti organizatore izložbe u Frankfurtu von Millera, C. Browna i druge. Tom izložbom, kao i onom kasnijom u Chicagu, zorno su pokazane sve prednosti višefaznih izmjeničnih sustava pred istosmjernim i jednofaznim izmjeničnim sustavima. Ipak, komercijalna gradnja višefaznih sustava nije odmah krenula bez otpora zbog različitih razloga. Tako npr. tvrtka Westinghouse u SAD zbog želje da očuva investicije u opremu za jednofaznu struju najprije uvodi dvofazne motore, vjerujući da će ih lakše prilagoditi jednofaznom sustavu. Nastupa vrijeme tzv. tranzitnih projekata, tj. gradnje dvofaznih sustava kojima se priključuje i najveća europska tvrtka Ganz iz Budimpešte.

Prvi dvofazni generator (prema sadašnjim saznanjima) ugrađuje tvrtka Ganz baš u HE Jaruga 1 i u tome je njezino povijesno značenje. U tome se vidi veličina i našeg prvog graditelja sustava V. Meichsnera i gradonačelnika A. Šupuka, koji su spremno pristali na sasvim novo tehničko rješenje u vrijeme kada se mnogo veći gradovi teško odlučuju čak i na jednofazne izmjenične sustave. Za to je najbolji primjer Frankfurt, koji i nakon izložbe ostaje na istosmjernom napajanju, a zatim uvodi samo jednofazni sustav. U tim je godinama i London odabrao istosmjernu i jednofaznu izmjeničnu struju, pa se kaže [38] da je »bio dobro osvijetljen, ali još ne u glavnom industrijskom toku«. Slično je i u nizu drugih svjetskih gradova, npr. u Rimu, Budimpešti, Beču itd. Još nije bila sazrela svijest da tek višefazni sustav omogućuje punu primjenu prijenosa snaga za industrijske svrhe. Stoga se danas opravdano smatra da su dvofazni sustavi



Slika 8. Lučna svjetiljka javne rasvjete Šibenika iz 1895. godine



Slika 9. Izumitelji transformatora Deri, Blathy i Zipernowsky i konstruktori našeg prvog sustava snimljeni u prvim godinama njegovog rada (1896.)

predstavljali tzv. tranziciju u eru pune primjene svijetla i snage putem električne energije. Naš prvi sustav odigrao je u tome važnu ulogu, jer je veliki svjetski proizvođač Ganz stekao prva iskustva s dvofaznim generatorom i prijenosom. Nažalost, do sada nije u svijetu ni kod nas pisano na ovaj način o značaju HE Jaruge i pripadnog sustava, ali će istraživanje koje je upravo u toku ispraviti taj propust. U tom smislu već smo upozorili prvi put [18] na zanimljivu i važnu uporedbu s prvim američkim višefaznim sustavom između HE Niagara Falls i grada Buffala. Američka elektrana je građena također s dvofaznim generatorima i puštena je u pogon samo dva dana prije naše HE Jaruga 1. Ipak, našem sustavu pripada više prioriteta. Naš prvi sustav pušten je kompletan u pogon istoga povijesnog dana, dok je to u slučaju američkog uslijedilo tek u studenom iduće, 1896. godine. Čak i onda prenesena je samo mala snaga elektrane (oko 6%), a puni prijenos snage s Nijagare na daljinu slijedio je tek 1910. godine. Uz to je i frekvencija našeg sustava bila mnogo bolja od američke, koja je izazivala jake flikere u rasvjeti itd. Prema tome, iako malen po instaliranoj snazi, naš prvi sustav ima povijesnu težinu čak i u usporedbi sa znamenitom elektranom na Nijagari.

6. OBILJEŽAVANJE STOLJETNOG JUBILEJA I ZAKLJUČCI

Stota obljetnica ovakvog događaja zaslužuje da se obilježi zbog više razloga. Najvažniji je u podizanju svijesti o ulozi Hrvatske i njezinih ljudi u stvaranju najvećega tehničkoga dostignuća kakvim se često označava put od Faradajeva otkrića elektromagnetske indukcije do stvaranja suvremenih elektroenergetskih sustava. Na tom putu hrvatski istraživači, inženjeri i graditelji dali su vrlo značajne, pa i bitne doprinose (Bošković, Tesla, Hanaman, Lučić, Plivelić, Meichsner i mnogi drugi). Svijest o značajnom ukupnom udjelu Hrvatske povećava i naš prvi elektroenergetski kompleks na rijeci Krki iz 1895. godine. Stoga je bilo nužno da i naša zemlja organizira obilježavanje stote obljetnice začetka svoje elektroprivrede kako su to učinile, ili se spremaju, mnoge razvijene zemlje Evrope i svijeta. Brojne inicijative i prijedlozi koje smo u tom smislu dali [19 i dr.] usvojilo je javno poduzeće Hrvatska elektroprivreda, koja je nosilac organizacije obilježavanja jubileja.

Obilježavanje stoljetnog jubileja pod najvišim državnim pokroviteljstvom dijeli se na tri dijela:

a) radno-manifestacijski dio (jubilarni simpozij, izložba, akademija, predavanja i sl.),
b) izdavački dio (Zbornik simpozija, monografija o prvom stoljeću Hrvatske elektroprivrede, prigodna marka, feljtoni itd.), te
c) trajno obilježavajući dio (spomen-obilježje prve naše HE na Krki, rekonstrukcija dijela javne rasvjete u Šibeniku itd.).

Na taj način bit će ova važna obljetnica dobro »pokrivena« raznim događanjima, što će usmjeriti pažnju medija i javnosti na veliki sustav Hrvatske elektroprivrede i naglasiti važnost te djelatnosti u našim davnim vezama s razvijenim svijetom. To može pomoći čak u suzbijanju one negativne percepcije koja i u svijetu vlada o elektroprivrednoj djelatnosti. Ta činjenica je stanoviti paradoks u suvremenom svijetu, koji postaje potpuno ovisan baš o električnoj energiji. Usprkos najvišoj složenosti sustava za sigurno napajanje tim najkomfornijim energentom u svijetu, i kod nas su udarne vijesti obično vezane za incidente i kvarove (npr. kisele kiše itd.). Stoga ovakve obljetnice imaju i tu zadaću da najširu javnost upoznaju sa svim onim naporima što su bili rađeni da bi elektricitet iz »dječje dobi« u Faradayevo vrijeme prerastao u suvremenoga tehnološkog diva.

U zaključku treba naglasiti dvoje: Prvo, da ova obljetnica nije samo stvar Hrvatske elektroprivrede nego je njezino značenje mnogo većie. Obilježavanje stote obljetnice HE Jaruga 1 i prvog elektroprivrednog sustava na tlu naše zemlje značajno je za grad Šibenik i Županiju, pa je stoga opravdano nadati se da će jedna edicija biti izdana samo na tu temu. Takvo bi izdanje trebalo biti namijenjeno najširoj javnosti zbog upoznavanja povijesti suvremenoga tehnološkoga doba. Da bi, međutim, ta povijest mogla biti detaljno opisana, bit će potrebno nastaviti s istraživanjima koja su samo započeta u dosadašnjem radu. Činjenica je, naime, da je Hrvatska elektroprivreda relativno kasno ušla u ovaj projekt, pogotovo u uporedbi s drugim elektroprivredama [34, 35, 37 itd.].

Konačno, naglasit će se nužnost obnavljanja starog objekta HE Jaruga 1, ali ne u obliku konzervacije ruševina (i našeg nemara), pa ni u obliku potpune rekonstrukcije bivšeg objekta (za što nije dano odobrenje nadležnih). Ipak, minimalna rekonstrukcija i stvaranje spomen-sobe naše prve hidroelektrane prijeko je potreba. Svaka zemlja ovakve objekte čak štiti posebnim zakonom kao povijesne spomenike, što ova naša elektrana doista jest u evropskim i u svjetskim razmjerima.

LITERATURA

[1] B. MARKOVČIĆ, I. PRPIĆ et al.: »Razvoj elektrifikacije Hrvatske« 1. dio, Institut za elektroprivredu, Zagreb 1984.

[2] B. MARKOVČIĆ, A. BUSATTO el al.: »Razvoj elektrifikacije Hrvatske«, 2. dio, Institut za elektroprivredu, Zagreb 1987.

[3] B. MARKOVČIĆ: »Naše prve javne elektrane«, Energija br. 4 1988.

[4] B. MARKOVČIĆ: »100 godina trofaznog visokonaponskog prijenosa električne energije«, Energija br. 3 1991.

[5] B. MARKOVČIĆ: »55 godina od prvog začetka Hrvatske elektroprivrede«, Energija br. 2 1992.

[6] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima« Prvi svezak, II izdanje, Zagreb 1983.

[7] N. BILČAR: »Razvoj elektroprivrede Hrvatske od prvih početaka do danas«, Elektrotehnika, jubilarni broj 1979.

[8] V. MULJEVIĆ: »Bilješke o razvoju elektrotehnike u Hrvatskoj«, Elektrotehnika br. 4, 1981.

[9] V. MULJEVIĆ: »Razvitak elektrotehnike u Hrvatskoj«, referat u Zborniku radova znanstvenog skupa »Razvitak i dostignuća tehničkih područja u Hrvatskoj«, Izd. Sveučilišta u Zagrebu, 1994.

[10] M. KALEA: »Stotinu godina trofaznog prijenosa električne energije«, Serijal u »Vjesniku HEP-a« od br. 9 do 26, Zagreb 1991. – 1992.

[11] B. UDOVIČIĆ: »Energija — preduvjet razvoja«, Vjesnik Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, br. 1 – 3, 1993.

[12] I. BULIĆ: »Razvoj elektrana na području Dalmacije«, Referat u zborniku »Elektroenergetika« u izdanju Odbora IV savjetovanja o energetskim kabelima«, Split 73.

[13] V. DRAŠČIĆ: »Pregled razvoja prijenosne mreže u Dalmaciji«, Ibid.

[14] A. CELEGIN: »Počeci korištenja vodnih snaga na području Dalmacije« Referat u zborniku »Hidroelektrana Kraljevac«, Energija br. 1 – 2, 1962.

[15] P. JUTRONIĆ: »Elektrifikacija Dalmacije s posebnim osvrtom na ulogu HE Kraljevac«, Ibid.

[16] G. ZUBOVIĆ, J. JAKOVLJEVIĆ: »80 godina razvoja elektrifikacije Šibenika«, Katalog prigodne izložbe, Izd. Elektra — Šibenik, 1975.

[17] G. ZUBOVIĆ: »Izgradnja prvog elektroenergetskog sustava u Hrvatskoj (Elektrifikacija Šibenika)«, Rukopis, Arhiv Hrvatske elektroprivrede, Zagreb II 1995.

[18] A. SEKSO: »Tradicija i perspektive elektroenergetike u šibenskoj regiji«, Referat u zborniku savjetovanja »Šibenik '92«, 1992.

[19] A. SEKSO: »Inicijativa za obilježavanje stote obljetnice prvog izmjeničnog elektroprivrednog sustava i začetka današnje Hrvatske elektroprivrede«, Elaborat Instituta za elektroprivredu i energetiku, Zagreb 1993.

[20] A. TRAVIRKA: »Povijest javne rasvjete i elektrifikacije grada Zadra«, Monografija o stotoj obljetnici prve žarulje, Izdanje HEP DP Elektra Zadar, 1994.

[20] L. ŠUPUK: »Dijelovi obiteljske arhive u vezi sa gradnjom i radom elektrana na Krki«, Arhiv Hrvatske elektroprivrede, Zagreb II 1995.

[21] d. K. STOŠIĆ: »Galerija uglednih Šibenčana«, Izd. Tiskara »Kačić«, Šibenik 1936.

[22] d. K. STOŠIĆ: »Rijeka Krka«, Vlastita naklada, Šibenik 1927.

[23] J. ROGIĆ, I. PAVELEK: »Krka i problemi njene zaštite«, Izdanje Konzervatorskog zavoda NR Hrvatske, Zagreb 1953.

[24] I. LIVAKOVIĆ: »Kazališni život Šibenika«, Izdanje Muzeja grada Šibenika 1984.

[25] Gr. autora: »Povijest Rijeke«, Izd. Skupština općine Rijeka i Izdavački centar Rijeka, 1988. str. 247-248.

[26] Gr. autora: »Tribute to Nikola Tesla — Presented in articles, letters and documents«, Beograd 1961.

[27] Gr. autora: »Znanost, tehnika, društvo«, Izdanje Fakulteta političkih nauka, Zagreba 1980.

[28] D. KAGAN, S. OZMENT, F. M. TURNER: »The Western Heritage«, III Edition, Macmillan Publishing Company, New York, 1987.

[29] C. A. POWEL, J. E. HOBSON et al.: »Electrical Transmission and Distribution Reference Book«, Westinghouse El. Co. Pittsburg, 1950.

[30] . . .: »Dalmaciai vizerok kihasznalasa«, (Eksploatacija vodne energije u Dalmaciji) Izdanje firme Ganz Budapest, 1913.

[31] P. ASZTALOS et al.: »A Villamosgyar nevezetesebb letesitmenyei«, (rukopis), Izd. firme Ganz, Budimpešta 1977.

[32] P. ASZTALOS: »Product development of the century-old Ganz electric works«, Izd. Ganz, Budapest 1978.

[33] G. UJHAZY: »The transformer is 100 years old«, Ganz Electric Review, No. 22 1985.

[34] A. KADAR, O. LUSPAY, J. MOLNAR et al.: 100 eves az elektromos muvek«, Budimpešta 1993.

[35] G. SCHINDLER: »Geschichte der ELIN — Weiz und ihres Gründers Ingenieur Franz Pichler«, Izd. ELIN, Graz

[36] Gr. autora: »Lichtjahre — 100 Jahre Strom in Österreich«, Izd. Kremayr & Schariau, Wien 1986.

[37] W. FISCHER et. al.: »Die geschichte der Stromversorgung«, Izd. VWEW; Frankfurt 1992.

[38] J. D. RYDER, D. G. FINK: »Engineers & Electrons — A Century of electrical progress«, IEEE Press, New York, 1984.

HUNDRED YEARS OF THE BEGINNING OF THE ELECTRIC POWER UTILITY ACTIVITIES IN CROATIA

Hundredth anniversary of the electric power utility activities in Croatia are shortly described, based on alternating and multi-phase systems.
The first system on the river Krka and in the town of Šibenik, that started its operation in 1895, is also described.

DAS HUNDERTJÄHRIGE JUBILÄUM DER ANFÄNGE ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFLICHER TÄTIGKEITEN IN KROATIEN

Kurz dargestellt wird das hundertjährige Jubiläum der ununterbrochenen elektrizitätswirtschaftlichen Tätigkeiten auf Grund eines Mehrphasen Wechselstromsystems in Kroatien.
Beschrieben wird das erste System am Fluß Krka und in der Stadt Šibenik, welches im Jahre 1895 in Betrieb genommen wurde.

Naslov pisca:

Ante Sekso, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku d.d.
10000 Zagreb, Avenija grada Vukovara 37
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-05-22

UPRAVLJANJE POTROŠNJOM U PLANIRANJU RAZVOJA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

mr. Damir Pešut — Zoran Kliček, Zagreb

UDK 620.9:621.31
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Primjena metode minimalnog troška i upravljanje potrošnjom energije tijekom osamdesetih uzima sve više i više maha u zemljama Zapada. Predstavljeni su osnovni razlozi za primjenu tih postupaka, glavni ciljevi i neki primjeri konkretne primjene i daljnjih planova u vezi s tim postupcima. Dan je i osvrt na mogućnosti primjene tih postupaka u Hrvatskoj.

Ključne riječi: minimalni trošak, upravljanje potrošnjom, energetsko-ekonomska vrijednost

1. UVOD

U praksi hrvatske elektroenergetike već je niz godina u primjeni metoda **relativne energetsko-ekonomske vrijednosti.** To je postupak kojim se modeliranjem energetskih i ekonomskih odnosa proizvodnih jedinica u sustavu utvrđuje energetsko-ekonomska vrijednost neke proizvodne jedinice u odnose prema referentnoj proizvodnoj jedinici. U osnovi riječi je o primjeni cost-benefit analize. Dakako, u uvjetima nerealno niske cijene električne energije ta se metoda primjenjivala samo za analize opskrbe. U današnjim uvjetima, kada se cijena električne energije približila realnoj cijeni, ova se metoda bez ikakvih dopuna primjenjuje kao osnova kvantifikacije u postupku planiranja metodom najmanjeg troška, gdje se uz ulaganje u opskrbu energijom ravnopravno analizira i ulaganje u smanjenje potrošnje električne energije kod krajnjih potrošača.
Međutim, da li planirati razvoj elektroenergetskog sustava metodom najmanjeg troška i konkretno ga provoditi i ulaganjem u smanjenje potrošnje električne energije, i na koji način — pitanja su na koja će se u ovom radu pokušati dati odgovor.

2. METODA NAJMANJEG TROŠKA (Least-Cost-Planning)

Godine 1976. prvi se put pojavljuje termin »least-cost polanning« (Roger Sant), da bi se danas pod pojmom **metode najmanjeg troška mislio na izbjegavanje izgradnje novih kapaciteta u opskrbi energijom sve dok se ulaganje u smanjenje potrošnje energije ostvaruje s manjim troškom po jedinici energije u odnosu prema tom trošku pri ulaganju u dodatnu opskrbu.**
Budući da se u takvom konceptu ravnopravno tretira ulaganje i na stranu potrošnje i na stanu opskrbe ovaj se postupak još zove i **integralno planiranje potrošnje i opskrbe** (Integrated Demand Supply Planning) ili **integralno planiranje uzimanjem u obzir svih resursa** (Integrated Resource Planning).

Na slici 1. predstavljene su uravnotežene opcije za ulaganja bilo u opskrbu, bilo u potrošnju. Takva »vaga« opcija potrošnje i opskrbe potanko je razrađena za planiranje razvoja elektroenergetskog sustava, a analogno vrijedi i za sustav opskrbe i potrošnje plina, derivata nafte itd.

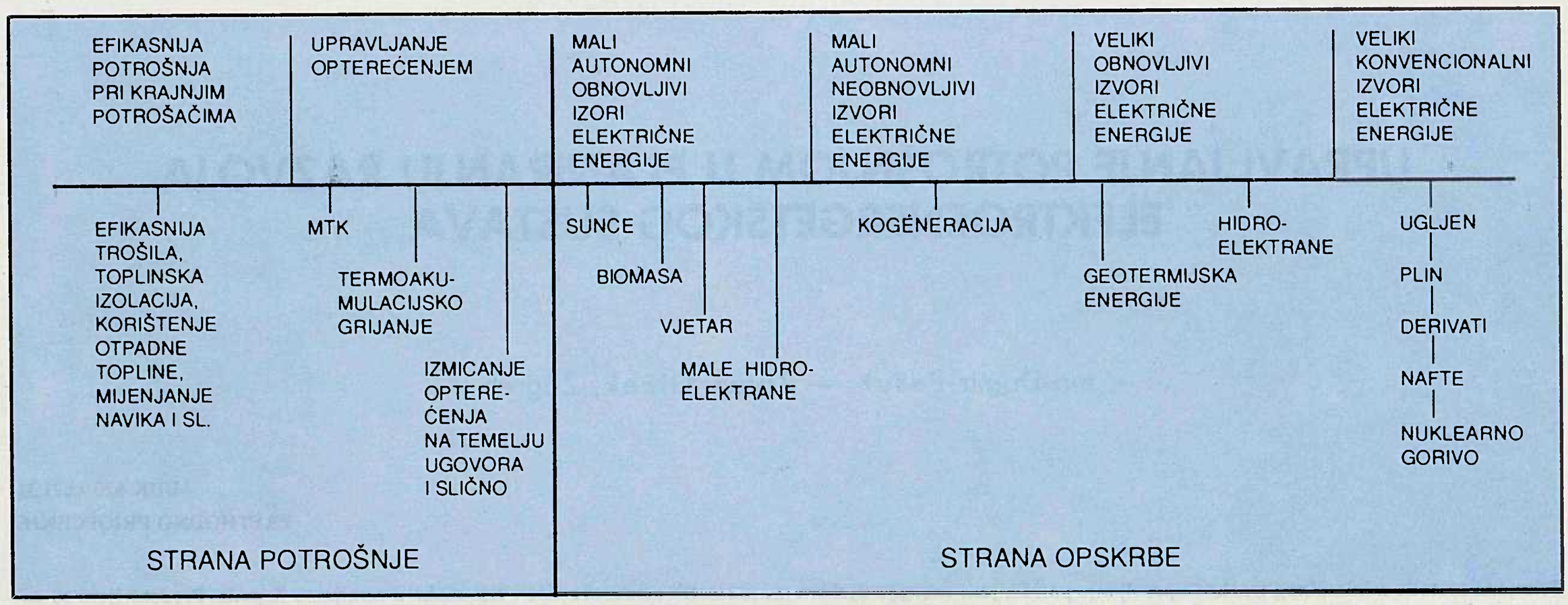
Opcije na strani potrošnje (Demand Side Management) podijeljene su u dvije osnovne skupine: efikasnija potrošnja krajnjih potrošača (End Use Efficiency) i upravljanje opterećenjem (Load Management). Efikasnija potrošnja krajnjih potrošača djeluje na smanjenje potrebne dodatne izgradnje proizvodnih kapaciteta i na smanjenje potrošnje energije. Ona se ostvaruje svim energetski efikasnijim trošilima, boljom toplinskom izolacijom stambenih i poslovnih zgrada, korištenjem otpadne topline, mijenjanjem navika potrošača i slično.

Upravljanje opterećenjem djeluje na efikasnije korištenje izgrađenih kapaciteta i smanjenje dodatne izgradnje kapaciteta. Ostvaruje se neposrednim upravljanjem većim trošilima (MTK), termoakumulacijskim grijanjem, izmicanjem opterećenja na temelju ugovora prema tarifnim stavovima i slično.

Opcije na strani opskrbe podijeljene su na četiri osnovne skupine: mali autonomni obnovljivi izvori električne energije, mali autonomni neobnovljivi izvori električne energije, veliki obnovljivi izvori električne energije i veliki konvencionalni izvori električne energije (slika 1).

Sagledano u širem, društvenom kontekstu, namjera je primjene postupka minimalnog troška pri planiranju energetskog razvoja:

— smanjiti količinu kapitala koja je potrebna za ionako kapitalno intenzivnu energetsku djelatnost i



Slika 1. Opcije za ulaganje u potrošnju i opskrbu u planiranju razvoja elektroenergetskog sustava primjenom metode najmanjeg troška

tako ostaviti više kapitala za druge gospodarske djelatnosti radi bržeg gospodarskog razvoja i otvaranja novih radnih mjesta

— izbjegavanjem, odnosno smanjivanjem dodatne izgradnje energetskih objekata smanjuje se i onečišćavanje okoliša u proizvodnji, prijenosu, distribuciji i potrošnji energije, što je dodatna korist za društvo.

Metoda najmanjeg troška najčešće se primjenjuje za planiranje na nacionalnoj ili regionalnoj razini.

U primjeni metode najmanjeg troška najčešće se rabe najjednostavnije ekonomske tehnike za utvrđivanje najekonomičnije kombinacije opcija. Obično je to jednostavan coste-effective-test kojim se uspoređuju troškovi životnog vijeka tehnologije primijenjene u krajnjoj potrošnji, s marginalnim troškovima alternativnih rješenja na strani opskrbe. Međutim, ima i vrlo sofisticiranih metoda koje se koriste integriranim modeliranjem potrošnje i opskrbe.

Metoda koja se već niz godina primjenjuje u elektroprivrednoj praksi Hrvatske omogućuje integralni pristup.

3. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM (Demand-Side-Management)

Metoda najmanjeg troška samo je metodološki planerski koncept, no samo oživotvorenje plana mnogo je složeniji posao.

Praksa primjene akcija na strani potrošnje naziva se **upravljanje potrošnjom** (Demand Side Management). To su akcije koje se organiziraju i provode na razini elektroprivrednog poduzeća (ili dijela poduzeća). Pojam demand-side management uglavnom se odnosi na električnu energiju, premda njegova načela vrijede i za plin, javnu toplinu i slično. Zbog razloga nevedenih u prethodnim poglavljima, elektroprivredna poduzeća vide svoj interes da ulažu u smanjenje potrošnje ako takva ulaganja koštaju manje nego kapitalni i pogonski troškovi novih proizvodnih, prijenosnih i distribucijskih kapaciteta. Istovremeno, takve akcije omogućuju potrošačima niže račune za električnu energiju, pa je interes obostran.

Tehnički je potencijal energetski efikasnijih tehnologija velik i procjenjuje se na 25% do čak 44%. Međutim, ekonomski razlozi, navike i kojekakvi drugi razlozi u realnosti svode taj potencijal u skromnije okvire.

Postoje različiti kriteriji za donošenje odluke o ulaganju u zahvat iz domene upravljanja potrošnjom. Na primjer, poduzeće se odlučuje ući u projekt upravljanja potrošnjom električne energije ako su ukupni troškovi projekta, uključujući troškove i potrošača i poduzeća, manji nego izbjegnuti troškovi nove porizvodnje, prijenosa i distribucije. Drugi je primjer kriterija da projekt za vrijeme svoga životnog vijeka ne povećava cijenu električne energije.

Godišnja ulaganja poduzeća u Sjevernoj Americi tijekom osamdesetih rasla su iz godine u godinu, tako da su u najambicioznijim poduzećima dosegla iznos od 4% ukupnoga godišnjeg prihoda. Planiraju se također znatna ulaganja ubuduće. Tako Ontario Hydro planira u idućih deset godina uložiti 3 milijarde $, a Hydro Quebec 1,8 milijardi također u deset godina.

4. POSTUPCI ZA PROVOĐENJE PROGRAMA UPRAVLJANJA POTROŠNJOM

Većina »least-cost« planera djeluje u sklopu vlade i njezinih institucija, dok je upravljanje potrošnjom tipičan pristup elektroprivrede.

Vladina shvaćanja problema uglavnom su općenitija jer ne razmatraju troškove vezane za korištenje samo električne energije već i drugih oblika energije, kao što su plin, nafta itd. Ti su pogledi širi jer uključuju i pitanja kao što su zaposlenost stanovništva, zagađivanje okoliša i makroekonomski razvoj.

Naziv »demand-side management« pojavio se početkom osamdesetih godina. S vremenom su se mije-

njali postupci kojima se ti programi planiraju, ostvaruju i nadziru. Slijedeći niz koraka opisuje okvir koji predlaže »Electric Power Research Institute« (EPRI, SAD) kao pomoć elektroprivredama pri razvoju programa. Navedeni koraci ne moraju točno slijediti jedan za drugim kako je navedeno.

Prvi korak: Određivanje ciljeva — stajalište potrošača i elektroprivrede

Karakteristični su ciljevi koji vode postupak planiranja:

1. minimizirati buduću potražnju za investicijama (trošenje kapitala),
2. povećati mogućnosti za smanjenje računa kod svih potrošača,
3. minimizirati rizik investitora,
4. minimizirati troškove koje podmiruje potrošač.

Drugi korak: Određivanje alternativa

Nakon što su postavljeni ciljevi koje želimo postići, potrebno je odrediti konkretne programe za provođenje isplaniranog. Ovaj korak nije jednostavan jer postoje mnoge aktivnosti koje možemo uzeti u razmatranje. Pri tome pozornost usmjeravamo prema karakteristikama potrošača (npr. klimatizacija stambenih prostora, zamjena starih kućanskih aparata učinkovitijim).

Nezaobilazan stavak jest proračun troškova aktivnosti, kao i procjena upotrebljivosti postojeće tehnologije u željene svrhe.

Treći korak: Određivanje utjecaja tržišta i mogućih odgovora potrošača

Razvijanje programa na osnovi ponašanja »prosječnog potrošača« ne može nam biti od velike koristi želimo li ući u detaljnu analizu. Ta nam informacija eventualno može poslužiti za određivanje grubih okvira.

Svaki potrošač jednako nam je važan i svakog od njih zasebno moramo informirati o našim planovima.

Karakteristike potrošača (stupanj toplinske izolacije stambenih objekata, starost uređaj, . . .) znatno utječe na veličinu potrošnje električne energije, a samim tim i na razvoj programa te ih zbog toga moramo ukalkulirati u proračun »teorijske potrošnje«. Međutim, ostvarene vrijednosti razlikovat će se od očekivanih jer u proračun ne možemo uključiti ponašanje potrošača. Razlika između ostvarene i očekivane potrošnje zove se »rebound« (skok). Za ovaj je proračun potrebno poznavati dva podatka:

1. broj potrošača koji su voljni sudjelovati u realizaciji programa (potencijal kojim raspolažemo) i
2. udio spomenutih u ukupnom broju potrošača.

Proračun će biti još bliži stvarnosti ako možemo odrediti koliko će novih potrošača svake godine pristupati našem programu.

Četvrti korak: Procjena programa

U ovom koraku određujemo troškove i dobiti programa i uspoređujemo ih s troškovima gradnje novih izvora. Proračun se odvija na tri razine.

Prva razina: Osnovna provjera
Prva razina daje nam jednostavan proračun namijenjen za određivanje onih poteza koji nisu troškovno efektivni (tj. ne omogućuju nam gotovo nikakve uštede). Kao primjer možemo spomenuti usporedbu troškova klimatizacije (air-conditioning) s programom upravljanja potrošnjom i bez njega.

Druga razina: Očekivane uštede
Proračun ušteda potrebno je provesti uz korištenje marginalne cijene električne energije. To je cijena koju će energija po našim predviđanjima imati u budućnosti, a koristimo je danas pri naplati potrošačkih računa. Uvođenjem marginalne cijene u proračun upravljanje potrošnjom smo usporedili s opcijama na strani opskrbe.

Treća razina: Integralno planiranje potrošnje i opskrbe
Konačna razina četvrtog koraka jest uspoređivanje programa s opcijama na strani opskrbe. Usporedbu možemo provesti modelima koji uvažavaju obje opcije istovremeno.

Peti korak: Oživotvorenje programa

Sa završetkom razvoja programa započinje njegova realizacija koja se zbog složenosti mora provoditi u nekoliko faza.
Najprije se ostvaruje pilot-program kojim testiramo nove proizvode s manjim potroškom. Istovremeno dobivamo i prve informacije o ponašanju potrošača. Pilot-program traje oko 18 mjeseci, a uključuje 100 – 200 potrošača.
Ocijenimo li ovaj program uspješnim, prelazimo na širu provjeru u koju uključujemo nekoliko tisuća potrošača. To proširenje programa služi nam za detaljniju provjeru njihovih ponašanja te za identificiranje i rješavanje problema koje želimo izbjeći ulaskom u posljednju fazu.
Druga faza traje 1 do 3 godine. Ocijenimo li je uspješnom, započinjemo s konačim oživotvorenjem programa.

Šesti korak: Nadziranje ostvarenog

Posljednji korak nema vremensko ograničenje jer je riječ o stalnom nadziranju primjene programa i praćenju potrošnje.

5. PRIMJERI MOGUĆIH AKCIJA

5.1. Kućanstva

Cijena po kojoj Hrvatska elektroprivreda može nabaviti štedne žarulje snage 20 W je 40 DM po komadu, dok je cijena obične žarulje od 100 W na hrvatskom tržištu otprilike 1.25 DM. Jačina svjetlosti štedne ža-

rulje od 20 W odgovara jačini svjetlosti obične žarulje od 100 W.
Štedna žarulja traje 8 000 sati, a obična 8 puta kraće. To znači da ulaganje od 40 DM trebamo usporediti s ulaganjem od 8 × 1.25 = 10 DM pa dobivamo da troškovi Elektroprivrede iznose 30 DM (razlika između dviju investicija).
Izbjegavamo li 100 W sa žaruljom od 20 W, štedimo 80 W u vremenu od 8 000 sati, što daje uštedu u energiji od: 80 W · 8 000 = 640 kWh.

Trošak ušteđenog kilovatsata jest $\frac{30\ \text{DM}}{640\ \text{kWh}} = 4.7$ pf / kWh.
Uzmemo li u obzir i trošak kapitala uzimanja kredita na 5 godina uz 10% kamata, dobivamo trošak od 6.2 pf/kWh.
Uz procjenu da štedna žarulja traje 5 godina, godišnja ušteda po štednoj žarulji iznosi 128 kWh. U 1990. godini prosječno kućanstvo u Hrvatskoj trošilo je 280 kWh za rasvjetu, a sva kućanstva 476 GWh. Da bi se ta potrošnja smanjila 30% bilo bi potrebno oko 1,1 milijuna štednih žarulja, što bi za Elektroprivredu bila ukupna investicija od 33 milijuna DM. Primjenom postupka relativne energetsko-ekonomske vrijednosti može se izračunati da bi se u 2000. godini u elektroenergetskom sustavu Hrvatske akcijom uvođenja štednih žarulja izbjegao trošak od 11 pf/KWh samo u proizvodnom dijelu sustava, a taj je trošak za 77% veći od troška ušteđenog kWh.
Elektroprivreda svojim akcijama može navesti potrošača da upotrebom efikasnijih trošila smanji potrošnju ili, ako je potrošač već počeo štedjeti, ubrza tu uštedu.
Želi li uvesti štedne žarulje u kućanstva, Elektroprivreda će ih kupiti u velikim količinama (40 000 – 50 000 komada) kod proizvođača i prodavati ih potrošačima. Kao što smo već rekli, kupovna cijena za Elektroprivedu je 40 DM po komadu. Nakon što se žarulje kupe, objave se oglasi u medijima (novine, radio, televizija) kojima Elektroprivreda oglašava u kojim se gradovima i trgovinama prodaju štedne žarulje po sniženoj cijeni. Da bi se izbjegle moguće manipulacije (preprodaja i sl.), svakom se kućanstvu prije rasprodaje isporučuje bon kojim se može kupiti samo jedna žarulja.
Akcije u rasvjeti provode se u SAD, Švedskoj, a odnedavno i u Češkoj.
Uspije li ovakav pilot-program, Elektroprivreda istu akciju može ponoviti nekoliko puta, odnosno sve dok postoji zanimanje potrošača.
Važno je uočiti da u opisanoj akciji zajednički sudjeluju Elektroprivreda i potrošač i da je interes potrošača u središtu događaja. Takvim svojim ponašanjem Elektroprivreda stvara pozitivnu klimu u javnosti, što može imati veliku važnost za buduće akcije.
U slučaju uvođenja efikasnijih zamrzivača susrećemo drugačije akcije Elektroprivrede, jer potrošač sam kupuje zamrzivač i pri tome plaća njegovu punu cijenu. Kupi li efikasnijeg, elektroprivredi će predočiti račun i od nje dobiti premiju koja može iznositi 50 do 100 DM (ovisno o efikasnosti zamrzivača) [10].
Potrebno je pratiti kupovinu efikasnijih zamrzivača kako bismo dobili informaciju o reakciji potrošača. Na osnovi te informacije Elektroprivreda mora brinuti i o domaćim proizvođačima žarulja bijele tehnike. Nekoliko godina prije ostvarenja akcija HEP-a traba putem Gospodarske komore, obavijestiti proizvođače kakve će norme u budućnosti tražiti i informirati ih o svojim planovima. Tada će domaći proizvođači imati dovoljno vremena da se prilagode novim zahtjevima.

5.2. Industrija

Akcije ulaganja u uštede i industriji razmotrit ćemo na jednom primjeru iz SAD-a. Central Maine Power Company (elektroprivredno poduzeće) nudi tvornici papirne ambalaže zamjenu kompletne tehnološke linije, a za to je potreba investicija od 1.9 milijuna USD. Godišnja potrošnja električne energije uvođenjem nove opreme smanjila bi se za 7 GWh, što odgovara smanjenju vršnog opterećenja za 2.3 MW.

Da bi mogla uložiti novac u tvornicu, Central Maine Power Company uzima kredit na 15 godina uz kamatu 10%. To daje godišnju ratu od:

$$a = \frac{(1+k)^n \cdot k}{(1+k)^n - 1} \cdot I = \frac{1.1^{15} \cdot 0.1}{1.1^{15} - 1} \cdot 1.9 = 0.1315 \cdot 1.9 = 0.25 \text{ mil USD}$$

Trošak uštednog kilovatsata je:

$$c = \frac{0.25 \cdot 10^6\ \text{USD}}{7\ \text{GWh}} = 3.6\text{c/kWh} = 5.8\ \text{pf/kWh}.$$

5.3. Uslužna djelatnost

Kao primjer akcije u uslužnoj djelatnosti neka posluži jedna bolnica u SAD koja električnu energiju dobiva iz mreže, a grije se na plin.

Izgradi li bolnica kogenerativnu jedinicu (za proizvodnju električne i toplinske energije), to će je stajati 375 000 USD. Uzme li kredit na 7 godina uz 10% kamata, dobiva se godišnji obrok otplate od:

$$a = \frac{1.1^7 \cdot 0.1}{1.1^7 - 1} \cdot 375\,000 = 0{,}2 \cdot 375\,000 = 75\,000 \text{ UDS}.$$

Troškovi održavanja i vođenja kogeneracije jesu 17 000 USD godišnje, dok smanjenje troškova goriva (u jednoj godini) iznosi 125 200 USD.

Cijelu akciju sada gledamo u 10 godina:

ušteda	= 10 · 125 200	=	1 252 000 USD
održavanje	= 10 · 17 000	=	170 000 USD
svi anuiteti	= 7 · 75 000	=	525 000 USD
Ukupni trošak = održavanje + + svi anuiteti		=	695 000 USD
Neto-ušteda = 1 252 000 − 695 000		=	557 000 USD

Čista ušteda koju ostvaruje bolnica iznosi više od pola milijuna dolara.
Financijski je efekt ovakve akcije u 10 godina takav da je izazov poduzetnicima koji sami ulažu kapital u ovakve akcije i izvode ih, a iz ostvarenih ušteda servi-

siraju kredit i ostvaruju dobit, a potrošaču smanje račune za energiju. Ovakav oblik angažiranja »treće« strane ima i svoj termin — Third Party Financing. Relativno jednostavnim i okvirnim analizama u lit. 10 procijenjeno je da se u Hrvatskoj ukupno u sektorima potrošnje kućanstva, industrija i usluge, upravljanjem potrošnjom do 2010. godine potencijalno može očekivati smanjenje do 20% potrošnje električne energije u odnosu prema potrošnji ako bi takve akcije sasvim izostale.

6. DRUŠTVENA KORIST I INTERES ELEKTROPRIVREDNOG PODUZEĆA

Razmatramo li ravnopravno opcije na strani potrošnje i opcije na strani opskrbe, govorimo o metodi najmanjeg troška koja nas upućuje da ulagati trebamo u ono što nam stvara manji trošak. Načelo minimalnoga troška, dakle, problem gleda s društvenog stajališta, a ne sa stajališta elektroprivrednog poduzeća. No, to ne znači da se interes društva i interes Elektroprivrede ne mogu slagati.

Povećanje potražnje iznad mogućnosti proizvodnje postojećih kapaciteta traži od Elektroprivrede dodatnu proizvodnju električne energije iz izvora koje je tek potrebno izgraditi. Troškovi koji su potrebni da bi se osigurala dodatna potrošnja zovu se marginalni troškovi. Izbjegne li se gradnja novih izvora, govorimo o izbjegnutom trošku.

Cijena električne energije i u nekim saveznim državama Amerike određena je administrativno. Ona može biti manja od marginalnog troška. Razmotrimo interes elektroprivrednog poduzeća, potrošaća i društva u slučaju akcije pri kojoj je trošak uštede 3.6 c/kWh, cijena električne energije 5 c/kWh, a marginalni trošak 7 c/kWh (cijene i troškovi odnose se na proizvodnju električne energije, dok je cijena električne energije iskazana na razini troška).

Uštedi li potrošač o svom trošku 1 kWh, elektroprivreda očuva 7 c/kWh, a plati 3.6 c/kWh. Znači da je na dobitku od 1.4 c/kWh.

Tablica 1.

	Elektro-privreda	Potrošač	Društvo
Marginalni trošak	7 c/kWh	/	7 c/kWh
Cijena električne energije	5 c/kWh	5 c/kWh	/
Trošak uštede	/	3.6 c/kWh	3.6 c/kWh
Ukupna korist	2 c/lWh	1.4 c/kWh	3.4 c/kWh

Društvena korist može se izračunati kao što je to učinjeno u tablici, ali se može prikazati i kao zbroj ostale dvije dobiti.

Elektroprivreda je na dobitku od 2 c/kWh, pa može snositi dio potrošačevih troškova. Njezin udio će iznositi najviše 2 c/kWh jer će u protivnom biti na gubitku. Kako god se trošak uštede rasporedi između potrošača i elektroprivrede, društvena korist će ostati ista. Pri ovom odnosu marginalnog troška i cijene električne energije moguć je interes elektroprivrede do određene granice i bez da joj se sudjelovanje u troškovima uštede potrošača priznaje u cijeni električne energije. Za novi primjer možemo uzeti sljedeće iznose:

Marginalni trošak	= 7	c/kWh
Cijena el. energije	= 7	c/kWh
Trošak uštede	= 3.6	c/kWh.

Taj odnos pri kojem je cijena električne energije jednaka marginalnom trošku jest ono što teorija preporučuje jer se tada daje signal potrošačima da racionalnije troše električnu energiju, a elektroprivredi omogućuje izvor sredstava za izgradnju novih kapaciteta.

Dobiti po uštedenom kilovatsatu prikazane su u tablici 2. I u ovom su slučaju potrošač i društvo na dobitku, dok je elektroprivreda izgubila dio tržišta.

Tablica 2.

	Elektro-privreda	Potrošač	Društvo
Marginalni trošak	7 c/kWh	/	7 c/kWh
Cijena električne energije	7 c/kWh	7 c/kWh	/
Trošak uštede	/	3.6 c/kWh	3.6 c/kWh
Ukupna korist	0 c/kWh	3.4 c/kWh	3.4 c/kWh

U primjerima iz prethodnog poglavlja pokazano je da primjena energetski efikasnije tehnologije od potrošača traži angažiranje većeg kapitala nego u slučaju manje efikasnih tehnologija. To je najčešće razlog da se potrošač unatoč dugoročnoj koristi ne odlučuje sam za takvu akciju. Međutim, ako bi mu se omogućilo da u vijeku korištenja energetski efikasnije tehnologije snosi taj trošak kroz cijenu električne energije, on bi to prihvatio i ostavarila bi se društvena korist.

U tom slučaju elektroprivreda može u potpunosti preuzeti troškove implementacije nove tehnologije kod potrošača te ih povratiti preko cijene električne energije (primjer Central Maine Power Company i tvornice papira). Dakako, i potrošač može sudjelovati u toj akciji, barem do razine investicije koju bi imao za energetski neefikasnije tehnologije (primjer zamrzivača i žarulja).

Prizna li se elektroprivredi trošak »Demand-side managmenta« pri formiranju cijene električne energije, neposrednu korist će ostvariti samo potrošači koji sudjeluju u programu efikasnije potrošnje. Oni potrošači koji u njemu ne sudjeluju, stimulirani su da što prije uđu u akcije jer će im, uz manju potrošnju, i račun biti manji.

Akcijama efikasnije potrošnje elektroprivreda gubi samo dio tržišta, a apsolutni troškovi zadovoljavanja potreba potrošača su u tom slučaju manji (LCP), što je sigurno društveno korisno. Gubitak dijela tržišta ne dovodi u gubitak ili nepovoljniji položaj elektroprivredu, samo što joj onemogućuje mogući profit koji bi mogla ostvariti na tom izgubljenom dijelu tržišta.

Stavljanje društvene koristi ispred interesa elektroprivrednog poduzeća nije neobično ni za zemlje ortodoksnoga kapitalizma kao što je SAD. Ograničavanje prodaje električne energije za elekroprivredu predstavlja oduzimanje dijela tržišta. Međutim, na tržištu koje joj ostaje ona i dalje može ostvarivati profit. Sličan slučaj je i ograničavanje reklamiranja proizvoda duhanske industrije. Hrvatska elektroprivreda bi u akcijama efikasnije potrošnje mogla ostati najviše bez 20% tržišta.

7. ZAKLJUČAK

Analiza troška i potencijala ušteda električne energije u Hrvatskoj koja je iznesena u ovom radu tek je osnovna informacija o mogućnostima primjene efikasnije potrošnje. To je posljedica činjenice da se sve veličine dobivene u proračunima temelje na određenim pretpostavkama. Međutim, i takvi rezultati pokazuju da su uštede ostvarive.

Pri daljnjem razvoju i realizaciji programa efikasnije potrošnje trebalo bi imati na umu sljedeće naznake. Sve akcije potrebno je razmotriti sa stajališta društvene koristi. Tek kad se dokaže da je nešto društveno korisno, problem se prouči sa stajališta elektroprivrednog poduzeća i potrošača. Između tih subjekata dobiti i troškovi se raspodjeljuju tako da obje strane budu zadovoljene.

Planiranje razvoja energetskog sustava metodom minimalnog troška poželjno je zbog dvaju razloga:

1. Ulaže li društvo manje novca u rješavanje energetskih problema, više kapitala ostaje za razvoj drugih gospodarskih grana.
2. Smanjena proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije znači i smanjeno zagađivanje okoliša.

Oživotvorenje planiranih akcija koje su društveno korisne provodi se postupno. Pilot-programima se testira ponašanje potrošača u novim uvjetima. Prođu li oni uspješno, prelazi se na daljnje provjere, a zatim i na konačno ostvarenje isplaniranoga.

Za elektroprivredu je važno da se organizira tako da može provoditi akcije na strani potrošnje. Pri tome se mora služiti svim načelima marketinškog pristupa potrošaču. To znači da treba utvrditi koji potrošači prihvaćaju takve akcije, kada i pod kojim uvjetima. Međutim, važno je napomenuti sljedeće: Do 1990. godine potrošnja električne energije i proizvodne mogućnosti kapaciteta kontinuirano su rasli. S početkom devedesetih potrošnja se počela smanjivati zbog ratnih razaranja, ali i zbog gospodarskih problema u Republici. Hrvatska je ujedno ostala bez nekih kapaciteta iz drugih republika bivše Jugoslavije. I danas su još uvijek potrebe manje od mogućnosti proizvodnje. U takvoj situaciji ne isplati se još dodatno smanjivati potrošnju jer bi se time povećali kapaciteti koji ne proizvode električnu energiju, a imaju stalne troškove. Drugim riječima, akcije efikasnije potrošnje povećale bi cijenu prosječnog kWh.

Izjednačavanje potrošnje i mogućnosti proizvodnje može se očekivati najprije 1997. godine. Tek tada bi se isplatilo ulagati u smanjivanje potrošnje. Do tog vremena može se provesti akcija sa žaruljama kako bi se za budućnost ispitalo ponašanje potrošača.
Dio električne energije može se uštedjeti upravljanjem potrošnjom, dok bi se glavni dio potražnje trebao podmiriti gradnjom novih kapaciteta i njihovom revitalizacijom. Ako se ulaganja u efikasniju potrošnju priznaju u cijeni kilovatsata, elektroprivredno poduzeće gubi samo manji dio tržišta. Međutim, u interesu društvene koristi taj gubitak tržišta je opravdan.
Pitanje da li primjenjivati metodu minimalnog troška s ulaganjem na strani potrošnje time je dobilo pozitivan odgovor. Još ostaje samo problem dobre organizacije u planiranju i izvođenju akcija uvođenja energetski efikasnijih trošila.

LITERATURA

[1] Mr. Damir PEŠUT: »Osnovni koncepti planiranja razvoja energetskog sustava primjenom metode najmanjeg troška i upravljanja potrošnjom«, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1994.
[2] Mr. Damir PEŠUT: »Razvoj udjela električne energije u ukupnoj potrošnji energije i perspektiva potreba električne energije u Hrvatskoj do 2010. godine«, Energetski institut »Hrvoje Požar«, Zagreb, 1994.
[3] Conference on advanced technologies for Demand-Side managment«, Sorrento, Italija, 2-5 travnja 1991. (izvještaji)
[4] »Moving toward Integrated Resource Planning: undertanding the theory of Least Cost Planning and Demand — Side Managment«, Eleçtric Power Reserch Institute D, 1987.
[5] Franz WIFL: »On the unprofitabily of utility demand — side conservaton programmes«, Energy ekonomics, 1994.
[6] »Integrated Resource Planning for state utility regulators — the regulatory assistence project«, SAD, lipanj 1994.
[7] »Mogući scenariji razvoja Hrvatske elektroprivrede«, knjiga 1, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, prosinac 1994.
[8] »Energy — a global challenge, conference proceedings«, Austrija, 2-3. ožujka 1994.
[9] »Cijena električne energije u malim hidroelektranama«, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, lipanj 1993.
[10] Z. KLIČEK: »Energetski efikasnija potrošnja električne energije kao način upravljanja potrošnjom«, diplomski rad, ETF, Zagreb, 1994.

Energija, god. 44 (1995) 2, 63 – 69

DEMAND SIDE MANAGEMENT IN PLANNING THE ELECTRIC POWER SYSTEM DEVELOPMENT

The application of the least cost and demand side management method has been increasingly present in Western countries during 1980-ties. The meain reasons for the application of these procedures are presented, the meain objectives as well as some actual examples and future plans considering these procedures. A review of possible application in Croatia is also given.

DAS VERWALTEN DES ENERGIEVERBRAUCHES BEI DER PLANUNG DER ENTWICKLUNG DES STROMVERSORGUNGSSYSTEMS

Im Laufe des achten Jahrzents ist in Westeuropa immer mehr zur Überhandnahme der Anwendung von Verfahren der Mindestkosten und der Energieverbrauchssteuerung gekommen. Dargestellt werden Grundveranlassungen für die Anwendung dieser Verfahren, weitere diesbezügliche Planung, sowie Hauptziele und manche Beispiele des sachlichen Vorgehens. Erwogen ist auch die Anwendungsmöglichkeit dieser Verfahren in Kroatien.

Naslov pisca:

mr. Damir Pešut, dipl. ing.
Energetski institut
»Hrvoje Požar«
10000 Zagreb, Ulica grada
Vukovara 37, Hrvatska
Zoran Kliček, dipl. ing.
10000 Zagreb, Ivanić-
gradska 10, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-02-22

HRVATSKO ENERGETSKO DRUŠTVO
ZAKLADA "HRVOJE POŽAR"

Glavni odbor Zaklade "Hrvoje Požar" objavljuje odluke o dobitnicima nagrade "Hrvoje Požar" za 1995. godinu

Temeljem objavljenog natječaja i postupka propisanog Poslovnikom o dodjeli godišnje nagrade "Hrvoje Požar", Glavni odbor je odlučio da su dobitnici:

A) za originalni znanstveni doprinos razvitku energetike:
Prof. dr. Božo Udovičić
Gospodarska komora RH

B) za inovacije u području energetike:
Mr. Josip Šaban
KONČAR - Generatori

C) za realizirani projekt racionalnog gospodarenja energijom:
HEP, Distribucijsko područje "Elektroslavonija Osijek"

D) za unapređenje kvalitete okoliša, vezano uz energetske objekte:
Dr. Jasmina Mužinić
Zavod za ornitologiju HAZU

E) za izvrstan uspjeh u studiju energetskog usmjerenja:
Marko Živković
Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

F) za izvrstan uspjeh u studiju i posebno zapažen diplomski rad iz područja energetike:
Miran Mikšić
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

Bojan Ničeno
Tehnički fakultet, Rijeka

Branko Pribičević
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

Dobitnici će biti obaviješteni o mjestu i vremenu dodjele nagrada.

Predsjednik Glavnog odbora:

Dr. Goran Granić

DUGOROČNI RAZVOJ ENERGETIKE: PROGNOZE, ANALIZE I DILEME

dr. Danilo Feretić, Zagreb

UDK 621.91:621.31
PREGLEDNI ČLANAK

Dan je pregled primarne i električne energije u svijetu i u Hrvatskoj, te uporaba i raspoloživost energenata u svijetu.

Ključne riječi: razvoj energetike, potrošnja primarne energije, potrošnja električne energije, raspoloživost energenata

1. POTROŠNJA PRIMARNE I ELEKTRIČNE ENERGIJE U SVIJETU I U HRVATSKOJ

Opskrba dovoljnim količinama energije jedna je od temeljnih pretpostavki za opstanak i razvoj naše civilizacije. Stoga nije neobično da se u prognozama gospodarskog razvoja bilo koje zemlje problemima opskrbe energijom poklanja najveća pozornost. Znanstveno utemeljene prognoze razvoja energetike bitan su element planiranja cjelokupnog razvoja neke zemlje.

Valjane analize razvoja energetike moraju se provesti za duže razdoblje (20, 30 pa i 50 godina), jer toliko traje ukupno planiranje, gradnja i iskorištenje energetskih objekata koji se zasnivaju na rezultatima takvih analiza.

Nužno je, nadalje, kada se analiziraju trendovi razvoja energetike u nekoj zemlji, razmotriti i prognoze razvoja energetike za širu regiju, pa i za cijeli svijet. Naime, zbog međuovisnosti energetike u svijetu, posebno među zemljama istoga kontinenta ili šire regije, pouzdane energetske prognoze za samo jednu izoliranu zemlju teško se mogu utvrditi.

Zbog toga ćemo prije nego se osvrnemo na prognoze razvoja energetike u Hrvatskoj ukratko razmotriti neka današnja gledanja na razvoj energetike u svijetu.

Uobičajeno je energetiku u svijetu promatrati po grupacijama zemalja koje karakterizira bilo slična razina razvijenosti, bilo njihov smještaj. Brojne organizacije i instituti koje se bave tom aktivnošću pri analizi energetskih prilika u svijetu uglavnom dijele svijet na dvije osnovne grupacije zemalja: zemlje s razvijenom industrijskom osnovom i zemlje u razvoju. Kod prvih se obično odvojeno posmatraju zemlje s razvijenom tržišnom privredom (to su zemlje koje pripadaju grupaciji OECD-Organization for Economic Co-operation and Development, među koje se ubrajaju Australija, Austrija, Belgija, Danska, Finska, Francuska, Grčka, Irska, Island, Italija, Japan, Kanada, Nizozemska, Njemačka, Norveška, Novi Zeland, Portugal, SAD, Švedska, Španjolska, Švicarska, Turska, Velika Britanija), i zemlje koje je donedavno karakterizirala planska privreda (bivše i novonastale zemlje istočne Europe, među koje se ubrajaju i one koje su bile u sastavu bivše Jugoslavije i bivšeg SSSR-a), i zemlje u razvoju (nekad se te zemlje označuju kao zemlje juga, a nalaze se pretežno na području Afrike, južne Azije, uključivši Kinu, Bliski istok i Latinsku Ameriku).

Jedan od ključnih pokazatelja u prognozama razvoja energetike jest broj stanovnika u pojedinim zemljama odnosno grupacijama zemalja. Tablica 1. daje podatke u broju stanovništva i potrošku primarne energije po definiranim grupacijama zemalja.

Tablica 1. Stanovništvo i potrošak primarne energije po grupacijama zemalja 1988. godine

Grupe zemalja	stanovništvo u milijardama	potrošak primarne energije po stanovniku (toe)	ukupan potrošak energije (Gtoe)
OECD	0,77	5,2	4,00
ist. Europa	0,42	4,4	1,85
Zemlje u razvoju	3,92	0.5	1,96
Svijet	5,11	1,53	7,81

toe (tona ekvivalentne nafte) odgovara energiji od 41,8 GJ

Iz tablice je vidljiv izraziti raskorak između utroška energije u industriji razvijenim zemljama i zemljama u razvoju. Zemlje u razvoju obuhvaćaju gotovo 77% stanovništva svijeta, a troše samo oko 25% energije. Prosječan potrošak energije po stanovniku u zemljama u razvoju iznosio je 1988. godine manje od 10% prosječnog potroška energije po stanovniku u zemljama OECD. Dakako i među samim zemljama OECD postoje velike razlike u trošenju primarne energije po stanovniku. Primjerice, između SAD i Portugala odnos potrošnje energije po stanovniku u navedenoj godini bio je približno 7:1.

Poznato je da je porast potrošnje energije vezan za porast društvenog standarda i porast bruto društvenog proizvoda.

Radi uočavanja trendova u razvoju potrošnje energije koje su važne za prognoziranje budućeg razvoja, treba istaknuti neke temeljne činjenice:

1. Porast društvenog proizvoda, a s tim u vezi i porast potrošnje energije u zemljama u razvoju u proteklom je razdoblju bio brži od onog u razvijenim zemljama. Društveni je proizvod u industrijski razvijenim zemljama (OECD+ist. Europa) u razdoblju 1975 – 1985. rastao s prosječnom stopom od 2,6%, a u zemljama u razvoju s prosječnom stopom 4,6% [2].
2. Stopa rasta potrošnje primarne energije po stanovniku u zemljama OECD u razdoblju 1973 – 1988. gotovo je stagnirala, dok je u grupi zemalja u razvoju u istom razdoblju porasla za približno 50%. U zemljama istočne Europe potrošnja primarne energije po stanovniku bila je u stanovitom porastu, tako da je i grupi industrijski razvijenih zemalja uzevši sumarno (IECD+ist. Europa) ipak zabilježen porast potrošnje primarne energije po stanovniku, ali bitno niži od onog u zemljama u razvoju. Prosječni porast potrošnje primarne energije u svijetu od 1973. do 1991. godine iznosio je oko 2% godišnje.
3. Energetska intenzivnost, definirana odnosom potrošnje primarne energije i društvenog proizvoda, najniža je u visokorazvijenim zemljama, a povećava se sa stupnjem nerazvijenosti zemlje.
   Suglasno navedenom može se reći da efikasnost uporabe energije u svim zemljama s porastom njihove razvijenosti bilježi poboljšanje, koje se gledajući razdoblje od oko 20 godina unatrag (1973 – 1985.), poboljšavalo sa stopom od oko 1% godišnje. [2] Ako, primjera radi, pogledamo podatke za Kinu [3], kao zemlju u brzom razvoju, za razdoblje 1980 – 1988. uočavamo konstantan pad potrošnje energije po jedinici vrijednosti društvenog proizvoda koja pada od 1,46 kgoe/US$ u 1980. godini na 1,02 kgoe/US$ u 1988. godini (uz vrijednost US dolara iz 1980. godine).
   Porast društvenog proizvoda, posebno u razvijenim zemljama, brži je od porasta potrošnje primarne energije, što potvrđuje da efikasnost trošenja energije raste sa stupnjem razvijenosti zemlje. Podaci za neke odabrane zemlje za 1980. i 1985. godinu navedeni su u tablici 2. Prikazan je utrošak energije izražen u kilogramima ekvivalentne nafte (kgoe) po dolaru ostvarenog bruto društvenog proizvoda. Računalo s vrijednošću dolara iz 1980. godine.
4. Za energetiku je bitan pokazatelj postotak utroška primarne energije za proizvodnju električne energije. U tablici 2. dan je taj podatak za pojedine zemlje za godine 1973. i 1988. Primjećujemo da postotak raste s vremenom i da je veći u razvijenim zemljama.
   Pregled prosječnih utrošaka primarne energije za proizvodnju električke energije po osnovnim grupacijama zemalja za 1985. i 1988. godinu daje tablica 3. [1]
5. Intenzivnost uporabe električne energije određena je utroškom električne energije po jedinici vrijednosti proizvoda. Taj pokazatelj znatno varira od zemlje do zemlje, a veći je u razvijenim zemljama. Znači da treba očekivati porast intenzivnosti upotrebe električne energije s porastom razvijenosti zemlje. Tako je, primjerice, u 1970 godini intenzivnost uporabe električne energije u Nigeriji iznosila samo 0.03 kWh/US$, a u Kanadi 1,08 kWh/US$. Za 1985. godinu te brojke iznose 0,12 i 1,21 kWh/US$ (sve uz vrijednost US dolara iz 1980. godine).
   Trendovi promjene intenzivnosti uporabe primarne i električne energije različiti su. Radi potvrde ove tvrdnje razmotrit ćemo paralelno intenzivnost uporabe primarne energije i intenzivnost uporabe električne energije po osnovnim grupacijama zemalja. Rezultati usporedbe dani su u tablici 4.

Tablica 2. Utrošak energije po jedinici bruto društvenog proizvoda (kgoe/US$80) i postotak primarne energije trošen za proizvodnju električne energije

Zemlja	Utrošak primarne energije po jedinici bruto prozvoda (kgoe/US$80)		Postotak primarne energije utrošen za proizvodnju električne energije	
	1980	1985	1980	1985
SAD	0.68	0,59	32,5	34,1
Velika Britanija	0,38	0,35	34,2	35,0
Njemačka	0,34	0,31	33,6	35,6
Francuska	0,30	0,28	32,2	39,1
Japan	0,34	0,29	33,0	39,8
Kanada	0,82	0,78	37,8	42,7
Austrija	0,35	0,33	34,4	38,7
Španjija	0,34	0,33	35,4	40,5
Finska	0,51	0,46	34,1	40,8
Australija	0,50	0,46	36,2	38,6
Čile	0,55	0,47	31,7	37,5
Brazil	0,84	0,67	28,8	36,9
Argentina	0,78	0,66	22,7	29,3
Meksiko	0,89	0,62	19,5	30,9
J. Koreja	1,30	0,28	16,1	25,2
Filipini	0,95	0,79	25,6	27,1
Indija	1,00	0,90	21,9	28,6
Egipat	0,86	0.78	26,9	32,5
bivši SSSR	0,63	0,60	33,3	34,2
Mađarska	1,33	—	26,8	—

Tablica 3. Postotak primarne energije koji se troši na proizvodnju električne energije

	1973	1988
OECD	25	36
ist. Europa	25	30
zemlje u razvoju	20	28
svijet	24	33

Tablica 4. Intenzivnost uporabe primarne energije i električne energije (kgoe/US$ i Wh/US$, uz vrijednost dolara u 1980 godini)

	1960.		1987.	
	kgoe/US$	Wh/US$	kgoe/US$	Wh/US$
OECD	0,49	471,8	0,38	659,4
ist. Europa	1,49	1039,1	1,17	1383,9
zemlje u razvoju	0,94	295,9	0,72	667,8
svijet	0,57	493,4	0,55	745,1

Rezultati dani tablicom potvrđuju prethodni navod da bez obzira na razvijenost zemalja unutar grupacije, kod svih grupacija zemalja intenzivnost uporabe primarne energije pada, a intenzivnost uporabe električne energije raste s vremenom. Iz navedenog nedvojbeno slijedi zaključak da je raspoloživost električne energije jedna od temeljnih pretpostavki razvoja svake zemlje.

6. Elastičnost uporabe energije je definirana odnosom stope porasta potrošnje energije i stope porasta bruto nacionalnog dohotka. Elastičnost je višestruko manja kada je riječ o primarnoj energiji nego kada je posrijedi električna energija. Elastičnost ovisi o strukturi gospodarstva, a pogotovo industrije (više ili manje energetski intenzivna industrija) i o odnosu potrošnje električne energije u privrednim i neprivrednim djelatnostima (ponajprije domaćinstvima). Elastičnost uporabe električne energije u većini razvijenih zemalja manja od jedinice. U nekim zemljama, primjerice u Velikoj Britaniji, posebno je niska te je u razdoblju 1970 – 1985. iznosila samo 0,6. [4]. Smanjenjem elastičnosti putem racionalizacije korištenja električne energije može se donekle smanjiti potreba za gradnjom elektroenergetskih izvora.
Teplitz-Sembitzky iz Svjetske banke [11] u sklopu studije razvoja energetike zemalja u razvoju (analizirano je 75 zemalja) utvrdio je vezu između bruto nacionalnog proizvoda po stanovniku u dotičnoj zemlji i elastičnosti uporabe električne energije. Pokazano je da elastičnost pada s povećanjem bruto nacionalnog proizvoda. Za razmatrane zemlje elastičnost je 1,35 za zemlje s bruto nacionalnim proizvodom od 100 US$ po stanovniku, a približno 1,0 za zemlje s bruto nacionalnim proizvodom od 4 560 US$ (vrijednost US$ iz 1985) po stanovniku.

7. Učinkovitost pretvorbe toplinske energije u električnu energiju konstantno raste. Očekuje se da će nakon primjene novih tehnologija u energetici učinkovitost pretvorbe porasti s današnjih 30 – 35% na više od 50% [7] i time dodatno pridonijeti smanjenju stope porasta primarne energije s obzirom na stopu porasta korištenja električne energije.

Prognoze buduće potrošnje energije

Buduća potrošnja energije kao u svijetu u cjelini, tako u pojedinim zemljama i grupama zemalja ovisi o brojnim, a uglavnom unaprijed nepoznatim ekonomskim i političkim prilikama. Stoga potpuno pouzdana prognoza ne postoji. Moguće je ipak na temelju iznesenih povijesnih činjenica i trendova (ranije navedene točke 1 do 7) prognozirati s određenom vjerojatnošću buduća kretanja u potrošnji energije.

Porast stanovništva u svijetu

Prognoze o porastu stanovništva u svijetu na temelju današnjih demografskih analiza pokazuju da u idućim desetljećima treba očekivati znatan porast broja stanovnika na našem planetu. Godine 1990. na Zemlji je živjelo 5,3 milijarde ljudi. Taj se broj udvostručio tijekom proteklih 40 godina. Prema publikaciji IAEA iz 1994, godine [4] i referencama [1] i [2], očekivani broj stanovnika Zemlje u idućim desetljećima iznosit će kao što pokazuje tablica 5.

Tablica 5. Prognoza porasta broja stanovnika svijeta do 2050. godine (u milijunima)

	1993.	2000.	2010.	2015.	2050.*
OECD	872	914	954	980	1 020
ist. Europa	419	430	444	450	480
zemlje u razvoju	4 359	5 032	5 927	6 412	9 000
svijet	5 650	6 376	7 351	7 872	10 500

* prognoza za 2050. godinu sadrži dakako, znatnu dozu nesigurnosti.

Broj stanovnika u zemljama u razvoju narasti će prema prognozi u idućih 50 godina za približno 100%, tako da će oni u cjelokupnoj populaciji svijeta sudjelovati s više od 85%.

Iz tablice 5. vidljivo je da je predviđen porast broja stanovnika u svijetu od 1993. do 2050. za oko 4 850 milijuna, a od toga je porast stanovnika u zemljama u razvoju oko 4 640 milijuna (tj. približno 95%).

Jedno od temeljnih pitanja koje se postavlja u vezi s očekivanim porastom populacije na našem planetu jest utjecaj tako poraslog stanovništva na potrošnju energije. Prodor tehničkih dostignuća u svakodnevni život ljudi traži sve veću potrošnju energije. Isto tako, sve veća mehanizacija, automatizacija i kompjutorizacija privrednih djelatnosti (poljoprivrede, industrije i uslužnih djelatnosti) dovodi do sve većeg udjela energije u vrijednosti proizvoda (prije je to brojčano ilustrirano usporedbom utroška električne energije po jedinici vrijednosti proizvoda u Kanadi i Nigeriji).

Iz tablice 1. vidi se da je danas utrošak primarne energije po stanovniku u zemljama u razvoju u prosjeku oko 10 puta manji od prosječnog utroška energije po stanovniku u razvijenim zemljama.

Analitičari budućeg razvoja energetske potrošnje u svijetu suglasni su da nije realno prognozirati povećanje postojećeg raskoraka između potrošnje energije u razvijenim i nerazvijenim zemljama (odnosno povećanje raskoraka u životnom standardu u jednim i drugim zemljama). Povijesno je opravdanje takve pretpostavke i u već ostvarenim mnogo većim stopama porasta potrošnje energije u zemljama u razvoju nego u razvijenim zemljama.

Već je istaknuto (točka 1) da je ostvarena stopa porasta bruto društvenog proizvoda u razdoblju 1973 – 1988. u zemljama u razvoju bila u prosjeku oko 4,6%, što odgovara porastu bruto društvenog proizvoda u tom razdoblju za oko 96%. S druge strane, od 1970 do 1990. ostvarena stopa porasta stanovništva u razvijenim zemljama bila je oko 0,7% godišnje, a u zemljama u razvoju 2.18% godišnje [6]. Porast broja stanovnika u zemljama u razvoju (gledajući te zemlje kao cjelinu) ipak je sporiji od porasta društvenog proizvoda, što upućuje na relativno pove-

ćanje standarda života u tim zemljama u odnosu na razvijene zemlje. U daljnjem tekstu pokazat ćemo da i među zemljama u razvoju postoje vrlo velike razlike, tako da za neke od navedenih tvrdnja vrijedi a za neke ne.

Prognoze o potrebama energije u svijetu u budućnosti (najdugoročnije prognoze odnose se na razdoblje od 2050. godine) temelje svoje pretpostavke na sljedećim postavkama:

1. Potrošnja primarne energije po stanovniku u industrijskim zemljama (zemlje OECD+ ist. Europa) dugoročno će rasti za oko 20% u idućih 50-ak godina. Neki analitičari predviđaju čak i mogućnost apsolutnog pada te potrošnje u nekim razvijenim zemljama (posebno u SAD) zbog racionalnijeg i efikasnijeg korištenja primarne energije.
2. Nasuprot tome, potrošnja primarne energije po stanovniku u zemljama u razvoju trebala bi prema prognozama i dalje rasti [1] [2]. Računa se s udvostručenjem ili utrostručenjem današnje potrošnje prema tablici 1., dakle s potrošnjom od 1 do 1,5 toe po stanovniku u godini 2050. Ako uzmemo u obzir da se usporedo s tim predviđa udvostručenje stanovništva u zemljama u razvoju do 2050. godine (tablica 4). to bi za ostvarenje navedene pretpostavke trebalo računati s potrošnjom primarne energije u zemljama u razvoju koja je do 4, pa čak i do 6 puta veća od današnje! Na temelju podataka iz tablice 1. ta bi potrošnja u 2050. godini trebala narasti na 8 – 12 Gtoe godišnje (što je približno dvostruko od današnje potrošnje primarne energije u industrijskim zemljama). Prognoza se odnosi na prosjek potrošnje u zemljama u razvoju, što ne znači da će moći biti ostvarena u svakoj zemlji koja pripada toj skupini zemalja.

Na temelju takvih i sličnih razmišljanja izrađene su brojne prognoze dugoročnog razvoja energetike u svijetu. Ovdje će se navesti samo neke od takvih prognoza.

Dugoročna prognoza potrošnje primarne energije prema Edenu [1], Frischu [2] i Ettingeru [8], u industrijskim zemljama i zemljama u razvoju od 2000. do 2050. godine dana je u tablici 6.

Prema tablici 1, ostvarena potrošnja primarne energije u navedenim skupinama zemalja u 1988. godini bila je: OECD 4,0 Gtoe, ist. Europa 1,85 Gtoe, zemlje u razvoju 1,96 Gtoe, što je rezultiralo ukupnom potrošnjom primarne energije u svijetu od 7,81 Gtoe.

Prognoze potrošnje energije na vrlo dug rok (od godine 2050.) nepouzdane su i ovisne o pristupu i stavovima pojedinih autora. Tako je, primjerice, Eden svoju prognozu potrošnje do godine 2050. predvidio u dva granična scenarija (koja ćemo zvati scenarij A i scenarij B). Scenariji se najbitnije razlikuju prognozom kretanja potrošnje primarne energije u industrijskim zemljama. Po scenariju A ta bi potrošnja ostala do sredine idućeg stoljeća na približno današnjoj razini, dok bi prema scenariju B pala na polovicu današnje razine.

Iz tablice 6. razabiremo da bi prema prognozi Ettingera, koja se približno poklapa s prognozom Edena po scenariju B, trebalo u ne suviše dalekoj budućnosti (godina 2035.) računati sa znatnim padom potrošnje primarne energije u industrijskim zemljama (zemlje OECD+zemlje današnje istočne Europe). Ta bi potrošnja u 2035. godini iznosila samo oko 56% potrošnje ostvarene u 1988. godini. Nasuprot tome Frisch prognozira do godine 2020. čak stanovit blagi porast potrošnje primarne energije u industrijskim zemljama (povećanje prema 1988. godini za 13,6% u nižoj, a 32% u višoj varijanti, čemu odgovaraju prosječni godišnji prirasti od 0.4% odnosno 0,9%). U tom je prognoza Frischa bliža prognozi Edena po scenariju A.

Glede prognoze potrošnje primarne energije u zemljama u razvoju, postojeće studije su bolje usuglašene. Predviđanja u navedenim studijama konvergiraju kada je riječ o potrošnji primarne energije u zemljama u razvoju sredinom idućeg stoljeća oko vrijednosti nešto više od 9 Gtoe. Tolika bi potrošnja odgovarala već navedenoj prosječnoj potrošnji po stanovniku u tim zemljama od približno 1 toe (dvostruko više od današnje potrošnje). Ako se ostvari prognozirani pad potrošnje primarne energije u industrijskim zemljama na približno polovicu današnjeg i navedeni porast potrošnje primarne energije u zemljama u razvoju, za pedesetak godina odnos potrošnje primarne energije po stanovniku u tim zemljama smanjio bi se s današnjih 10:1 na 2:1 ili 3:1.

Bez obzira na očekivano smanjenje potrošnje primarne energije, predviđa se povećanje bruto nacionalnog dohotka u industrijskim zemljama u idućih 50-ak godina za približno dva puta, pri čemu će utrošak primarne energije po jedinici vrijednosti proizvoda pasti na oko 28% vrijednosti ostvarene 1990. godine [8].

Tablica 6. Prognoza potrošnje primarne energije u industrijskim zemljama i zemljama u razvoju od 2000. do 2050. godine (Gtoe/god.)

Grupa zemalja	2000.	2005.	2020.	2035.	2050.
OECD	4,03 – 4,35*	5,2**	4,13 – 4,84* 3,84**	3,3**	2,3 – 4,6*** 3,3**
ist. Europa	2,15 – 2,27		2,52 – 2,89*		1,2 – 2,1***
zemlje u razvoju	3,36 – 3,64*	4,09**	4,91 – 5,8* 5,92**	7,97**	9,2 – 13,8*** 9,25**
svijet	9,530 – 10,26*	9,28**	11,56 – 13,52* 9,760**	11,27**	12,60 – 20,50*** 12,55**

* prema Frischu [2].
** prema Ettingeru [8]. U iskazanoj prognozi potrošnje za industrijske zemlje sadržan je sumarni podatak za zemlje OECD i istočne Europe.
*** prema Edenu [1].

Opisani scenariji razvoja energetike u svijetu u idućim desetljećima, kojima je jedan od temelja snažno povećanje upotrebe energije globalno, i po stanovniku, u zemljama u razvoju (uz istovremeni pad potrošnje primarne energije u industrijski razvijenim zemljama) izazivaju dosta skepse. Temeljna sumnja je u vjerojatnom pomanjkanju financijskih sredstava za ostvarenje tolikog napretka energetike u zemljama u razvoju, posebno u onim siromašnijima. Takav bi razvoj tražio opsežno financijsku podršku tim ionako zaduženim zemljama.

Na primjer, nedavna analiza Svjetske banke o visini potrebnih ulaganja u 70 zemalja u razvoju u elektroenergetske objekte planirane za gradnju u 90-im godinama pokazala je da bi bilo potrebno za tu svrhu uložiti oko 750 milijardi dolara tijekom 10 godina, što je oko 50% više od dosadašnjih ulaganja u energetski sektor tih zemalja, a približava se cjelokupnom njihovu vanjskom zaduženju.

Drugo je pitanje hoće li ekonomski, ekološki (odnosno zahtjevi regulative) i drugi poticaji navesti razvijene industrijske zemlje da smanjuju u tolikoj mjeri utrošak primarne energije (na gotovo polovicu današnje potrošnje tijekom prve polovice sljedećeg stoljeća).

Razmotrit ćemo sada rezultate prognoze razvoja energetike za razdoblje do 2015. godine koje je početkom 1994. godine izradila skupina eksperata i konzultanata Međunarodne agencije za atomsku energiju [5]. Prognoza također upućuje na već opisane trendove razvoja energetske potrošnje.

Treba primijetiti da se u toj prognozi ne koristi podjela zemalja po stupnju razvijenosti kao u prije navedenim studijama, nego po njihovu geografskom položaju. Pri usporedbi rezultata s prognozama prije navedenih autora treba uzeti u obzir da su u skupinu zemalja Dalekog istoka i Oceanije ušle zajedno s zemljama u razvoju neke zemlje koje pripadaju grupaciji OECD (Japan, Australija i Novi Zeland). Ostala područja su glede općeg svrstavanja pripadajućih zemalja prema prosječnom stupnju razvijenosti uglavnom homogena.

Prognoze stopa porasta stanovništva i potrošnje energije prema procjeni eksperata IAEA pokazane su u tablici 7.

Rezultati dugoročnih prognoza razvoja energetike koji su dani tablicom 7. pokazuju usporenije stope rasta potrošnje primarne energije u industrijski razvijenim zemljama (Sjeverna Amerika, zapadna i istočna Europa) nego u područjima koja sadrže zemlje u razvoju. Međutim i u industrijski razvijenim zemljama Europe (posebno u zemljama istočne Europe) predviđena je stopa porasta potrošnje primarne energije viša od stope porasta stanovništva. Znači da se u tim zemljama potrošnja primarne energije po stanovniku ne bi u idućih 20 godina smanjivala.

Glede prognoze razvoja energetike u zemljama u razvoju treba razlikovati tri grupacije:

Zemlje Dalekog istoka (već je napomenuto da je u toj grupaciji Japan kao izrazito razvijena zemlja, ali i Kina kao zemlja u ubrzanom razvoju), kod kojih prosjek stope rasta potrošnje energije znatno nadmašuje stopu rasta stanovništva. To su, dakle zemlje kod kojih se predviđa ubrzani porast potrošnje energije po stanovniku i smanjivanje raskoraka u odnosu na razvijene zemlje.

Zemlje južne Azije, Srednjeg istoka, Pacifika (među ove posljednje ubrajaju se i dvije razvijene zemlje: Australija i Novi Zeland) i Latinske Amerike. Te zemlje karakterizira brži porast stanovništva u odnosu na prvu grupu (naročito zemlje Latinske Amerike) i stoga manje stope porasta potrošnje energije po stanovniku, dakle i sporiji rast standarda. U tim bi zemljama trebala ipak porasti, ali ne suviše, potrošnja primarne i električne energije po stanovniku.

Zemlje afričkog kontinenta će prema prognozi imati visoku stopu porasta stanovništva, koja je bliska s predviđenom stopom porasta potrošnje primarne energije. U tim će zemljama, prema prognozi, potrošnja primarne i električne energije po stanovniku stagnirati na današnjoj vrlo niskoj razini, a razvoj će biti znatno zakočen.

U spomenutoj analizi IAEA izračunata je na temelju prognoziranih stopa porasta iz tablice 7. potrošnja ukupne i električne energije za grupe zemalja prema njihovu geografskom smještaju. Rezultate prikazuju tablice 8. i 9.

Usporedit ćemo rezultate prognoze razvoja potrošnje primarne energije dane tablicom 8. s onima u tablici 6. Ako obratimo pažnju na očekivanu razinu potrošnje energije u svijetu nakon dvadesetak godina (godine 2015. i 2020.), primjećujemo da prognoza Frischa predviđa za godinu 2020. potrošnju primarne

Tablica 7. Prosječne godišnje stope (% god) porasta stanovništva, utroška primarne energije i utroška električne energije po područjima svijeta u razdoblju 1974 – 1993. (ostvareno) i od 1993 – 2015. (procjena)

Grupe zemalja	1974 – 1993.			1993 – 2015.		
	Stanovništvo	Prim. energija	Elekt. energija	Stanovništvo	Prim. energija	Elekt. energija
Sj. Amerika	1,0	0,8	2,6	0,7	0,2 – 0,4	1,0 – 2,0
Lat. Amerika	2,1	3,1	5,9	1,7	3,0 – 3,7	4,6 – 5,1
zap Europa	0,3	2,4	4,4	0,4	0,5 – 0,7	1,2 – 1,8
ist. Europa	0,7	1,3	2,0	0,3	0,2 – 0,4	1,3 – 2,3
Afrika	3,4	4,6	5,6	3,0	3,3 – 3,8	3,5 – 4,3
Sred. istok i juž. Azija	2,3	6,4	8,9	1,9	2,8 – 3,3	4,2 – 4,9
jugoistočna Azija i Pacifik	2,0	4,5	6,1	1,3	2,9 – 3,4	4,3 – 5,0
Daleki istok	1,5	4,0	5,8	1,0	2,0 – 2,5	3,0 – 3,9
svijet	1,8	2,3	3,8	1,5	1,3 – 1,7	2,1 – 2,9

Tablica 8. Prognoza potrošnje ukupne energije (Gtoe) i potrošnje po stanovniku (toe/stan.) po grupama zemalja u svijetu do 2015. godine

	1993.		2000.	
	Gtoe	toe/stan.	Gtoe	toe/stan.
Sj. Amerika	2,23	7,81	2,27 – 2,29	7,50 – 7,58
Lat. Amerika	0,54	1,17	0,67 – 0,69	1,24 – 1,31
zap. Europa	1,54	3,54	1,60 – 1,63	3,56 – 3,58
ist. Europa	1,58	3,75	1,60 – 1,63	3,70 – 3,75
Afrika	0,36	0,45	0,45	0,45 – 0,48
Bliski istok i južna Azija	0,66	0,48	0,81 – 0,84	0,50 – 0,53
jugoistočna Azija i Pacifik	0,33	0,96	0,41	1,02 – 1,05
Daleki istok	1,57	1,00	1,79 – 1,86	1,05 – 1,10
svijet	8,81	1,55	9,58 – 9,80	1,51 – 1,53

	2010.		2015.	
	Gtoe	toe/stan.	Gtoe	toe/stan.
Sj. Amerika	2,32 – 2,39	7,29 – 7,48	2,34 – 2,44	7,12 – 7,36
Lat. Amerika	0,91 – 1,00	1,43 – 1,60	1,03 – 1,19	1,53 – 1,77
zap. Europa	1,70 – 1,72	3,61 – 3,68	1,74 – 1,79	3,63 – 3,73
ist. Europa	1,62 – 1,70	3,63 – 3,80	1,63 – 1,72	3,61 – 3,82
Afrika	0,62 – 0,67	0,48 – 0,53	0,72 – 0,79	0,50 – 0,55
Bliski istok i južna Azija	1,05 – 1,15	0,55 – 0,60	1,22 – 1,36	0,60 – 0,67
jugoistočna Azija i Pacifik	0,53 – 0,57	1,20 – 1,31	0,62 – 0,69	1,34 – 1,48
Daleki istok	2,20 – 2,39	1,20 – 1,29	2,44 – 2,70	1,27 – 1,41
svijet	10,95 – 11,50	1,48 – 1,58	11,76 – 12,71	1,48 – 1,63

energije između 11,56 i 13,32 Gtoe, što se dosta dobro poklapa s prognozom eksperata IAEA (11,76 do 12,71 Gtoe u 2015. godini). Ettinger za istu godinu predviđa potrošnju od 9,76 Gtoe, što je vjerojatno prenisko s obzirom na to da je već ostvarena potrošnja primarne energije u 1993. godini iznosila 8,81 Gtoe. Za 2050. godinu Eden navodi vjerojatne granice potrošnje primarne energije u svijetu između 12,6 i 20,5 Gtoe. Iz tablice 7. vidimo da prosječna stopa porasta potrošnje primarne energije pokazuje tendenciju smanjivanja. U razdoblju 1973 – 1993. iznosila je oko 2,3% a od 1993. do 2015. predviđa se između 1,3 i 1,7%. Logično je pretpostaviti da će takva tendencija biti nastavljena i u dužem roku. Stopa porasta potrošnje primarne energije, koja se smanjuje, mogla bi u razdoblju 2020 – 2050. imati prosječnu vrijednost između 0,5 i 0,6% godišnje, što bi u 2050. godini dovelo do potrošnje primarne energije između 14,2 i 14,7 Gtoe. Ti se iznosi dobro uklapaju u granice potrošnje primarne energije u svijetu 2050. godine, koje je predvidio Eden. Od te bi potrošnje primarne energije oko 9 Gtoe otpalo na sadašnje zemlje u razvoju, a ostatak od oko 5,5 Gtoe na industrijski razvijene zemlje. Potrošnja primarne energije u industrijskim zemljama je prema ovom predviđanju u dugoročnoj stagnaciji odnosno laganom padu, jer je, prema tablici 8., ostvarena potrošnja primarne energije u zemljama Svjeverne Amerike, zapadne i istočne Europe (dakle bez Japana, Australije i Novog Zelanda) u 1993. godini bila oko 5,35 Gtoe. Prosječna stopa porasta potrošnje primarne energije u svijetu u razdoblju 1993 – 2050. jest približno 0,88%, čemu odgovara kumulativna potrošnja primarne energije u istom razdoblju oko 642 Gtoe.

Potrošnja električne energije

Analize o mogućem kretanju potrošnje primarne energije u bližoj i daljnjoj budućnosti možemo pove-

Tablica 9. Prognoza potrošnje električne energije po grupama zemalja u svijetu do 2015. godine

Grupe zemalja	1993.			2000.		
	TWh	GW	MWh po stan.	TWh	GW	MWh po stan.
Sj. Amerika	3689	873	12,73	3927 – 4208	931 – 991	13,0 – 13,9
Lat. Amerika	666	173	1,4	912 – 943	231 – 238	1,7 – 1,8
zap. Europa	2363	619	5,8	2689 – 2742	716 – 744	5,9 – 6,1
ist. Europa	1847	463	4,3	2008 – 2151	433 – 464	4,7 – 5,0
Afrika	325	77	0,4	416 – 439	95 – 101	0,4 – 0,5
Sred. istok i juž. Azija	627	175	0,4	831 – 871	224 – 230	0,5 – 0,6
jugoistočna Azija i Pacifik	363	84	1,0	487 – 511	117 – 124	1,2 – 1,3
Daleki istok	2068	467	1,3	2518 – 2685	566 – 604	1,5 – 1,6
svijet	11948	2930	2,11	13785 – 14550	3313 – 3504	2,2 – 2,3

Grupe zemalja	2010.			2015.		
	TWh	GW	MWh po stan.	TWh	GW	MWh po stan.
Sj. Amerika	4 295 – 5 080	1 019 – 1 205	13,5 – 15,9	4 492 – 5 581	1 066 – 1 323	13,6 – 16,9
Lat. Amerika	1 431 – 1 551	357 – 387	2,3 – 2,5	1 791 – 1 989	448 – 497	2,6 – 2,9
zap. Europa	3 095 – 3 392	840 – 921	6,6 – 7,2	3 359 – 3 773	909 – 1 024	7,0 – 7,9
ist. Europa	2 262 – 2 674	488 – 577	5,1 – 6,0	2 401 – 2 981	518 – 643	5,3 – 6,6
Afrika	593 – 676	137 – 155	0,5 – 0,6	708 – 838	163 – 193	0,5 – 0,6
Sred. istok i juž. Azija	1 241 – 1 391	310 – 348	0,7 – 0,8	1 518 – 1 759	379 – 440	0,7 – 0,9
jugoistočna Azija i Pacifik	743 – 832	179 – 201	1,7 – 1,9	917 – 1 062	222 – 256	2,0 – 2,3
Daleki istok	3 334 – 3 899	750 – 876	1,8 – 2,1	3 837 – 4 698	863 – 1 056	2,0 – 2,4
svijet	16 994 – 19 459	4 080 – 4 670	2,3 – 2,7	19 014 – 22 681	4 568 – 5 432	2,4 – 2,9

zati s prognozama u budućoj potrošnji električne energije. Dakako da upravo te prognoze imaju primarno značenje za planiranje gradnje elektroenergetskih objekata i predviđanja njihova utjecaja na okoliš. Jedna od takvih prognoza, publicirana 1994. godine [5], dana je tablicom 9.

Prognoza potrošnje energije po skupiname zemalja u svijetu vezana je dakako uz potrošnju primarne energije putem dva dodatna pokazatelja: Udjela primarne energije koja se troši na proizvodnju električne energije i efikasnosti pretvorbe toplinske energije iz fosilnih i nuklearnih goriva u električnu energiju. Kada pak povezujemo potrošnju električne energije s društvenim proizvodom, trebe uzeti u obzir da se pri povećanju društvenog proizvoda relativno povećava udio električne energije u vrijednosti proizvoda, ali da se pri tome povećava i efikasnost korištenja električne energije u industriji. To se odražava manjom elastičnosti upotrebe električne energije (sporijim rastom potrošnje električne energije od rasta bruto društvenog proizvoda).

Na temelju iznesenih podataka nedvojbeno slijedi da porast potrošnje električne energije u svim zemljama mora biti brži od porasta potrošnje primarne energije. Takav zaključak slijedi iz činjenice da u svim zemljama raste postotak primarne energije koji se troši za proizvodnju električne energije (tablice 3., 4) i da udio električne energije u vrijednosti proizvoda raste s porastom stupnja mehanizacije i automatizacije proizvodnje. Treba očekivati, dakle, porast tog udjela i u razvijenim zemljama i u zamljama u razvoju. S druge pak strane, smanjenje elastičnosti upotrebe električne energije smanjuje njezinu potrošnju u usporedbi s porastom društvenog proizvoda. Cilj je svakoga gospodarstva povećati društveni proizvod uz što manje povećanje utrošene energije.

Na temelju analiza mogućeg razvoja potrošnje primarne energije i ostalih opisanih pokazatelja koji uvjetuju potrošnju električne energije, došlo se je do globalne dugoročne prognoze u potrošnji električne energije u prvoj polovici idućeg stoljeća.

Tablica 9. pokazuje očekivani porast potrošnje električne energije u razdoblju 1993 – 2015. Prema procjeni [5] čiji su rezultati dani u tablici potrošnja električne energije u svijetu od 1993. do 2015. porasti će s oko 11 948TWh u 1993. godini na 19 014 do 22 681 TWh u 2015. godini. I u porastu potrošnje električne energije očekuje se padajući trend. Prosječna ostvarena stopa porasta potrošnje električne energije u svijetu između 1974. i 1993. godine iznostila je oko 3,8%. U idućem razdobljuod 1993. do 2015. predviđeno je smanjenje te stope na 2,1% do 2,9%.

Ako nas zanimaju još dugoročnije prognoze (u elektroenergetici je to značajno jer je kod elektroenergetskih objekata razdoblja od prve studijske razrade koncepcije objekta do završetka njegova komercijalnog pogona proteže na 40 pa i više godina), trebamo računati s daljim smanjivanjem stope rasta potrošnje. Općenito je, naime, pravilo da stopa rasta potrošnje pada s porastom konzuma. Ako nas interesira razdoblje 2050. godine i ako uzmemo konzevativno da će se u razdoblju 2015 – 2020. prosječna stopa rasta potrošnje električne energije u svijetu kretati između samo 1,3 i 1,5% godišnje, trebalo bi računati s potrošnjom električne energije na kraju navedenog razdoblja od 29 880 do 39 100 TWh godišnje, što je porast oko tri puta u usporedbi s 1993. godinom. Ako tu potrošnju električne energije u 2050. godini usporedimo s navedenom predviđenom potrošnjom primarne energije u istoj godini od cca 14 – 14,5 Gtoe, dobivamo (računajući s potrošnjom električne energije oko 30 000 Twh i stupnjem učinkovitosti konverzije toplinske energije u električnu od 37,5%) udio primarne energije koja se troši na proizvodnju električne energije od oko 48% što bi u skladu s tablicama 2. i 3. do godine 2050. moglo biti ostvareno. Visina električnog konzuma u svijetu oko 2050. godine prema prognozi Edena [1] približno je 35 000 TWh, što je blisko prije navedenim vrijednostima.

Prognoza potrošnje energije u Hrvatskoj

Dugoročna prognoza razvoja energetike u Hrvatskoj izrađena je u Energetskom institutu »Hrvoje Požar« u Zagrebu [12]. Navest ćemo najbitnije rezultate ove studije i usporediti ih s navedenim prognozama razvoja energetike po grupacijama zemalja svijeta.

U sklopu analize prognozirana je potrošnja finalne energije kod potrošača, što uključuje električnu i toplinsku energiju. Nije kao u prije navedenim tablicama računano s primarnom energijom, tj. s energijom koja djelomično služi potrošačima direktno, a dijelom se koristi za proizvodnju električne energije. Da bismo radi usporedbe rezultata došli do dijela primarne energije koji služi za proizvodnju električne energiju, moramo energetski ekvivalent električne energije dijeliti s prosječnim stupnjem djelovanja konverzije toplinske u električnu energiju. Pri tome moramo uzeti u obzir strukturu energetskih izvora (termoizvori i hidroizvori). Ako približnom računicom uzmemo da će udio termoizvora u proizvodnji energije u Hrvatskoj u idućih 20 godina biti oko 70% i da je prosječna učinkovitost pretvorbe toplinske energije u električnu energiju 35%, faktor pretvorbe električne energije u primarnu energiju jest oko 2,3. Pri prognoziranju uzet je u obzir znatan pad potrošnje energije nakon 1990. godine zbog ratnih prilika. Prema studiji, ostvarena potrošnja finalne energije u Hrvatskoj u visini 6,38 Mtoe u 1990. godini svela se na samo 4,28 Mtoe u 1993. godini. Uz pretpostavku da je 1993. godina bila posljednja godina koju je obilježio pad proizvodnje i pad potrošnje energije, planirani porast potrošnje počinje od 1994. godine. Uz takvu pretpostavku, a na temelju analize potrošnje energije u osnovnim sektorima (industrija, usluge, domaćinstva), planiralo se kretanje potrošnje primarne i električne energije u Hrvatskoj u 2000. i 2010. godini. Rezultati prognoze su dani u tablici 10.

Prosječna stopa rasta potrošnje primarne energije u razdoblju 1994 – 2015. prema tablici 10. bi bila oko 3,6%, a električne energije oko 3,9%. Ako zanemarimo utjecaj ratnih prilika i pad potrošnje energije u razdoblju 1991 – 1993. te promatramo prognozirani prosječni porast potrošnje energije za cijelo razdob-

Tablica 10. Prognoza potrošnje primarne i električne energije u Hrvatskoj do godine 2010.

Godina	1993.	2000.	2010.
potrošnja toplinske energije Mtoe	3,46	5,13	5,93
potrošnja električne energije TWh	11,68	16,52	22,2
relativno povećanje bruto društvenog proizvoda (1993 = 100%)	100	200	300
energetski ekvivalent potrošene električne energije Mtoe	2,31	3,23	4,41
potrošnja primarne energije Mtoe	5,77	8,36	10,34
potrošnja primarne energije po stanovniku toe/stan.	1,.23	1,72	2,06
potrošnja električne energije po stanovniku MWh/stan	2,5	3,4	4,4
postotak primarne energije utrošen za proizvodnju električne energije	40,0	38,6	42,6

lje 1990 – 2010. godine (potrošnja primarne energije u 1990. godini iznosila je oko 8,3 Mtoe, a električne energije 15,5 TWH), tada bi prosječna stopa porasta potrošnje primarne energije bila oko 1,1% godišnje, a porast potrošnje električne energije 1,8% godišnje. Naime, pri promatranju samo razvoja potrošnje iza 1993. god. bi prognozirane stope porasta potrošnje primarne i električne energije bile podjednake, što odudara od iskustva drugih zemalja (razlog je vjerojatno u činjenici da je zbog pada proizvodnje u industriji i smanjenog transporta pad potrošnje toplinske energije bio veći od pada potrošnje električne energije, kod koje veliki doprinos potrošnji daju domaćinstva), gdje je bez izuzetka stopa porasta potrošnje električne energije bitno viša od stope porasta potrošnje primarne energije.

Korisno je usporediti prognoziranu potrošnju energije u Hrvatskoj u razdoblju 1993 – 2010. s predviđenom prosječnom potrošnjom primarne i električne energije u zemljama zapadne i istočne Europe. Usporedbu sadrži tablica 11.

Tablica 11. Usporedba pokazatelja u prognozi razvoja energetike Hrvatske s predviđenim prosjekom zemalja zapadne i istočne Europe

	Hrvatska	Zap. Europa	Ist. Europa
Potrošnja primarne energije po stanovniku toe/stan.			
1993. god.	1,23	3,54	3,74
2000. god.	1,72	3,56 – 3,58	3,70 – 3,75
2010. god.	2,06	3,61 – 3,68	3,63 – 3,80
Prosječne stopa rasta potrošnje primarne energije u razdoblju 1993 – 2000., %/god.	3,8	0,6	0,3
Potrošnja električne energije po stanovniku MWh/stan.			
1993. god.	2,5	5,8	4,3
2000. god.	3,4	5,9 – 6,1	4,7 – 5,0
2010. god.	4,4	6,6 – 7,2	5,1 – 6,0
Prosječna stopa rasta potrošnje električne energije u razdoblju 1993 – 2010., %/god.	3,9	1,2 – 1,8	1,3 – 2,3

Iz tablice 11. proizlazi da bi prema opisanoj prognozi potrošnja električne energije po stanovniku u Hrvatskoj 2010. godine bila 73% do 86% prosječne potrošnje električne energije po stanovniku u istočnoj Europi ili 61% do 66% prosječne potrošnje električne energije po stanovniku u zapadnoj Europi. Planirana prosječna stopa rasta bruto društvenog proizvoda u Hrvatskoj u razmatranom je razdoblju oko 6,7%. Uz tolik porast društvenog proizvoda faktor elastičnosti uporabe električne energije u razdoblju 1993 – 2010. iznisio bi 3,9/6,7 = 0,58, što je, na temelju iskustva drugih zemalja, za zemlju na ovom stupnju razvoja prenisko.

Da bismo se do godine 2010. mogli približiti europskom prosjeku (po potrošnji energije, a time i gospodarstvenom razvoju), trebalo bi planirati potrošnju električne energije u Hrvatskoj u 2010. godino do barem 25 TWh, a ukupnu energiju od približno 11 – 12 Mtoe. Potrošnja električne energije od 25 TWh u 2010. godini odgovarala bi prosječnoj stopi porasta potrošnje električne energije u razdoblju 1993 – 2010. od 4,6%. To bi, ako uzmemo da elastičnost uporabe električne energije u tom periodu ne bi mogla biti manja od 0,8 (uzevši u obzir racionalnost potrošnje električne energije u našoj industriji), značilo da porast bruto društvenog proizvoda u prosjeku neće moći biti viši od 5,7% godišnje. Niže od toga za navedeno razdoblje ne bi trebalo planirati jer se u idućim godinama predviđa porast društvenog proizvoda 7% godišnje. Ako dodatno tomu uzmemo da na energetski objekti redovito kasne s puštanjem u pogon i da treba računati s mogućim kvarovima i zamjenama postojećih elektrana, nerealno nisko planiranje porasta potrošnje električne energije moglo bi postati kočnicom razvoja.

2. UPORABA I RASPOLOŽIVOST ENERGENATA

Temeljni uvjet za razvoj energetike jest, dakako, raspoloživost energenata i njihova prihvatljivost s aspekta utjecaja na okoliš i cijene.

Raspoloživost energenata u svjetskim okvirima i uvjeti njihove nabave bitan su činitelj u planiranju razvoja i naše energetike. Osvrnut ćemo se stoga samo na neke bitnije aspekte tog pitanja.

Pogledajmo najprije kako su pojedini energenti sudjelovali u podmirenju potreba za energijom po grupacijama zemalja svijeta u 1993. godini [5].

Iz tablice se razabire da u 1993. godini najveći udio u podmirenju svijeta s primarnom energijom daju tekuća goriva (35,6%), zatim kruta goriva (31,1%) i plinovita goriva (22%). Ostatak s podjednakim udjelom pokrivaju hidroizvori i nuklearna energija. Aditivni izvori energije pokrivaju samo oko 0,1% potrošnje energije.

Od interesa je u istim grupacijama zemalja razmotriti količinu i udio pojedinih energenata za proizvodnju električne energije. Na temelju podataka iz istog izvora [5] sastavljena je tablica 13.

Tablica 12. Uporaba energenata za dobivanje primarne energije po skupinama zemalja u 1993. godini

	Kruta goriva		Tekuća goriva		Plinovita goriva		Hidro-energija		Nuklearna energija		Aditivni izvori(*)		Ukupno	
	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%
Sj. Amerika	0,522	23,4	0,811	36,4	0,594	26,7	0,139	5,9	0,166	7,4	0,004	0,17	2,228	100
Lat. Amerika	0,071	13,2	0,276	51,0	0,091	16,9	0,099	18,2	0,004	0,7	0,001	0,3	0,542	100
Zap. Europa	0,276	20,0	0,647	41,9	0,304	19,7	0,112	7,3	0,175	11,3	0,001	0,1	1,544	100
Ist. Europa	0,442	28,1	0,398	25,3	0,623	39,8	0,057	3,6	0,059	3,7			1,575	100
Afrika	0,220	62,0	0,081	23,0	,038	10,8	0,012	3,6	0,002	0,6		0,02	0,355	100
Bliski istok i južna Azija	0,238	36,0	0,256	38,6	0,140	21,1	0,027	4,1	0,001	0,2			0,663	100
Jugoisto. Azija i Pacifik	0,116	35,2	0,137	41,4	0,064	19,5	0,013	4,0			0,001	0,2	0,331	100
Daleki istok	0,822	52,4	0,529	33,7	0,079	5,0	0,063	4,0	0,076	4,9	0,002	0,1	1,570	100
svijet	2,741	31,1	3,136	35,6	1,940	22,0	0,517	5,9	0,483	5,5	0,009	0,1	8,810	100

(*) Aditivni izvori energije uključuju solarnu energiju, energiju vjetra, geotermalnu energiju, energiju biomasa i male hidroelektrane.

Tablica 13. Količina (Gtoe) i udio (%) energenata potrošenih u 1993. godini za proizvodnju električne energije po skupinama zemalja. Količina energije (Gtoe) i postotak od

	Fosilna goriva*		Hidroenergija		Nuklearna energija		Aditivni izvori		Ukupno	
	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%	Gtoe	%
Sjev. Amerika	0,539	64,03	0,132	15,70	0,166	19,71	0,005	0,57	0,842	100
Lat. Amerika	0,056	35,10	0,099	61,77	0,004	2,22	0,001	0,91	0,160	100
zap. Europa	0,339	53,89	0,113	17,96	0,175	27,88	0,002	0,27	0,628	100
ist. Europa	0,326	73,72	0,057	12,94	0,063	13,34			0,441	100
Afrika	0,063	81,00	0,013	16,21	0,002	2,69		0,1	0,078	100
Srednji istok i južna Azija	0,121	80,82	0,027	18,05	0,001	1,02		0,01	0,150	100
jugoistočna Azija i Pacifik	0,073	84,19	0,013	15,05			0,001	0,77	0,087	100
Daleki istok	0,354	71,55	0,063	12,79	0,076	15,29	0,002	0,36	0,495	100
svijet	1,870	64,94	0,429	17,94	0,401	16,76	0,011	0,37	2,880	100

(*) Fosilna goriva uključuju kruta, tekuća i plinovita goriva.

Iz tablice 13. vidimo da se je u svijetu na proizvodnju električne energije u 1993. godini utrošilo oko 32,7% primarne energije (što odgovara utrošku primarne energije 2,88 Gtoe za proizvodnju električne energije u odnosu na ukupno utrošenu primarnu energiju od 8,81 Gtoe u 1993. godini). Od primarne energije utrošene za tu svrhu najveći dio otpada na proizvodnju električne energije u termoelektranama (oko 65%), dok se ostatak u približno istom omjeru dijeli na proizvodnju električne energije u hidroelektranama i nuklearnim elektranama. Utrošak primarne energije za proizvodnju električne energije u aditivnim izvorima je zanemariv (manji od 0,5%).

Osvrnut ćemo se sada na prognoze pojedinih autora o kretanju potrošnje navedenih energenata do sredine idućeg stoljeća. Podaci su dani za godine 2020. i 2050. [1], [2].

Tablica 14. Prognoza potrošnje energenata za godine 2020. i 2050. (Gtoe)

	2020.			2050.	
	Industrijski razvijene zemlje	Zemlje u razvoju	Svijet	Svijet	
				Scenarij A(**)	Scenarij B(**)
Kruta goriva	1,925-2,314	1,313-1,737	3,238-4,051	8,0	3,0-5,0
Tekuća goriva	1,800-1,970	1,377-1,573	3,177-3,543	3,0	3,0
Plinovita goriva	1,530-1,730	0,468-0,625	1,998-2,355	3,0	3,0
Hidroenergija	0,43-0,480	0,418-0,563	0,848-1,043	1,0	1,0
Nuklearna energija	0,720-0,930	0,100-0,183	0,820-1,113	2,5	0,1-1,5
Aditivni izvori	0,085-0,175	0,085-0,190	1,170-0,365	3,0	0,5-1,5
Nekomerc. energija (*)	0,125-0,160	0,930-1,150	1,055-1,310		
Ukupno	6,650-7,724	4,911-5,801	11,561-13,525	20,5	10,5-15,0

(*) U nekomercijalnu energiju ubraja se drvo, organski otpaci, smeće i sl.
(**) Scenariji potrošnje primarne energije prema Edenu su objašnjeni u komentaru tablice 6.

U diskusiji tablice 8. navedeno je da bi vjerojatni iznosi godišnje potrošnje primarne energije u svijetu sredinom idućeg stoljeća trebalo tražiti na razini približno 14-14,5 Gtoe. Taj iznos je blizak prognozi Edena po scenariju B. Suglasno tome bi, uzevši u obzir podatke u tablici 12, potrošnja krutih goriva od godine 1993. do godine 2050. rasla s 2,7 Gtoe na oko 5,0 Gtoe. Potrošnja tekućega goriva bi se u istom razdoblju nešto smanjila (s 3,14 Gtoe u 1993. godini na oko 3,0 Gtoe u 2050. godini), a potrošnja plinovitih goriva porasla s 1,94 Gtoe na oko 3,0 Gtoe. Predviđa se povećanje proizvodnje energije u hidroelektranama od 0,517 Gtoe u 1993. godine na oko 1,0 Gtoe na kraju razmatranog razdoblja. Najveća nesigurnost u prognozi razvoja energetike u daljnjoj budućnosti jest na području predviđanja razvoja nuklearne energetike i aditivnih izvora energije. Proizvodnja energije u energetskim objektima s tim energentima bi, prema prognozi, u 2050. godini, bila oko 2,0 Gtoe u podjednakom iznosu za oba energetska izvora. Prognoze razvoja tih energetskih izvora još će se komentirati.

Kumulativna potrošnja fosilnih goriva u svijetu u razdoblju 1993-2050. godina na temelju navedenih podataka bila bi:

— kruta goriva 213 Gtoe
— tekuća goriva 171 Gtoe
— plinovita goriva 139 Gtoe.

Nije naodmet usporediti te podatke s podacima o zalihama fosilnih goriva.

Prema podacima Svjetskog savjeta za energiju (World Energy Council) [13] iz 1993. godine utvrđene i perspektivne zalihe fosilnih goriva dane su tablicom 15.

Tablica 15. Zalihe fosilnih goriva u Gtoe

	Utvrđene zalihe	Potencijalne zalihe
Kruta goriva	570	3 400
Tekuća goriva	136,5	200
Plinovita goriva	107	220

Usporedbom podataka iz tablice 15. s predviđenim kumulativnim utroškom fosilnih goriva u razdoblju 1993-2050, vidimo da će se zalihe tekućih i plinovitih goriva potkraj tog razdoblja približiti kraju. U većini zemalja ne planira se gradnja termoelektrana na tekuća goriva, pa će kao osnovni energenti za termoelektrane ostati ugljen i plin. Količine ugljena i nuklearnih goriva za fisijske nuklearne elektrane bit će dovoljne za pokriće potreba energetike u idućem stoljeću, a i duže.

Plin je, posebno s ekološkog stajališta, veoma povoljno gorivo za primjenu u elektroenergetici. Iz danih podataka slijedi da će zalihe pline (uzevši u obzir ne samo utvrđene, nego i perspektivne zalihe) biti u razmatranom razdoblju u znatnoj mjeri utrošene. Iz navedenog se zaključuje da ne bi bilo racionalno planirati gradnju termoelektrana na plin s ulaskom u pogon nakon 2010. godine jer bi u tom slučaju bila problematična njihova opskrba gorivom do kraja životne dobi (30 do 40 godina). To, dakako, vrijedi samo za svjetski prosjek. Neka će područja svijeta ostati prije bez mogućnosti opskrbe plinom, a neka će ga imati duže vrijeme.

Budući da glavninu cijene plinovitog goriva čine transportni troškovi (R. Williams iz Shell-a [15] navodi kao ilustraciju rezultate proračuna koji pokazuje da cijena transporta jednog barela nafte oko svijeta iznosi približno polovicu cijene transporta energetski ekvivalente količine plina plinovodom iz Norveške do sjeverne obale Njemačke), za potrošače plina u Europi mjerodavni su samo izvori na lokacijama s kojih bi cijena transporta mogla biti podnošljiva. Ta su nalazišta navedena u tablici 16 [15].

Tablica 16. Zalihe u nalazištima prirodnog plina koja su dostupna potrošačima u Europi. Količine plina su dane u 10^{12} Nm^3 (=TNm^3)a (1TNm^3 prirodnog plina ≈ 1 Gtoe)

Europa		Afrika		Bliski istok	
Bivši SSSR	53,0	Alžir	3,2	Iran	17,0
Norveška	23,0	Nigerija	2,5	Abu Dabi	5,1
Nizozemska	1,9	Libija	1,2	Saudijska Arabia	5,1
				Katar	4,6
				Irak	3,1
				Kuvajt	1,4

Ukupne zalihe plina u zemljama navedenim u tablici 2.5 su 121 TNm^3, što je komparabilno s procjenom u tablici 15.

Prognoze potrošnje plina u Europi su u posljednih nekoliko godina dramatično porasle. Međunarodna Agencija za energiju (IEA) je 1988. godina procijenila potrošnju plina u Europi u godini 2000. na 275 GNm^3, da bi 1992. godine prognozu potrošnje plina za istu godinu povisila na 370-390 GNm^3. Slično tome, prognoza IEA iz 1991. godine za potrošnju plina u 2010. godini bila je između 450 i 480 GNm^3, da bi već 1993. godine prognoza za tu godinu bila povišena na 485 do 680 GNm^3. Uzrok tome treba tražiti u jačanju političkog utjecaja antinuklearnog lobija koji je u više zemalja doveo do privremenog odustajanja gradnje, pa čak i do zatvaranja nekih nuklearnih elektrana, te u jačanju spoznaje o ekološkoj štetnosti termoelektrana na ugljen.

Povećanje potražnje plina neposredno će utjecati na njegovu cijenu zbog potreba ulaganja u nove plinovode (iz Sibira, Norveške, Irana i Saudijske Arabije) koji dijelom prolaze kroz politički nestabilna područja, te u postrojenja i brodove za transport tekućeg plina (koji se u literaturi često označava kraticom LNG- *Liquid Natural Gas).* Do sada se cijena prirodnog plina vezala za cijenu nafte. U perspektivi će, na temelju sadašnjih procjena, rasti mnogo brže od cijene nafte i ugljena. Prema Prioru [15], za isporuke prirodnog plina nakon 2000. godine nije realno računati s cijenom plina nižom od 4,5 do 5,0 $/GJ (što je praktički dvostruko od današnje cijene plina koja iznosi oko 2,5 $/GJ). Posljednji potpisani ugovor o dugoročnoj isporuci plina između Njemačke i Rusije zasnovan je na cijeni plina od 3,5 $/GJ. Uz cijenu plina od 4,5 $/GJ i stupanj učinkovitosti pretvorbe toplinske u električnu energiju 45% cijena samog goriva u termoelektrani na plin bila bi najma-

Tablica 17. Dugoročna predviđanja raspodjele energenata za proizvodnju električne energije

	1990.	2020.		2050.	
Ograničenje emisije CO_2*		Da	Ne	Da	Ne
Kruta goriva	42%	35%	40%	25%	45%
Tekuća goriva	10%	5%	10%	5%	10%
Plinovita goriva	12%	20%	20%	20%	20%
Hidroenergijas	18%	15%	15%	15%	10%
Aditivni izvori i nuklearna energija	18%	20% – 30%	15%	10% – 50%	10% – 25%

* Ograničenje emisije CO_2 iz termoelektrana uzrokuje smanjenje potrošnje krutih i tekućih goriva, a ne utječu na potrošnju plina kao goriva.

nje 3,6 UScenti/kWh ne računajući troškove lokalnog transporta, uskladištenja i raznih poreza i doprinosa).

U planiranja razvoja elektroenergetike vrlo su bitne dugoročne prognoze o upotrebi pojedinih energenata za proizvodnju električne energije. Koristeći se predviđanjima Europske zajednice, Beck [13] iznosi prognozu danu tablicom 17.

Ako uzmemo u obzir prognozu potrošnje električne energije prema tablici 9, kao i navedene komentare uz tu tablicu, gdje je rečeno da bi u 2050. godini trebalo računati s potrošnjom električne energije u svijetu od oko 35 000 TWh, što je gotovo trostruko od potrošnje u 1993. (11 948 TWh), kumulativna proizvodnja električne energije u termoelektranama s plinom kao gorivom u razdoblju 1993 – 2050. godine (uzimajući udjele plina u proizvodnji električne energije prema tablici 17) bi iznosila oko 200 000 TWh, čemu odgovara potrošnja plina u termoelektranama od oko 42 Gtoe (što odgovara oko 30% od prije navedene kumulativne potrošnje plina u razdoblju 1993 – 2050).

Udio hidroenergije u opskrbi elektroenergetskoga konzuma dugoročno gledano opada. Maksimalna količina energije iz hidroelektrana je, prema tablici 14 na razini od oko 1 Gtoe godišnje, a ta se razina dosiže već oko 2020. godine.

Na temelju već iznesenoga gledišta o iscrpljenju zaliha plinovitih goriva u prvoj polovici idućeg stoljeća, nije realno očekivati da će udio tog energenta u proizvodnji električne energije ostati 20%, dakle neizmijenjen od godine 2020. do godine 2050, kao što to pokazuje tablica 17. Potrošnja električne energije u tom će razdoblju porasti za oko 75% (s oko 20 000 TWh na 35 000 TWh). Budući da apsolutna godišnja potrošnja plina neće u tom razdoblju, moći rasti (čak je vjerojatnije da će padati), to će udio plina u proizvodnji električne energije biti u godini 2050. niži nego 2020. i kretat će se između 10% i 15%. Znači da će udio ugljena, nuklearne energije i aditivnih energetskih izvora u proizvodnji electične energije morati biti za odgovarajući iznos veći.

Iz rečenoga slijedi da gradnju energetskih objekata nakon drugog ili trećeg desetljeća idućeg stoljeća treba idućeg stoljeća treba u najvećoj mjeri temeljiti na korištenju ugljena, nuklearne energije i aditivnih izvora energije.

Prognoze koje pokušavaju kvantificirati značenje tih triju izvora u podmirenju potreba buduće energetike uvelike ovise o osobnom gledaju analitičara ili naručilaca studija. Pri tome se kao bitan ograničavajući faktor za širu upotrebu ugljena uzima predvidivo ograničenje emisije štetnih sastojaka u dimnim plinovima, posebno CO_2, a za nuklearne elektrane nepovoljan stav javnosti i još uvijek dijelom otvorena pitanja dugoročnog spremanja radioaktivnog otpada i proliferacije nuklearnih materijala.

Iz tablice 17. i naredne diskusije slijedi da bi se, uz uvjet da se ograniči emisija CO_2, udio termoelektrana na ugljen u proizvodnji električne energije 2050. godine trebao svesti na oko 25%.

Termoelektrane na plinovita goriva mogle bi preuzeti najviše 15% proizvodnje električne energije, termoelektrane na tekuća goriva oko 5%, a hidroelektrane 10 – 15%. Preostalih 40% proizvodnje električne energije (čemu odgovara u 2050. godini količina električne energije od oko 14 000 TWh) trebalo bi povjeriti nuklearnim elektranama i aditivnim izvorima energije.

Velika su nepoznanica i tehnički uvjeti iskorištenja i cijena energije iz aditivnih izvora (ti se izvori energije u literaturi obično označuju kao obnovljivi izvori energije). Prognoze o upotrebljivosti tih izvora u energetici variraju u širokom opsegu. Na jednom ekstremu je prognoza Greenpeace International [16] prema kojoj se fosilni i nuklearni izvori energije postupno gase nakon 2020. godine, a aditivni (obnovljivi) izvori postaju do kraja idućeg stoljeća jedini proizvođači energije, a na drugom je predviđanje prema kojem će uloga aditivnih izvora u globalnoj energetici ostati marginalna (podmirenje jedne ili dva posto budućih potreba za energijom). Potporu ovom posljednjem stavu daje činjenica da su usprkos političkoj podršci ulaganja u razvoj aditivnih izvora energije (nakon početne euforije, naročito u SAD sredinom 1970-ih godina) ostala vrlo skromna i da elektroprivredna poduzeća u planiranju svojeg razvoja tim izvorima energije poklanjaju malo značenje. Temeljni razlog takvom trendu jest u činjenici što se radi (kada je riječ o iskorištenju energije sunca i vjetra) o energiji male koncentracije, malog trajanja maksimalne snage koja je uz podložna i znatnim varijacijama zbog promjene prirodnih uvjeta- Sve to rezultira malenim energetskim značajem objekta, posebno ako je izgrađen bez energetskih akumulatora odgovarajućega kapaciteta, a također i visokom cijenom gradnje zbog uporabe relativno velikih količina materijala po jedinici instalirane snage.

U danim činjenicama treba tražiti uzrok vrlo slabe penetracije aditivnih izvora energije u elektroenergetiku, usprkos njihovoj relativno tehnološkoj jednostavnosti i političkoj podršci.

Zbog navedenoga ne čini se opravdanim predvidjeti, čak ni uz priličnu dozu optimizma, granični udio aditivnih izvora energije u podmirenju potrošnje električne energije sredinom idućeg stoljeća na razini višoj od oko 5%, odnosno, suglasno komentaru uz tablice 7. i 8. na razini višoj od oko 0,7 – 0,75 Gtoe godišnje (što je približno 50% više od energije proizvedene u svim hidroelektranama svijeta u 1993. godini).

Pri tolikoj proizvodnji energije iz aditivnih izvora bi, suglasno navedenome, udio nuklearnih elektrana u proizvodnji električne energije sredinom idućeg stoljeća trebalo planirati s oko 35% (oko 12 000 TWh u godini 2050.), što je blizu predviđene proizvodnje električne energije u termoelektranama na kruta fosilna goriva u tom vremenu.

Na temelju iznesenih analiza i komentara izgleda logično računati za sredinu idućeg stoljeća s proizvodnjom električne energije u elektranama prema sljedećoj okvirnoj raspodjeli: Termoelektrane na kruta i plinovita goriva 50%, nuklearne elektrane 35% hidroelektrane i aditivni izvori 15%.

Primjećujemo da provedena analiza pokazuje viši udio termoelektrana i nuklearnih elektrana od prognoze dane u tablici 17. Temeljni razlog tome je u činjenici što prognoza Becka dana tablicom 17. prenaglašava ulogu aditivnih izvora, a podcjenjuje ulogu nuklearnih elektrana i termoelektrana na ugljen u budućoj elektroenergetici.

Ako se zbog ekoloških, ekonomskih ili drugih razloga uspori gradnja bilo kojeg od navedenih izvora energije, njegov udio u pokriću konzuma morat će preuzeti termoelektrane na ugljen ili nuklearne elektrane, jer je povećanje udjela ostalih energetskih izvora ograničeno.

Ne treba, konačno, zaboraviti ni činjenicu da se danas velika sredstva ulažu u razvoj kontrolirane nuklearne fuzije, koja bi sredinom idućeg stoljeća već mogla biti raspoloživa za praktički neograničenu proizvodnju energije.

LITERATURA

[1] EDEN: »Notes on world energy and Electricity to 2050«, IAEA Tec. Doc. — 624, 1991.

[2] J. R. FRISCH: »Word Energy Horizon 2000 – 2020«, IAEA Tec. Doc. — 624, 1991.

[3] J. SUN: »Interactions between Electricity, Energy and the National Economy«, IAEA Tech. Doc. — 624, 1991.

[4] E. BERTHEL: »Driving Factors for Electricity Demand, IAEA Tech. Doc. — 624, 1991.

[5] Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2015, IAEA Ref. Series No. 1, 1994.

[6] V. STIPETIĆ: Population Summit of the World's Scientific Academies, Encyclopedia Moderna 4 (44) 1993.

[7] K. YAMAJI: Role of Electricity in Minimizing Environmental Impact, Proc. Seniour Expert Symp. on Electricity and Environment, Helsinki 1991.

[8] J. van ETTINGER: Sustainable Use of Energy, a Normative Energy Scenario: 1990 – 2050, Energy Policy, **22**, Febr. 1994.

[9] J. SUN: Interactions between Electricity, Energy and National Economy, IAEA Tech. Doc 624 — 1991.

[10] T. ZONGYU: Chinese Imperative: Nuclear Energy to bridge Geographis & Economic Gaps, Nuclear Europe, 11 – 12/1994.

[11] W. TEPLITZ-SEMBITSKY: The LCD Power Sector: A Brief Overview and Global Outlook, IAEA Tech. Doc 624 — 1991.

[12] D. PEŠUT: Razvooj udjela električne energije u ukupnoj potrošnji energije i perspektiva potreba električne energije u Hrvatskoj do 2010. godine. II Simpozij HND, Zagreb, 1994.

[13] P. BECK: Prospect and Strategies for Nuclear Power, Eartscan Publ. Ltd. London, 1994.

[14] R. EDEN: World Energy to 2050, Energy Policy, **21**, March 1993.

[15] M. PRIOR: The supply of gas to Europe, Energy Policy, **22**, June 1994

[16] S. BOYLE: A global free scenario: toward climate stabilization, Energy Policy, **22**, February 1994.

LONG-TERM POWER SUPPLY DEVELOPMENT: FORECASTS; ANALYSIS AND DOUBTS

Primary and electric energy review in the world ands in Croatia is given, as well as the usage and availability of energy resources in the world.

LANGFRISTIGE ENTWICKLUNG DER ENERGIEWIRTSCHAFT: VORHERSAGEN, FORSCHUNGEN, ZWEIFELSFALLE

Gegeben ist sowohl die Übersicht der Primärenergie und der Elektrischen Energie in der Welt und in Kroatien als auch die Nutzung und die Verfügbarkeit der Energieträger in der Welt.

Naslov pisca:

dr. Danilo Feretić
Fakultet elektrotehnike i računarstva
41 000 Zagreb, Unska 3
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-02-16

INDUCIRANI PRENAPONI NA NISKONAPONSKIM SAMONOSIVIM KABELIMA

dr. Milan Puharić, Zagreb

UDK 621.315.2
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U članku se navodi dosadašnji pristup proračunima induciranih prenapona pomoću jednožičnog modela, a nakon toga višežičnim modelom.

Ključne riječi: inducirani prenaponi, vodovi niskog napona.

1. UVOD

Inducirani prenaponi na niskonaponskim nadzemnim vodovima jedan su od najznačajnijih uzroka kvarova kako na samoj mreži, tako i na opremi koju napaja mreža. Zadnjih dvadesetak godina istraživači su bili zaokupljeni pronalaženjem adekvatnog modela kanala groma koji bi simulirao što vjerniji oblik i amplitudu elektromagnetskog polja u odnosu na mjerenja koja su obavljena pri udarcu munje u zemlju. Između raznih modela, Uman-McLainov model prijenosnog voda pokazao se najprihvatljivijim zahvaljujući jednostavnosti [1].

Mehanizam vezanja elektromagnetskog polja zbog udarca groma pored voda s nadzemnim vodom, također se proučavao niz godina. Rješenje za specijalan slučaj dvožičnog voda dao je Taylor [2], a u jednostavnijem obliku Smith [3]. Međutim, to je samo jedna od solucija promatranog problema. U ovom članku prikazat će se frekventni odziv višežičnog voda, na pobudu uzrokovanju elektromagnetskim poljem, što je originalnost u pristupu problemu. Budući da se u članku razmatra samonosivi kabelski snop, koji posjeduje specifičnu konfiguraciju vodiča, prikazat će se neke metode određivanja parametara kabela.

Na kraju će se dati karakteristični primjeri simulacija, kao i usproedba s izvršenim mjerenjima u eksperimentalnoj stanici Saint-Privat-d'Allier u Francuskoj.

2. MODELI KANALA GROMA

Pri stvaranju elektriziranih oblaka događaju se fenomeni preskoka između samih oblaka te između njih i zemlje. Ovi posljednji su za nas zanimljiviji jer je njihov utjecaj na objekte na zemlji mnogo značajniji. Osnovni problem koji se pojavljuje jest korektno modeliranje kanala groma odnosno matematički model koji će dati što vjerniju raspodjelu električnog i magnetskog polja pri udarcu groma pored nadzemnih vodova. Među prvima u svijetu koji je dao teorijski opis stvaranja naboja na vodovima zbog atmosferskih pražnjenja bio je Wagner, 1908 godine. Nakon toga se pojavio niz analitičkih oblika za struju groma, od kojih se Bruceov i Goldeov najčešće koristio [4]. Struja groma dana je exponencijalnim izrazom:

$$i = i_0[e^{(-\alpha t)} - e^{(-\beta t)}] \tag{1}$$

i_0 — uzima se obično srednja vrijednost 30 kA za prva pražnjenja, dok se za daljnja pražnjenja uzima vrijednost 10 kA.

Na bazi eksperimenata sugerira se korištenje vrijednosti:

$$\alpha = 2 \times 10^4 sek^{-1},\ \beta = 2 \times 10^5 sek^{-1}.$$

Na osnovi izraza (1) Bruce i Golde razvili su jednostavan model koji je uvažavajući iznos struje pretpostavljao uniformnu raspodjelu povratnog udara groma (od zemlje prema oblacima). Struja je od čela vala naniže iste amplitude, dok je iznad čela nula. Na slici 1. a) prikazana je raspodjela povratne struje groma za različite visine u kanalu groma.

Međutim, takva raspodjela struje nije fizički realna. Ona predstavlja pojednostavljeno rješenje radi lakšeg proračuna. Zbog toga su Uman i suradnici predložili model nazvan »model prijenosnog voda«. U tom modelu se struja širi od zemlje naviše, duž kanala groma, kao da se radi o idealnom vodu bez gubitaka (slika 1. b). Uzimajući dvostruki ekspoonencijalni oblik struje groma koja putuje brzinom v, imamo:

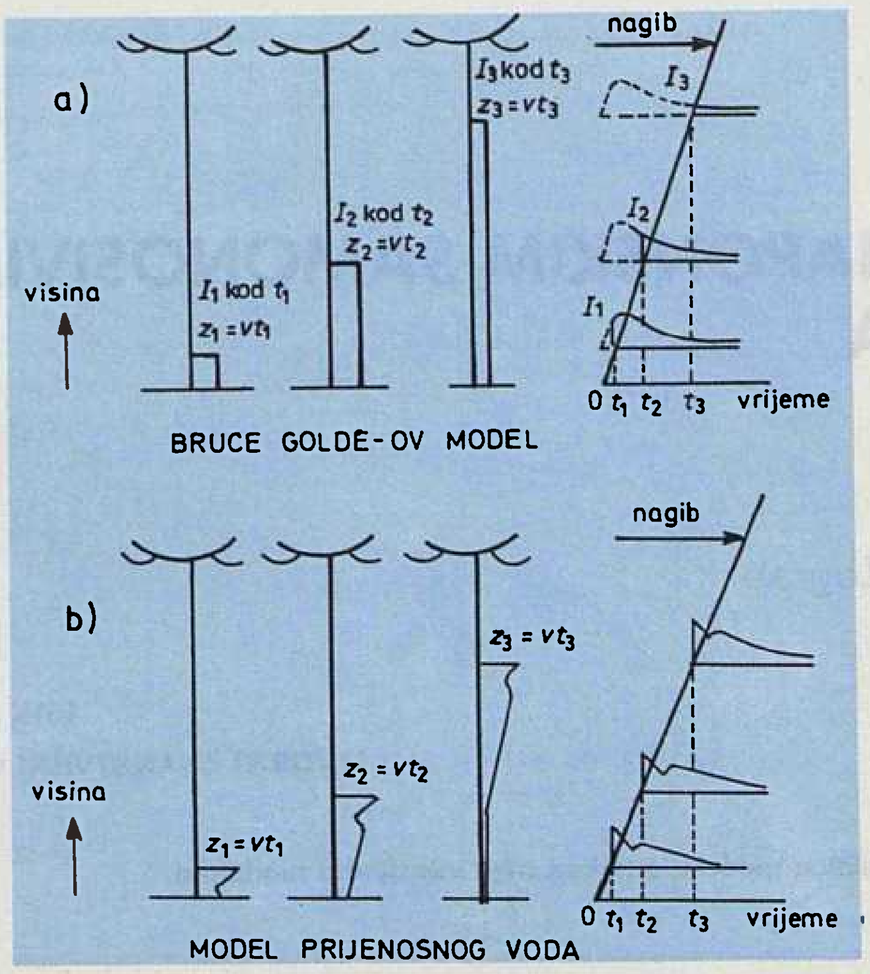
$$i(t) = i(t - h/v) \tag{2}$$

U frekventnom području taj izraz glasi:

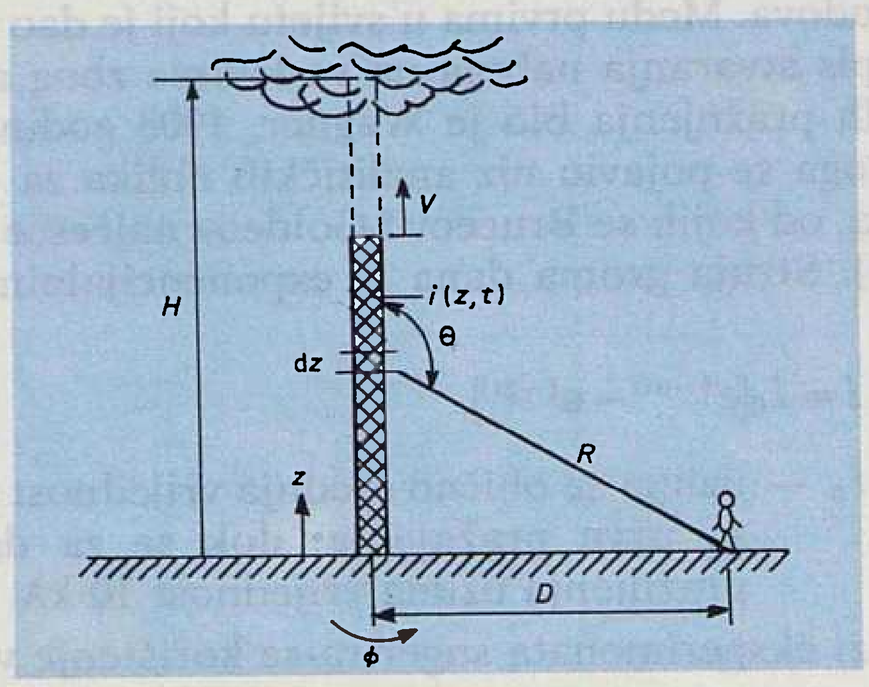
$$I(\omega) = \frac{\beta - \alpha}{(\alpha + j\omega) \cdot (\beta + j\omega)}. \tag{3}$$

Nadalje, da bi se modeliralo elektromagnetsko polje, pretpostavljeno je da se kanal groma ponaša kao vertikalna antena (obično u proračunima visine 7 kilo-

Energija, god. 44 (1995) 2, 83 – 88

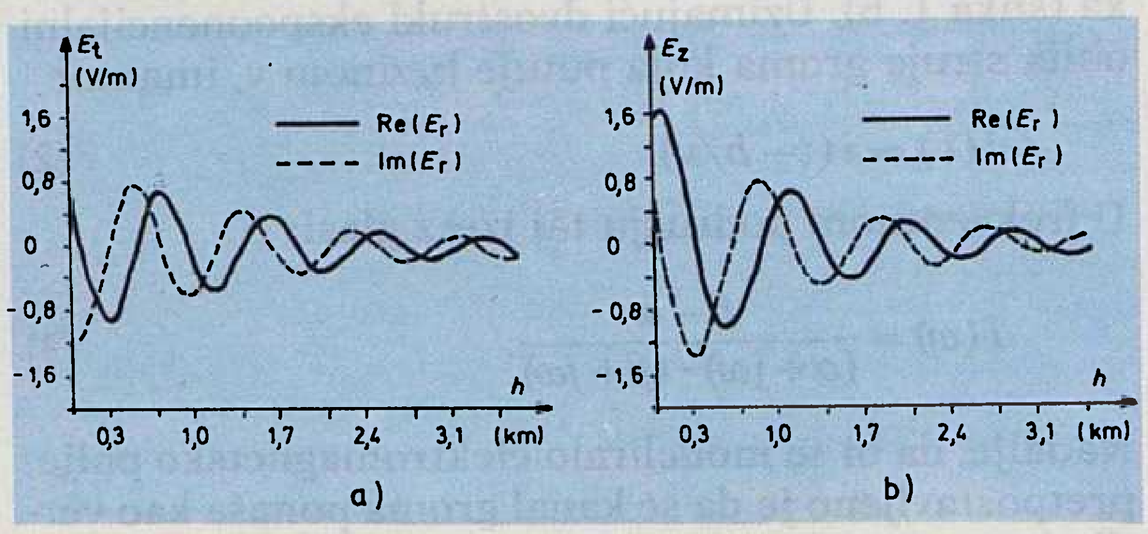


Slika 1.



Slika 2.

metara) (slika 2). Proračun polja obavlja se tako da se sumira doprinos električnih dipola od baze do vrha antene (H na slici), uzimajući brzinu kretanja dipola $1{,}1 \times 10^8$m/sek (ova vrijednsot proizlazi iz niza mjerenja brzine struje groma). Kao što je spomenuto, u jednoj točki prostora, ukupno polje se računa tako da se numerički integrira doprinos svakog dipola od $z=0$ pa do vrha antene. Uzimajući u obzir veliku dužinu područja integracije (7 km), a funkcije koje se integriraju predstavljaju jake oscilacije na visokim frekvencijama, potrebno je interval u kojem se integrira podijeliti na više manjih područja integracije Unutar svakog intervala upotrijebljen je Gauss-Rombergov postupak integracije [5]. Za primjer je na slici 3. prikazana promjena električnog polja dobivena zračenjem dipola na različitim visinama. Polje je dano na udaljenosti 1 km pri frekvenciji od 100 khz.



Slika 3.

3. ODREĐIVANJE PARAMETARA SAMONOSIVOGA KABELA [6]

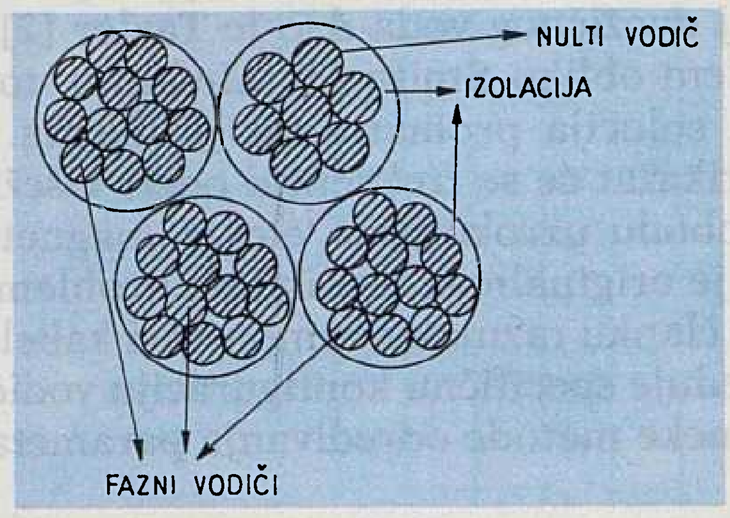
Kod srednjonaponskih i visokonaponskih vodova proračun matrica induktancija i kapaciteta jednostavno se može odrediti iz poznate geometrije vodiča (visine nad zemljom te međusobnih razmaka). Pri tome je potrebno uzeti u obzir sljedeće pretpostavke:

— zrak je bez gubitaka
— radijus vodiča je za red veličine manji od udaljenosti među vodičima

Međutim, u slučaju specifične konfiguracije kakvu posjeduje samonosivi kabel, a to je malena udaljenost vodiča te njihova međusobna prepletenost ne omogućuje nam primjenu klasičnih analitičkih izraza za proračun kapaciteta i induktiviteta (slika 4). Upotreba tih formula je limitirana zbog pojave skin-efekta te efekta blizine među vodičima. U literaturi [7] koristile su se sljedeće metode proračuna parametara kabela:

— metoda konačnih elemenata
— mjerenja na realnom vodu
— eksperimentalno određivanje kapaciteta i induktiviteta.

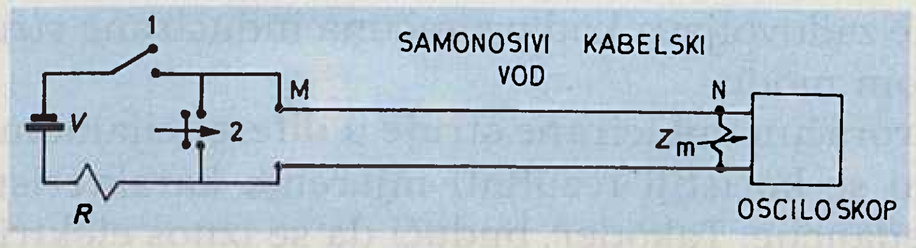
U ovom se članku nećemo potanko osvrtati na navedene metode, već ćemo ih ukratko opisati dajući njihove osnovne značajke.



Slika 4.

Metoda konačnih elemenata vrlo je moćan alat pri proračunu parametara kabela. Obično se vodič sastavljen od više segmenata, radi pojednostavnjenja, modelira kao ekvivalentan puni vodič. Pri simulaciji dobivaju se vrijednosti otpora i induktiviteta za razne frekvencije, s time da se u području atmosferskih prenapona, a koje nas zanima, kao osnovna frekvencija uzima 400 – 500 khz. Potrebno je napomenuti da je ova frekvencija i limitirajuća glede točnosti proračuna parametara s obzirom na to da za više frekvencije metoda konačnih elemenata nije primjenljiva.

Metoda koja se niz godina koristila u francuskoj elektroprivredi — EDF opisana je na slici 5, a vršena



Slika 5.

je na 270 metara dugom eksperimentalnom samonosivom kabelskom vodu. Procedura mjerenja je sljedeća:

Kabel se nabije preko istosmjernog izvora (sklopka 1 zatvorena a sklopka 2 otvorena), zatim se otvori sklopka 1 a zatvori sklopka 2. Ovom se manipulacijom kratko spoji lijevi kraj voda (označeno na slici sa M), čime se stvara step signal koja putuje prema drugom kraju voda (N). Podešavajući promjenljivu impedanciju Zm na takav način da se postigne poništenje refleksije dolaznog vala (što se registrira na priključenom osciloskopu), dobije se vrijednost karakteristične impedancije voda. Pri opisanim mjerenjima potrebno je odrediti sve modalne karakteristične impedancije:

— nultu
— između dva vodiča
— impedancija koja rezultira injektiranjem struje u jedan i povratom kroz preostala tri vodiča
— impedancija koja rezultira injektiranjem struje kroz dva te povratom kroz preostala dva vodiča.

Konačno, treća metoda sastoji se u određivanju matrica impedancija i admitancija voda mjerenjem struja i napona, uz poznatu duljinu kabela [8]. Mjerenja se obavljaju na specijalno konstruiranoj metalnoj poloči iznad koje je položen kabel.

Navođenje svih ovih metoda bilo je potrebno da bi se istaknula važnost točnog određivanja parametara na visokim frekvencijama, kada klasične metode daju nedovoljno precizne vrijednosti. Ova je činjenica posebno važna kada se proračunava inducirani prenapon u tzv. diferencijalnom modu odnosno kada se relativno slabi prenapon koji nije u mogućnosti slomiti izolaciju voda širi između vodiča prema opremi na njezinu kraju. U slučaju osjetljive elektronike ovaj je signal često dovoljan da izazove neugodne kvarove.

4. INDUKCIJA STRUJE NA NADZEMNOM VODU PRI UDARCU GROMA

Strogo gledajući ovaj se problem rješava koristeći se teorijom antena, što dovodi do integralnih jednadžbi koje se numerički računaju metodom momenata. Međutim, takav postupak je vrlo dugotrajan, pogotovo kada je riječ o vodovima većih duljina, što je redovito slučaj kod nadzemnih vodova. Stoga se radije koristi teorija vodova, koja je bolje prilagođena za ovaj tip problema. Treba napomenuti da je potrebno zadovoljiti hipotezu da je visina voda manja od najmanje valne duljine koja se pojavljuje u visokofrekventnom spektru struje groma. Zbog toga smo se i mi koristili formalizmom teorije vodova, uz naglasak da je pri proračunu polja uračunata konačna vodljivost zemlje. Da bi se izbjeglo komplicirano i dugotrajno računanje Sommerfeldovih integrala, koji se pojavljuju pri proračunu zračenja dipola iznad zemlje, korištene su pojednostavnjene formule što ih je dao Norton [12].

Na slici 6. prikazana je shema nadzemnog voda s završnim impedancijama, te električno polje koje se pod određenim kutom širi prema njemu. Horizontalna se komponenta polja veže s vodičima, dok se vertikalna komponenta veže s okomitim završecima — impedancijama. Važno je napomenuti da zanemarivanje »vertikalne indukcije« električnog polja može voditi pogrešnim rezultatima, osobito pri visokim frekvencijama. Izraz za struju na jednom od ekstremiteta voda dan je sljedećom relacijom u frekventnoj domeni [3].

$$I(0,\omega)=\frac{2}{D}\int_0^s K(z,\omega)\,[Z_c \mathrm{ch}\gamma(s-z)+Z_L \mathrm{sh}\gamma(s-z)]\,\mathrm{d}z \tag{4}$$

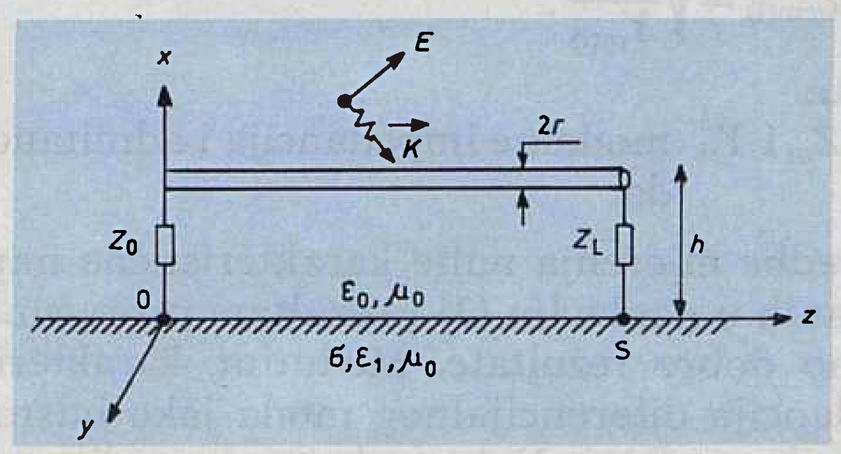
$$+\frac{2}{D}[Z_c\,\mathrm{ch}\gamma s+Z_L\,\mathrm{sh}\gamma s]\int_0^h E_x^i$$

$$(x,0,\omega)\,\mathrm{d}x-\frac{2\,Z_c}{D}\int_0^h E_x^i\,(x,s,\omega)\,\mathrm{d}x$$

gdje su

Z_c — karakteristična impedancija voda
$K(z,\omega)=E_z^i\,(h,z,\omega)-E_x^i\,(0,z,\omega)$
$D=(Z_c\,Z_0+Z_c\,Z_L)\;\mathrm{ch}\gamma s+(Z_c^2+Z_0\,Z_L)\,\mathrm{sh}\gamma s$
$E_z^i\,(h,z,\omega)$ — polje u smjeru osi z, na vodiču $(x=h)$
$E_x^i\,(x,0,\omega)$ — polje u smjeru osi x, na lijevoj impedenciji
$E_x^i\,(x,s,\omega)$ — polje u smjeru osi x, na desnoj impedanciji
$\omega=\alpha+j\beta$ — konstanta širenja ekvivalentnog voda.

Primjećuje se da u jednadžbi (4) nema izvora magnetskog polja, što proizlazi iz formalizma koji je također primijenio Agrawal [5]. Ovakva formulacija zahtijeva znatno manje vremena za proračun od one kada se pojavljuju i magnetski izvori.



Slika 6.

Koristeći se teorijom svojstvenih vrijednosti, možemo diferencijalne jednadžbe drugog reda za napone i struje dane u faznim veličinama transformirati u modalne vrijednosti. Na taj se način sustav M faznih prijenosnih jednadžbi pretvara u sustav od M neovisnih jednadžbi, gdje su naponi i struje dani u takozvanim modalnim vrijednostima. U programu je koriš-

ten potprogram »EISPACK« iz matematičke biblioteke u kojem su svojstvene vrijednosti i svojstveni vektori kompleksne gornje Hessenbergove matrice računati pomoću modificirane LR metode po Rutishauseru.

Prema tome izraz (4) može se koristiti zasebno za svaki mod ovisno o tome zanima li nas struja koja se zatvara kroz zemlju (nulti mod) ili struja između vodiča (diferencijalni ili međufazni mod).

Proračun parametara voda načinjen je računajući da zemlja ima konačan specifični otpor. Pri proračunu impedancije potrebno je uzeti u obzir ovisnost otpora i induktiviteta o frekvenciji (admitancija, odnosno kapacitet se u frekventnom spektru struje groma uzimaju konstantni). U ovom radu se nisu koristili Carsonovi korekcioni faktori za proračun otpora i induktiviteta (11), već je upotrijebljena formulacija Dubantona koja koristi tzv. kompleksnu ravninu za povrat struja kroz zemlju (10). Vlastita impedancija i međuimpedancija računate su prema izrazima:

$$Z_{ii} = R + j\left(\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2(h_i + p)}{r_i} + x_i\right) \tag{5}$$

$$Z_{ik} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{(h_i + h_k + 2p) + x_{ik}^2}}{d_{ik}}, \tag{6}$$

gdje su:

R_i — unutarnji otpor vodiča i
x_i — unutrašnja reaktancija vodiča i
h_i, t_i — visina i radijus vodiča i
d_{ik} — udaljenost između i-tpg i k-tog vodiča.

Kompleksna dubina prodiranja p je dana izrazom:

$$p = \sqrt{\frac{\delta}{j\omega\mu_0}} \tag{7}$$

U izrazu (7) δ je specifični otpor tla.

Izraz (5) i (6) su jednostavni za upotrebu, to više što izbjegavamo korištenje Carsonovih redova koji, štro je viša frekvencija, trebaju imati više članova, uz vrlo sporu konvergenciju.

Karakteristična impedancija računa se za svaki mod:

$$Z_{cm(i)} = \sqrt{\frac{Z_{m(i)}}{Y_{m(i)}}}, \tag{8}$$

gdje su:

Z_m i Y_m modalne impedancija i admitancija voda.

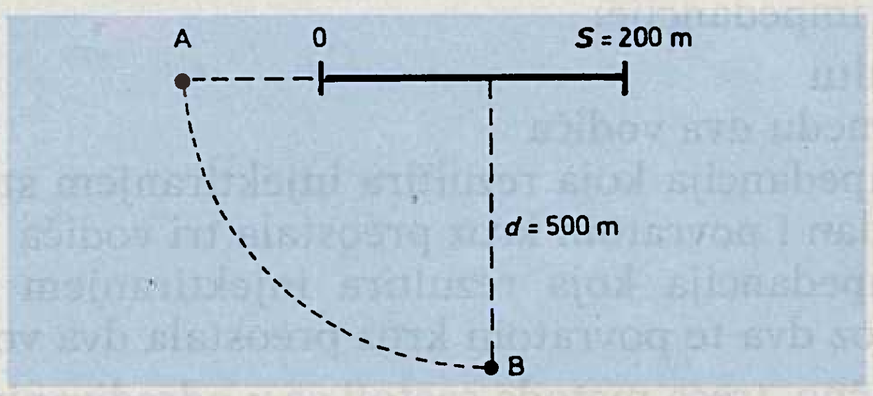
Usporedbe mjerenja nulte karakteristične impedancije danih u poglavlju (3) i rezultata proračuna daju prilično dobre rezultate. Međutim, karakteristična impedancija diferencijalnog moda jako odstupa od mjerenih rezultata. Naime, zbog vrlo malih razmaka među vodičima postupak dijagonaliziranja ovakvih matrica impedancija i admitancija daje pogrešne rezultate.

Pokazalo se da se vrlo dobar rezultat dobije ako se samonosivi četverožilni kabel nadomjesti jednim vodičem s ekvivalentnim dijametrom $\sqrt[4]{8\Phi D}$, gdje je Φ dijametar vodiča a D srednja geometrijska udaljenost između vodiča. Time se dobije ekvivalent jednožičnog voda s većim radijusom. Ovakvo pojednostavljenje zadovoljava kod proračuna inducirane struje u nultom modu.

Za proračun inducirane struje u diferencijalnom modu su se koristili rezultati mjerenja karakteristične impedancije. Također, budući da se iznos električnih polja na vodičima malo razlikuju u izrazu (4), električni izvori predstavljaju diferenciju polja između dvaju vodiča. Rezultati proračuna dati će se sljedećem poglavlju.

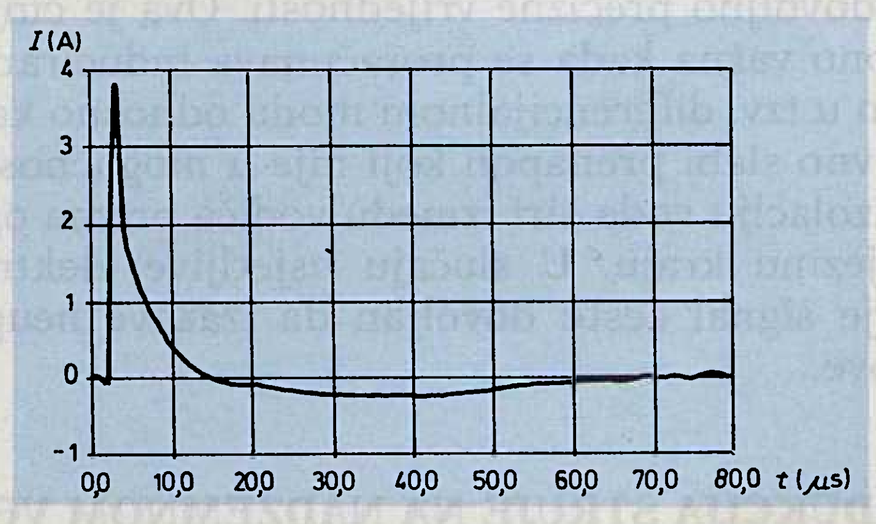
5. PRIMJERI SIMULACIJA I USPOREDBA S EKSPERIMENTALNIM REZULTATIMA

U ovom poglavlju dati ćemo neke karakteristične dijagrame dobivene pri simulaciji udaraca gromova pored nadzemnog niskonaponskog voda. Izabrali smo dvije tipične situacije koje su prikazane na slici 7. Pri simulacijama odabrana je struja groma 10 kA, a specifični otpor tla 100 Ωm. Visina vodiča iznad zemlje je 6 metara [8].

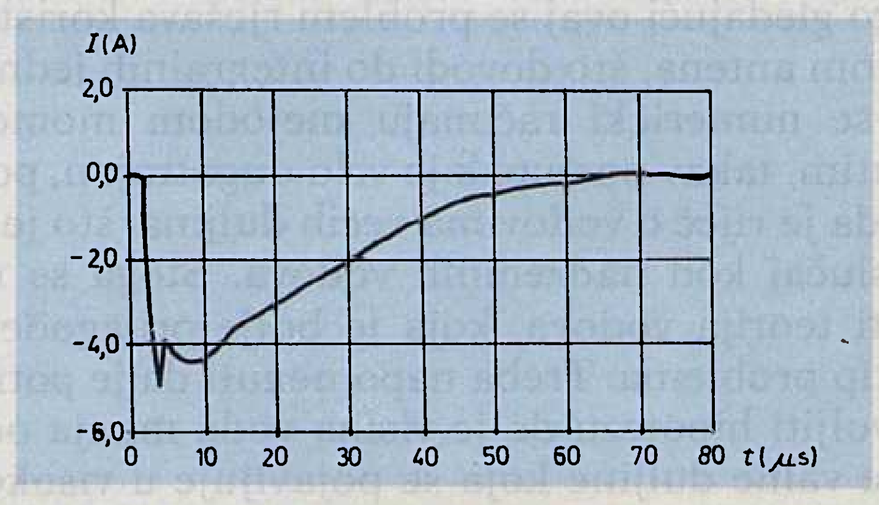


Slika 7. Karakteristične situacije udarca groma

Na slici 8. prikazana je struja inducirana na vertikalnom elementu za udarac groma u točku A. Oblik struje je sličan vertikalnoj komponenti električnog polja. Slika 9. daje krivulju struje prilikom udarca



Slika 8. Udarac u točku A, električna veza s okomitim elementima

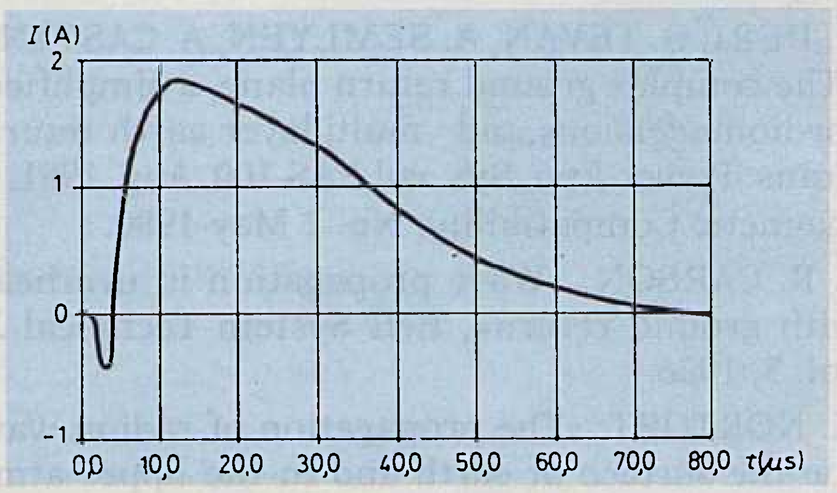


Slika 9. Udarac u točku B, električna veza s okomitim elementima

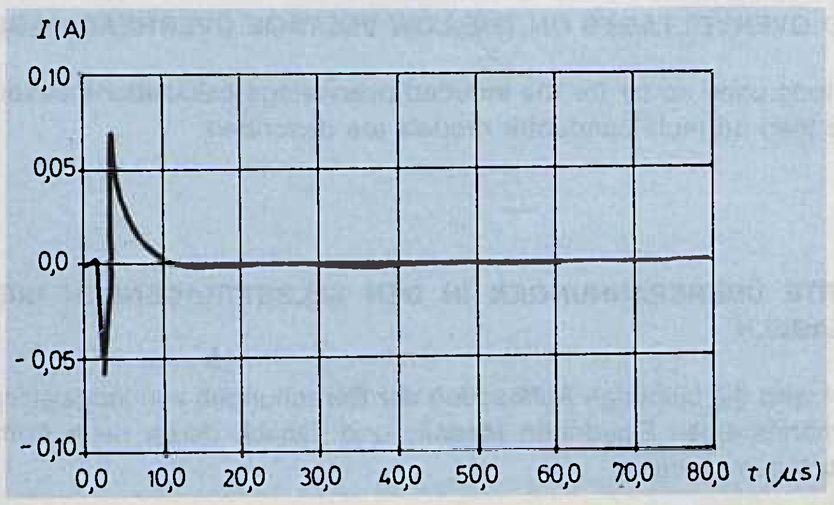
Energija, god. 44 (1995) 2, 83 – 88

groma u točku B. Budući da je točka simetrična s obzirom na vod, polje će u istom trenutku dosegnuti njegove ekstremitete. Nakon toga će inducirani strujni val jednoga kraja putovati vodom i za vrijeme s/v stići na drugi (promatrani) kraj voda. Na dijagramu se lijepo vidi da se poslije maksimuma struje poništavaju komponente obiju stranu voda, naime struja se kreće oko vrijednosti nula.

Sada ćemo razmatrati vezanje horizontalne komponente električnog polja s horizontalnim dijelom voda. Na slici 10. prikazana je inducirana struja kod simulacije udarca u točku A, pri čemu će vod viti postupno ozračen od jednog do drugog kraja. Forma struje slična je horizontalnoj komponenti horizontalnoga električnog polja. Pri udarcu groma u poziciju B dolazi do poništavanja induciranih struja lijeve i desne strane voda. Rezultat je da je struja poslije desetak mikrosekundi približno nuli (slika 11).



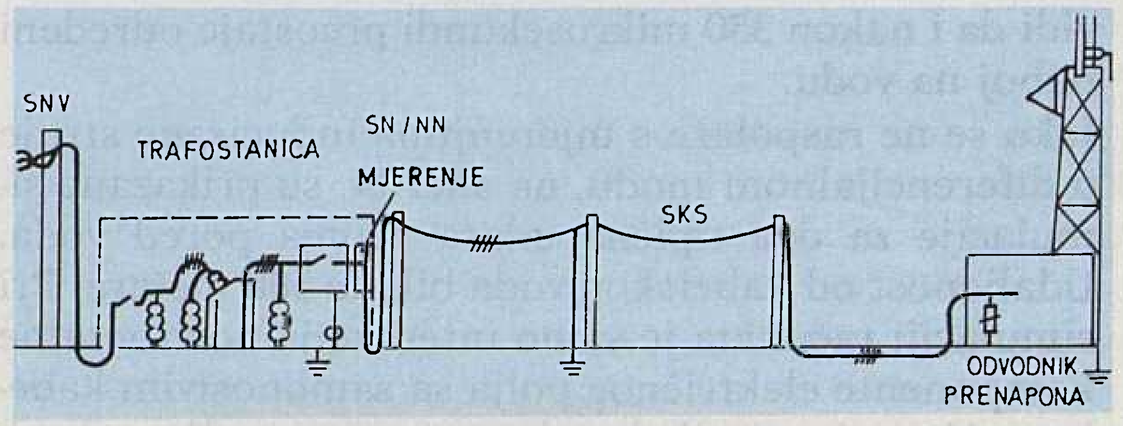
Slika 10. Udarac u točku A, električna veza s horizontalnim elementima voda



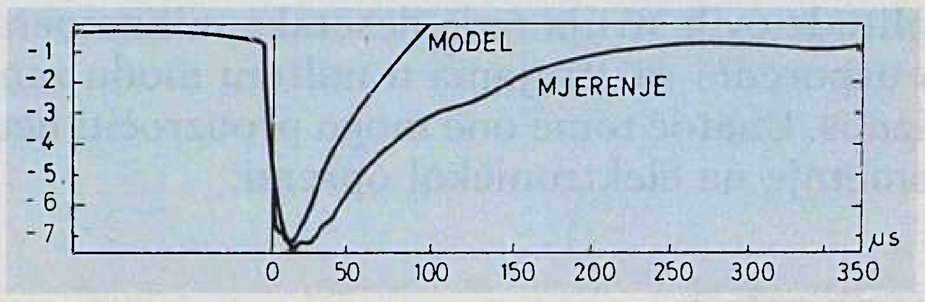
Slika 11. Udarac u točku B, električna veza s horizontalnim elementima voda

Eksperimentalna mjerenje provedena su u Saint-Privat-d'Allieru u Francuskoj, smještena u Centralnom masivu, regiji s visokim izokerauničkim nivoom. Poligon je opremljen rampom za lansiranje raketa koje se usmjeravaju prema olujnim oblacima. Rakete imaju namot tanke žice koji se postupno odmotava pri putovanju prema oblacima. Na taj se način izazivaju udarci groma koji se zatim registriraju na osciloskopima. Na slici 12. prikazan je jedan eksperimentalni samonosivi kabelski vod dug 210 metara, na jednoj strani spojen na stanicu SN/NN, a na drugoj s podzemnim kabelom. Udaljenost od sustava, za lansiranje jest 70 metara.

Na slici 13. prikazana je usporedba između mjerenih rezultata i simulacija. Primjećuje se da se amplitude

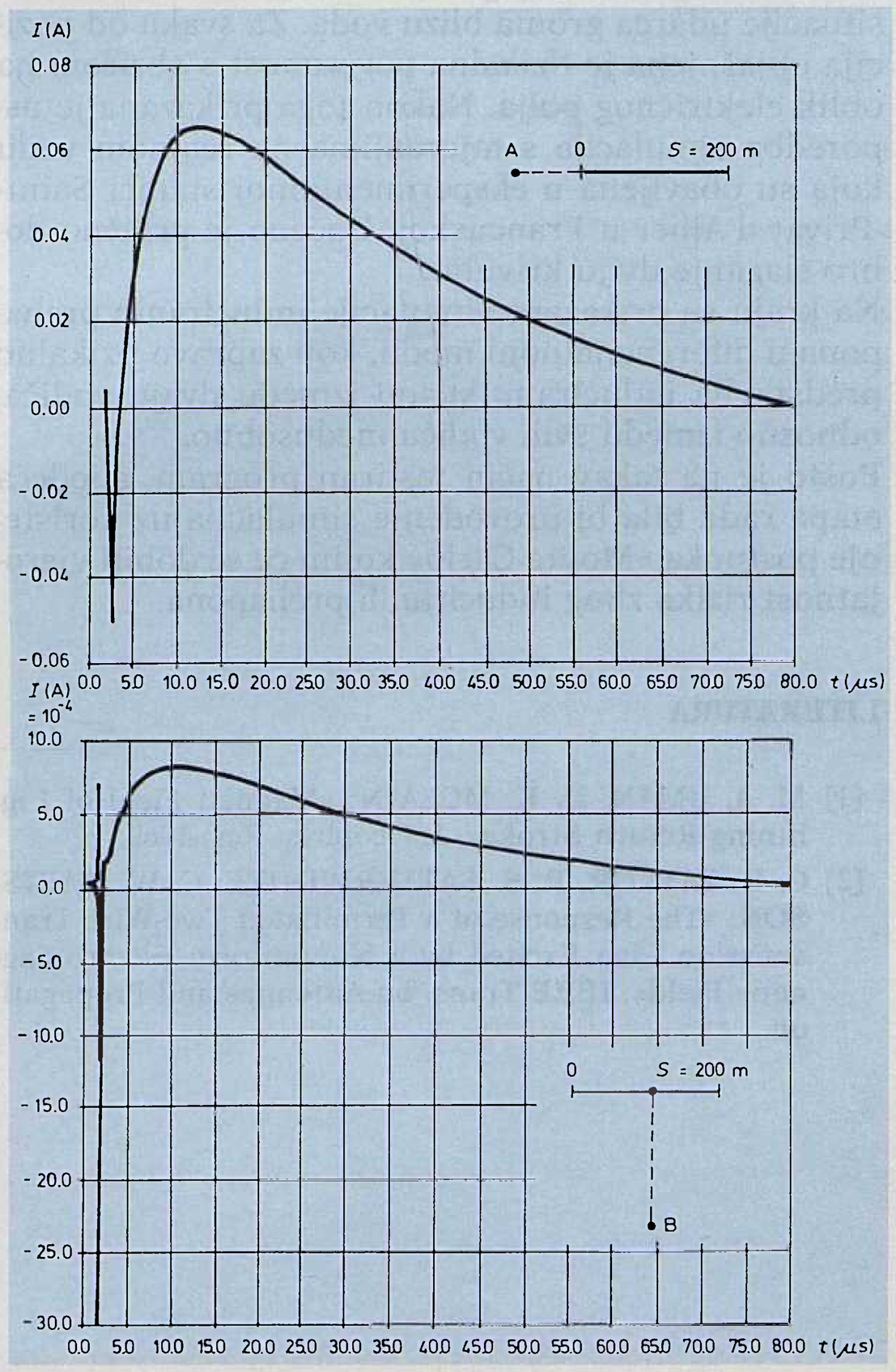


Slika 12. Shema eksperimentalne stanice Saint-Privat d'Allier



Slika 13. Usporedba simulacije i mjerenja induciranih struje na nadzemnom samonosivom kabelu

podudaraju, dok je hrbat mjerene krivulje duži od one dobivene simulacijom. Objašnjenje je da zbog blizine udarca struje koja prolazi kroz zemlju dolazi do dizanja cijelog voda na određeni potencijal koji se onda kumulira s induciranim naponom. Na slici se



Slika 14. Inducirana struja u diferencijalnom modu

vidi da i nakon 350 mikrosekundi preostaje određeni naboj na vodu.

Iako se ne raspolaže s mjerenjima inducirane struje u diferencijalnom modu, na slici 14. su prikazane simulacije za dva tipična udara groma pored voda. Udaljenost od kabelskog voda bila je 500 metara. Pri simulaciji računata je samo interakcija horizontalne komponente električnog polja sa samonosivim kabelom. Vezanje vertikalne komponente polja s krajnjim impedancijama nije uzeto u obzir uglavnom zbog nepoznavanja te impedancije (ona ovisi o specifičnosti opreme na krajevima voda). Uočava se da su amplitude ovih struja reda desetaka miliampera, što je u usporedbi sa strujama u nultom modu zanemariv iznos. Unatoč tome one mogu prouzročiti neugodne smetnje na elektroničkoj opremi.

6. ZAKLJUČAK

U referatu je prikazana metodologija proračuna induciranih prenapona na nadzemnim vodovima. Nakon što je opisan postupak proračuna električnog polja dobijen zbog udarca groma, prikazano je kako se njegove verikalne i horizontalne komponente vežu s elementima voda — vodiča i krajnjim impedancijama.

Dani su svojstveni dijagrami za dvije karakteristične situacije udarca groma blizu voda. Za svaku od pozicija objašnjena je fizikalna povezanost s obzirom na oblik električnog polja. Nakon toga prikazana je usporedba simulacija s mjerenjima na realnom vodu koja su obavljena u eksperimentalnoj stanici Saint-Privat d'Allier u Francuskoj. Uočeno je prilično dobro slaganje dviju krivulja.

Na kraju su prikazane simulacije induciranih prenapona u diferencijalnom modu, koji zapravo fizikalno predstavlja induciranu struju između dvaju vodiča, odnosno između svih vodiča međusobno.

Pošto je na takav način testiran program, sljedeća etapa rada bila bi provođenje simulacija uz korištenje postupka »Monte Carlo« kojim će se dobiti vjerojatnost rizika zbog induciranih prenapona.

LITERATURA

[1] M. A. UMAN, D. K. MCLAIN: »Magneti Field of Lightning Return Stroke«, J. Geophys. Res. 1969.

[2] C. D. TAYLOR, R. S. SATTERWIHITE, C. W. HARISSON: »The Response of a Terminated Two-Wire Transmission Line Excited by a Nonuniform Electromagnetic Field«, IEEE Trans. on Antennas and Propagation

[3] A. A. SMITH: »A more Convenient Form of the Equation for the Response of Transmission Line Excited by Nonuform Fields«, IEEE Trans. on EMC, pp. 151 – 152, August 1973,

[4] C. E. BRUCE, R. H. GFOLDE: »The Lighting Dicchargges«, Journal Inst. Elec. Eng, 1941.

[6] M. PUHARIĆ, Ph. AURIOL, A. AHMAD: »Modeling and simulation of low voltage power cable«, IASTED Austrija, pp. 443 – 446m 1992.

[7] M. PUHARIĆ: »Modelisation en regime transitoire HF des lignes d'energie BT -Application au couplage avec la foudre, Doktorşka disertacija, 1992.

[8] A. K. AGRAWAL, K. M. LEE: »Experimental characterisation of multiconductor transmision lines in the frequency domain«, IEEE Trans. on Electr. Compatibility, pp 20 – 27, february 1979.

[9] A. K. AGRAWAL, H. J. PRICE, S. H. GURBAXANI: »Transients response of multiconductor transmission lines excited by a nonuniform elecromagnetic field«, EEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, No. 2 May 1980.

[10] A. DERI, G. TEVAN, A. SEMLYEN, A. CASTANHEIRA: »The complex ground return plane, a simplified model for homogeneous and multi-layer earth return, IEEE Trans. Power App. Sys. vol PAS-100, Aug. 1981. Electromagnetic Compatibility, No. 2 May 1980.

[11] J. R. CARSON: »Wave propagation in overhead wires with ground return«, Bell System Technical Journal, vol. 5, 1926.

[12] K. NORTORT: »The propagation of radion waves over the the surface of earth and in the upper atmosphearе«, Proc. IRE 25, 1203 – 1236, 1937.

INDUCED OVERVOLTAGES ON THE LOW VOLTAGE OVERHEAD CABLES

The methods used so far for the induced overvoltage calculations based on single-wire and then on multi conducter models are described.

INDUZIERTE ÜBERSPANNUNGEN IN DEN SELBSTTRAGENDEN NIEDERSPANNUNGSKABELN

Angeführt wird die bisherige Auffassung der Berechungen von induzierten Überspannungen mittels eines Einadrigen Modells und danach deren neue Auffassung mit dem dreiadrigen Modell.

Naslov pisca:

dr. Milan Puharić, dipl. ing.
Institut »Hrvoje Požar«
41 000 Zagreb,
Ulica grada Vukovara 37
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-02-11

NEKI PROBLEMI PLANIRANJA NISKONAPONSKE MREŽE

mr. Rihard Schenner, Zagreb

UDK 621.316.1
PREGLEDNI ČLANAK

Planiranju mreže niskog napona treba obratiti veću pozornost zbog velikog udjela u ukupnim troškovima i posebno zbog problema koji proizlaze iz njezine dotrajalosti i velikih padova napona. Pri tome se ističe potreba daljnjeg preispitivanja i dogradnje normativa opterećenja i potrošnje električne energije i tipskih elemenata mreže.

Dodatni problem je prijelaz na novi jedinstveni standardni napon 230/400 V prema standardu IEC-38 iz 1983. godine.

Ključne riječi: niskonaponska mreža, normativi, standardni napon, regulacija napona, tipizacija.

Uvod

Troškovi niskonaponske mreže iznose više od 50% troškova distribucije. Zbog toga planiranju i ostaloj problematici te mreže valja posvetiti veću pažnju, jer su moguće znatne uštede.

Razlozi za današnji odnos prema niskonaponskoj mreži prilično su stari i svode se na sljedeće:

— Svaka distribucija nastoji prvo riješiti probleme na višim naponskim nivoima. To znači da je niski napon na kraju redoslijeda rješavanja.

— Pojedinačno su uštede relativno malene, pa se može pogrešno zaključiti da se trud ne isplati.

Točno je da bez dobre mreže višeg napona nema kvalitetne isporuke električne eneregije, pa ni uz dobru niskonaponsku mrežu. Zbog problema izgradnje višenaponske mreže često je glavna pažnja na toj mreži. Međutim, zaboravlja se da su troškovi planiranja i raznih analiza relativno maleni u usporedbi s investicijama i mogućim uštedama. Potrebna je, znači, odgovarajuća organizacija i želja da se problemi rješavaju.

Pojedinačne uštede relativno su malene, ali pomnožene s velikom mrežom odnosno velikim brojem slučajeva daju veliku vrijednost.

Tradicionalno se posao na niskonaponskoj mreži ne smatra »atraktivnim«, i sigurno da to mišljenje treba mijenjati.

U postojećoj niskonaponskoj mreži dosta su loše naponske prilike i njihovo rješavanje sigurno je jedan od velikih problema. Danas nisu moguće neke radikalnije mjere zbog pomanjkanja novca, ali to će se morati mijenjati. Pri tome treba uzeti u obzir i novi standardni napon, sve strože zahtjeve električnih aparata zbog smanjenja rezerve u konstrukciji, priprema se reorganizacija elektroprivrede, pri čemu će trebati voditi veću brigu o kvaliteti isporuke električne energije i slično.

1. PROBLEMI PLANIRANJA NOVE NISKONAPONSKE MREŽE I NJEZINA SANACIJA

Planiranje nove niskonaponske mreže jest plan priključka novih potrošača na električnu mrežu. To može biti priključak jednog individualnog objekta ili plan za cijelo novo naselje.

Planiranje sanacije postojeće niskonaponske mreže jest uređenje postojeće zbog njezine fizičke dostajalosti ili loše kvalitete isporuke električne energije. Loša kvaliteta se u pravilu odnosi na preveliki pad napona. Pri sanaciji se obično radi o kombinaciji dostrajalosti i loše kvalitete. Ovisno o veličini dotrajale niskonaponske mreže, sanacija se provodi rekonstrukcijom postojeće mreže, izgradnjom nove ili kombinacijom.

1.1. Normativi opterećenja i potrošnje električne energije

Jedan od problema je veličina konzuma za izradu planova. Sadašnji konzum se praktično nikad ne koristi, jer se želi osigurati napajanje i za određenu budućnost. Zbog toga je potrebno prognozirati konzum za planiranje novih mreža i sanaciju postojećih. Kod mreža niskog napona može se konzum za planiranje odrediti pomoću normativa opterećenja i potrošnje električne energije.

Kućanstva su najbrojniji potrošači niskog napona, a zatim slijedi ostala potrošnja (trgovine, dječje i školske ustanove i slično), pa se za njih i rade normativi. Zbog toga treba normative prilagoditi potrošačima i planiranju niskog napona.

Na veličinu normativa najviše utječe:

— energetsko napajanje potrošača
— standard potrošača.

Pri prognozi normativa koristi se energetsko rješenje potrošača prema slučajevima iz prakse. Pri tome

je osnovno odrediti ulogu električne energije. Za kućanstva se druge energije mogu koristiti za grijanje prostorija, pripremu tople vode i kuhanje. Kod ostalih sadržaja vrijedi uglavnom isto, ali je bitna energija za grijanje prostorija. Na taj način odrede se tipovi potrošača za kućanstva i ostalo. Time se riješio problem takozvane supstitucijske energije.

Standardom potrošača definira se nesuptitucijska energija. Kod normativa za kućanstva to znači broj i zastupljenost pojedinih kućanskih aparata koji se koriste isključivo električnom energijom. Kada se to riješi, odredi se pomoću godišnje potrošnje pojedinih aparata vršno opterećenje.

Određivanje standarda najteže je za kućanstva. Kod ostalih sadržaja nešto je lakše jer se određeni standard i zahtijeva ovisno o tipu potrošača (hoteli raznih kategorija, bolnice i ostalo).

S porastom životnog standarda raste kupovna moć stanovništva i mogućnost nabave raznih kućanskih aparata, a s time raste i potrošnja električne energije. Međutim u isto vrijeme omogućuje se i veće korištenje usluga raznih servisa, ugostiteljstva i slično, što smanjuje potrošnju. Utjecaji su znači protivni i problem je definirati što će se dogoditi na nekom području u duljem razdoblju. Takvi problemi se posebno ne analiziraju i ponekad je teško donositi odluke u vezi s tim.

Za današnju situaciju u Hrvatskoj sigurno je najbolja metoda usporedbe s razvijenijim susjednim zemljama. Sigurno ćemo dosta toga kopirati od njih i nastojati ih dostići. Zanimljivi podaci u tom smislu nalaze se u [1], gdje su podaci potrošnje pojedinih kućanskih aparata i njihove zastupljenosti u kućanstvima nekoliko europskih zemalja. U tablici 1. su podaci za neke države iz te literature.

Tablica 1. Podaci potrošnje električne energije pojedinih kućanskih aparata i njihove zastupljenosti za neke europske države — podaci iz [1]

Aparat odn. namjena	Potrošnja električne energije i zastupljenost									
	Njemačka		Švicarska		Norveška		Belgija		Španjolska	
	kWh/g	%	kWh/g	%	kWh/g	%	kWh/g	%	kWh/g	%
hladnjak	470	98	350	95	450	100	365	97	318	95
ledenica	600	65	370	61	550	80	350	48	—	—
topla voda	1 300*	35	2 080	33	3 500	95	2 000	25	1 200	17
pranje rublja	250	89	480	100	500	95	300	77	127	85
sušenje rublja	270	15	590	14	500	35	300	23	220	5
pranje suđa	315	27	400	29	500	15	470	19	246	7
kuhanje	440	77	1 080	82	850	100	800	34	292	21
TV	160	96	120	82	200	95	110	96	276	100
mali aparati	368		500		600		500		—	
rasvjeta	264		472		1 298		300		321	

* protočni bojleri

Osim za ove države, u [1] nalaze se i podaci za Dansku, Francusku, Nizozemsku, Švedsku i Englesku. Podaci Njemačke, Švicarske i Belgije mogu poslužiti za izbor normativa. Norveška ima previsok standard i drukčije klimatske uvjete, a Španjolska suprotno. Na temelju tih podataka i prijašnjih analiza u tablici 2. su predloženi kućanski aparati, njihova potrošnja i zastupljenost za određivanje normativa opterećenja i potrošnje električne energije za kućanstva bez grijanja prostorija električnom energijom.

Tablica 2. Kućanski aparati, njihova potrošnja i zastupljenost za određivanje normativa opterećenja i potrošnje električne energije — bez el. grijanja prostorija

Aparat odn. namjena	Potrošnja kWh/g	Zastupljenost %	Prosječna potr. kWh/g
hladnjak	400	95	380
ledenica	600	65	390
topla voda	1 800	100	1 800
pranje rublja	400	90	360
sušenje rublja	350	20	70
pranje suđa	350	30	105
el. štednjak	800	100	800
televizija	100	100	100
mali aparati	400	100	400
rasvjeta	350	100	350
	5 550		4 755

Najviše energije troši se za pripremu tople vode (1 800 kWh/g), znatno manje za kuhanje (800 kWh/g) i zamrzavanje hrane (600/kWh/g), a za ostale namjene su praktično iste potrošnje (350 – 400 kWh/g), osim televizora (100 kWh/g), čija je potrošnja najmanje.

Ukupna potrošnja kućanstva opremljenog sa svim aparatima iznosi 5 550 kWh/g. Budući da se ne očekuje potpuna zastupljenost aparatima, prosječna potrošnja jednog kućanstva iznosi 4750 kWh/g. Priprema tople vode i kuhanje može se zamijeniti nekom drugom vrsti energije (toplana, plin), pa se dobe razne kombinacije potrošnje po kućanstvu, koje variraju između 2 950 i 5 550 kWh/g, odnosno u grupi između 2 155 i 4 755 kWh/g.

Vršno opterećenje grupe kućanstva najbolje je odrediti prema [2]. To je poznati Rusckov izraz:

$$Pv = P1 * fne * n + P1 * (1 - fne) * \sqrt{n}(0.5) \quad \text{(kW)} \quad (1)$$

$$Pv1n = P1 * fne + P1 * (1 - fne) / \sqrt{n}(0.5) \quad \text{(kW/k)} \quad (2)$$

Pv — vršno opterećenje grupe od n kućanstava — kW

$P1$ — vršno opterećenje jednog kućanstva — kW/k

fne — faktor istodobnosti za neizmjeran broj kućanstava

n — broj kućanstava

Pv1n — prosječno opterećenje jednog kućanstva u grupi od n kućanstava za vrijeme vršnog opterećenja grupe — kW/k.

Formula je prilično stara, ali se zadržala u uporabi zbog svoje logike. Ona se temelji na konstantama $P1$ i fne, koje imaju svoje prirodno značenje. Konstanta $P1$ je vršno opterećenje jednog kućanstva, dok je produkt $P1 * fne$ prosječno opterećenje jednog kućanstva u grupi od mnogo kućanstava u vrijeme vršnog opterećenja te grupe. Sva ostala opterećenja su između ta dva ekstrema prema izrazu (2). Konstante $P1$ i fne određuju se mjerenjima. Analiza mjerenja nije tako jednostavna jer različite kombinacije konstanti daju približno iste vrijednosti.

Vršno opterećenje jednog kućanstva može se odrediti prema [3] pomoću izraza:

$$P1 = 0.29 « W1 + 2.5 * \sqrt{W1}\ (0.5) \quad (\mathrm{kW/k}) \qquad (3)$$

$W1$ — godišnja potrošnja kućanstva — MWh/g.

Izraz (3) vrijedi za kućanstva bez električnog grijanja prostorija.

Vršna opterećenja jednog kućanstva, koja se analiziraju, nalaze se između 4.3 i 7.5 kW/k.

Za dimenzioniranje osigurača treba koristiti veće vrijednosti zbog praktičnih razloga. Zastupljenost aparatima može biti stopostotna, kod trofaznog priključka postoji nesimetrično opterećenje, postoji mogućnost viših opterećenja zbog uključenja većeg broja aparata i slično.

Faktor istodobnosti fne varira prema podacima iz literature između 0.15 i 0.2. Uz veću potrošnju on je veći, ali odnosi nisu linearni. Prema [4], kod grijanja prostorija električnom energijom za područje Njemačke (pretežno termoakumulacijske peći) taj faktor iznosi oko 0.325 uz potrošnju 15 000 kWh/g.

Tipovi kućanstava koji se mogu susresti u praksi različiti su. Samo korištenje nesupstituabilne energije postoji kod priključka na plinsku mrežu (tip 1). Ako se hrana priprema pomoću električne energije, dobije se primjer priključka na toplanu (tip 2). Nesupstitucijska energija i priprema tople vode električnom rijetka je pojava i moguća kod individualne izgradnje (tip 3). Kućanstvo tip 4 koristi električnu energiju za sve osim grijanje prostorija.

Kućanstva sa grijenjem prostorija pomoću električne energije, susreću se kod nas u nešto većem broju na području Dalmacije i Hrvatskog Primorja. Potrošnja električne energije znatno varira o standardu, izolaciji kuće i dužini trajanja lošeg vremena. Za Dalmaciju se procjenjuje sa 2 600 kWh/g, a za Hrvatsko primorje sa 3 000 kWh/g. Na području kontinentalnoga djela Hrvatske može se računati s potrošnjom 15 000 kWh/g za cijelo kućanstvo. Tako se dobiju tipovi 5d, 5p i 5k.

Predložene vrijednosti normativa nalaze se u tablici 3.

Postoje razne druge podjele koje se mogu formirati na isti način.

Normativi za ostale sadržaje su raznovrsni i danas nije moguća tako precizna podjela kao za kućanstva. Energetski se može razlikovati normativ sa grijanjem i bez grijanja prostorija električnom energijom. Za njihovo određivanje koriste se izmjerene vrijednosti za objekte koji zadovoljavaju potreban standard. Takvim pristupom, uz određene manje korekcije, određene su vrijednosti u tablici 4. za objekte bez grijanja prostorija električnom energijom.

Tablica 3. Vrijednosti normativa za kućanstva

Tipovi kućanstava	Podaci za proračun		
	Potrošnja - $W1$ kWh/g	Opterećenje - $P1$ kW/k	Faktor ist. - fne
1	2 200	4.4	0.15
2	3 000	5.2	0.17
3	4 000	6.2	0.20
4	4 800	6.7	0.23
5d	7 400	9.0	0.27
5p	7 800	9.3	0.27
5k	15 000	15.0	0.30

Tablica 4. Normativi opterećenja za ostale sadržaje — bez grijanja prostorija električnom energijom

Vrsta sadržaja	Normativ opterećenja
Trgovine i robne kuće	120 W/m²
Ugostiteljstvo	110 W/m²
Vrtići, jaslice	60 W/m²
Socijalne ustanove	40 W/m²
Osnovne škole	50 W/m²
Srednje škole	40 W/m²
Fakulteti	40 W/m²
Poslovni prostor	60 W/m²
Kulturne ustanove	40 W/m²
Zanatstvo	40 W/m²
Zdravstvene stanice	40 W/m²
Hoteli — viša kat.	1.5 kW/lež.
Hoteli — srednja kat.	0.8 kW/lež.
Bolnice	1.2 kW/lež.
Kampovi	0.5 kW/mj.
Marine	0.5 kW/vez.
Nautička naselja	1.0 kW/kuć.

Normativi za ostale sadržaje koriste se kada nema drugih podataka za određene objekte (projekti i slično).

Kod primjene normativa mora se uvijek voditi briga o tome da su to ustvari dugoročno prognozirane vrijednosti i prosjek za određenu grupu potrošača. Zbog toga se te vrijednosti mogu mijenjati za određene konkretne slučajeve, ako planer primijeti nelogičnosti u razradi mreže.

1.2. Nova standardna veličina i dopuštena odstupanja niskog napona, pad napona i regulacija transformatora

Mreža niskog napona mora isporučivati energiju određene kvalitete koja se danas uglavnom odnosi na veličinu odstupanja napona odnosno pad napona.

U nas je standardna veličina niskog napona 220/380 V, a pad napona, iznosi maksimalno 6%, prema preporukama za planiranje mreže.

U Europi su do 1983. g. vrijedila tri standardna fazna napona: 220 V, 230 V i 240 V, kada se odlučilo za jedinstvenih 230 V. Do 2003. g. planira se razdoblje prijelaza. Prema standardu IEC-38 iz 1983. g. novi standardni napon je 230/400 V s dopuštenom odstupanji-

ma do 2003. g. od +6%, −10% (244 V, 207 V), a nakon 2003. g. +, —10% (253 V, 207 V). Donja granica je ista i iznosi −6% u odnosu na 220 V, a gornja je niža u prijelaznom razdoblju zbog zaštite električnih aparata stare konstrukcije.

Promjena se ne čini velikom jer iznosi 4.5%. Međutim, ona je ipak istog reda veličine ručne regulacije napona transformatora 35/10 kV i 10,20/0.4 kV. Danas su veliki padovi napona najveći problemi niskonaponske mreže, što za aparate nove konstrukcije znači još veća naprezanja odnosno lošiji rad. Vijek trajanja električnih aparata i transformatora 10.20/0.4 kV vrlo je velik, tako da će biti dugo u pogonu. Kvalitetan napon sve je više potreban jer se aparatima smanjuje rezerva u konstrukciji. Sve to upućuje da problem nije malen, a nije moguće brzo rješenje.

Hrvatska se mora pripremiti za novi napon jer je premalena da ostane na postojećem. Veći broj europskih država već je prešao na novi standard, tako da se kod nas već nalaze aparati nove konstrukcije kupljeni u inozemstvu. Naši proizvođači su pripremljeni za njega zbog prodaje izvan granica Hrvatske. Transformatori 10,20/0.4 kV proizvode se također za novi napon. Problem su loše mreže s prevelikim padovima napona, koje treba sanirati. U slučaju preranog standardiziranja novog napona naglo bi se povećao broj aparata nove konstrukcije, jer bi sva domaća proizvodnja bila za novi napon i situacija bi bila još lošija.

Analize, koliko se može realno odstupati od nazivnog napona, problematične su. Sve što je izvan propisa može se smatrati lošim. Prema našoj praksi, reklamacije zbog lošeg napona počinju kod 185 V odnosno 240 V. Predlaže se da za prijelaz na novi napon ne bi donja granica loših naponskih prilika smjela biti ispod 190 V, što je znatno veće odstupanje od dopuštenoga, ali postići i to bilo bi uspjeh. Novaca za sanacije nema, ali se neke stvari ipak mogu i trebaju napraviti i bez mnogo novaca. To je sređenje regulacije transformatora 35/10 kV i 10,20/0.4 kV sa analizom naponskih prilika kod maksimalnih i minimalnih opterećenja. Cilj je te analize odrediti realno dopuštene padove napona u niskonaponskoj mreži, a za to treba izračunati napone na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV.

Konstantan napon održavaju regulacijski transformatori, a to su kod nas 110/xkV. Distributivni transformatori 35/10 kV i 10,20/0.4 kV nemaju redovito automatsku regulaciju. Dobar primjer primjene regulacijskih transformatora 35/10 kV bio je napajanje otoka Lošinja, kada se njihovom primjenom uspjela dosta dugo odgoditi izgradnja transformatorske stannice 110/35 kV Lošinj.

Regulacijski transformator održava stalan napon sekundara i služi za rješenje odstupanja napona na primarnoj, tj. 110 kV strani. Nulti položaj regulacije je u nas na +5% nazivnog napona. U analizi će se izračunati naponi na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV s najlošijom lokacijom u mreži. Pri planiranju naših mreža predviđaju se maksimalni padovi napona u dalekovodima 35 kV, 20 kV i 10 kV do 8%. Padovi napona u transformatorima 35/10 kV i 10,20/0.4 kV izračunati su uz 70% nazivnog opterećenja. Za kabelsku mrežu procijenio se pad napona sa 3%. Položaj ručne regulacije transformatora 35/10 kV i 10,20/0.4 kV je na +5%. Rezultati proračuna su u tablici 5.

Tablica 5. Naponi na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV ovisno o transformaciji

— naponi na sekundaru transformatora 110/ × kV: +5%
— padovi napona u dalekovodima: 8%
— padovi napona u kabelskim vodovima: 3%
— opterećenje transformatora 35/10 kV i 10,20/0.4 kV 70% nazivnog opterećenja
— položaj regulacije transformatora 35/10 kV i 10,20/0.4 kV na +5%.

Transformacija	Vrst mreže	Napon na sek. transform. 10,20/0.4 kV	Ostaje za niskonaponsku mrežu
110/35/10 nkV	nadzemna	−5,4%	4,6%
110/35/10 kV	kabelska	+3.7%	13.7%
110/10, 20 kV	nadzemna	0.0%	10.0%
110/10, 20 kV	kabelska	+5.6%	15.6%

Uz ove uvjete opterećenja, kod transformacije 110/35/10 kV i nadzemne mreže, napon na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV manji je od nazivnoga za 5.4%, pa pad napona u niskonaponskoj mreži smije iznositi samo 4.6% ako se računa sa 10% maksimalnog odstupanja. To je možda ekstremni slučaj, ali ih ima u praksi. Kao primjer može poslužiti napajanje naselja Lun na otoku Pagu sa 10 kV vodom iz transformatorske stanice 35/10 kV Novalja. To znači da padovi napona od 8% ovdje ne zadovoljavaju. Ekonomski opravdano rješenje jest korištenje regulacijskih transformatora 35/10 kV za takve slučajeve. To tim više što su naponi kod minimalnih opterećenja preveliki i iznose oko 12%.

Kod kabelske mreže i iste transformacije preveliki su naponi za vrijeme malih opterećenja, što se može riješiti pravilnim podešavanjem ručne regulacije transformatora 10,20/0.4 kV. Zbog toga ostaje za vrijeme vršnih opterećenja približno 10% pada napona za niskonaponsku mrežu.

Problema nema kod direktne transformacije. U praznom hodu je maksimalni napon +10% nazivnog, a pad napona u niskonaponskoj mreži može iznositi i više od 10% nazivnoga.

Te vrijednosti napona na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV upućuju na zaključak da je granica pada napona od 6% pregrubo procijenjena, a može se tvrditi i preskupa. Veličina od 6% nalazila se u tehničkim propisima za niski napon. Bilo bi vrlo dobro da je ostvariva u većem dijelu naše niskonaponske mreže.

Problem prevelikih padova napona najčešći je kod individualne izgradnje gdje nema dugih vodova instalacije, pa nije potrebna rezerva za taj dio mreže. Kod jake kolektivne izgradje problem su opterećenja, a ne padovi napona. Taj problem može se pojaviti, ali samo za određene slučajeve izgradnje.

U vezi s ovom problematikom predlaže se sljedeće:

— Utvrditi padove napona u mreži 35 kV i 10 kV i podesiti regulaciju transformatora na optimalan

položaj, pri čemu treba uzeti u obzir gornju i donju granicu odstupanja napona i transformatore izrađene za novi napon 230/400 V. Pokrenuti rješavanja prevelikih padova napona u mreži 10 kV i više, jer bez toga nema dobrih naponskih prilika u niskonaponskoj mreži. U vrlo lošim situacijama s dugim vodovima i malim konzumom uvesti regulacijske transformatore 35/10 kV.

— Radi planiranja mreže predlaže se da svako distributivno područje propiše dopuštene padove napona u mreži niskog napona. Oni ovise o vrsti transformacije i mreže te planovima razvoja mreže, pa ih treba odrediti po zonama područja.

— Problem prijelaza na novi standardni napon od 230/400 V s rješavanjem loših naponskih prilika u niskonaponskoj i ostaloj mreži treba proanalizirati i pokrenuti akciju za rješavanje i izvan HEP-a. Vremena za to nema mnogo.

1.3. Tipizacija elemenata mreže analizom na modelu

Tipizacija elemenata mreže želi se postići njezino ukupno pojeftinjenje. Smanjenjem broja presjeka vodiča, nazivnih snaga transformatorskih stanica i slično povećava se količina istovrsnog materijala za narudžbu čime se smanjuje cijena i troškovi skladišta rezervnog materijala. S druge strane se teže prilagođava opterećenje i nazivna snaga elementa mreže, tako da u pojedinačnim slučajevima tipski element može biti i skuplji od nekoga drugoga.

Tipski element mreže mora biti najpovoljniji za veći broj slučajeva iz prakse. Na taj način se i provodi tipizacija, koja se zatim provjerava u praksi i prema potrebi i dalje razvija. S obzirom na današnju centralnu organizaciju HEP-a, nastoji se što više elemenata mreže tipizirati na nivou države, ali pojedine distribucije koriste i svoja iskustva.

Kod mreže niskog napona situacija je sljedeća:

— Za gradske transformatorske stanice 10,20/0.4 kV tipizirana je nazivna snaga 630 kVA i 2 × 630 kVA, a pitanje je i druge tipske nazivne snage od 400 kVA i 2 × 400 kVA.

— Za stupne transformatorske stanice 10,20/0.4 kV bio je najprije tipiziran stup za transformator 250 kVA, a poslije još i za 100 kVA. Tipski transformatori su nazivne snage 50 kVA do 250 kVA. Sada se postavlja pitanje treba li transformator i stup za manju nazivnu snagu.

— Tipski presjeci vodova niskog napona praktično su svi iz standardnog niza presjeka, pa se postavlja pitanje potrebe svih u tipizaciji.

Analiza je napravljena na modelu uz primjenu svih normativa za kućanstva bez električnoga grijanja prostorija, nazivnih snaga transformatora 630, 400, 250, 160, 100 i 50 kVA s odgovarajućom kabelskom ili nadzemnom mrežom sa SKS. Urbanistički uvjeti variraju prema izgradnji od individualne do kolektivne, kao i broj izvoda. Cijene su prema današnjoj praksi. Analizirani su aktualizirani troškovi niskonaponske mreže i transformatorske stanice 10,20/0.4 kV po napajanom kućanstvu.

Model je napravljen za potrebe studije i još nije objavljen. Detaljan opis modela neće se napraviti zbog opsežnosti, ali to se ne smatra potrebnim za objašnjenje rezultata.

U vezi s tipskiom snagom gradske transformatorske stanice 10,20/0.4 kV pokazala se nazivna snaga 630 kVA znatno skupljom od 400 kVA za individualnu izgradnju. Razlog je potreba velikih skupih presjeka vodiča niskonaponske mreže za nazivnu snagu 630 kVA i kod maksimalnog broja od 8 izvoda. Zbog toga se predlaže za tipizaciju i nazivna snaga 400 kVA i 2 × 400 kVA s građevinskim djelom za 630 kVA. Time se uvodi samo nova tipska snaga transformatora od 400 kVA, koja je bila potrebna i za etapnu ugradnju i planiranje mreže niskog napona za tu snagu. Na taj način dobioje se niz snaga 400, 630, 2 × 400 i 2 × 630 kVA.

Ne predlaže se mijenjanje tipskih presjeka vodova niskonaponske mreže. Razlog je raznovrsnost broja izvoda niskog napona i nazivnih snaga transformatorskih stanica 10,20/0.4 kV, pa se znatno mijenja opterećenje izvoda.

Analizom veličina naselja u Hrvatskoj zaključilo se da je potrebna još jedna manja nazivna snaga transformatora 10,20/0.4 kV i to 31.5 kVA. Pitanje stupa za manju nazivnu snagu od 100 kVA nije se moglo riješiti, pa su potrebne dodatne analize.

1.4. Ostali problemi u planiranju

Pri planiranju mreže niskog napona nastojale su se propisati sve ulazne veličine radi osiguranja dobre kvalitete električne energije. U tu svrhu bile su i pojačane kontrole planova, a postojeća mreža se manje kontrolirala. Pritom se zaboravilo da je nemoguće obuhvatiti sve situacije u mreži pa su rezultat toga bile prekapacitirane nove mreže i loše postojeće. Smatra se da je bolji način jača kontrola postojeće mreže i više slobode planerima.

Osim problema s normativima, tipizacijom i padovima napona, ima i ostalih. Oni se mogu opisati jer su raznovrsni i nema recepta za rješavanje.

Pri planiranju niskonaponske mreže novih naselja, kakva se grade u većim gradovima, ima najmanje problema uz realno određene normative.

U slučaju sanacije problem su normativi i iskorištenje postojeće mreže s vrlo mnogo raznih varijanti. Najteži slučajevi sanacije su uža središta većih gradova, gdje nema mjesta za električnu mrežu, a konzum se ipak razvija. Tada se koriste razni načini rješavanja, gdje se često mora odstupiti od tipizacije, pa se koriste suhi transformatori ili transformatori velikih snaga i slično.

Kod individualne izgradnje na selu i gradu nema toliko problema s prostorm. Međutim, sigurno je problem nepoznavanje etapne izgradnje i normativa. Izgradnja ovisi o financijskim mogućnostima vlasnika koje su nepoznate. Normativ, osobito na selu, znatno ovisi o potrebama koje su različite ovisno o veličini posjeda i namjeni.

To pokazuje da je praktično nemoguće propisati optimalne mjere za sve situacije iz prakse. To znači da

planer mora imati osnovne podloge, ali u određenim situacijama potrebno je te veličine i točnije definirati, što znači i mijenjati te osnovne podloge.

2. ZAKLJUČAK

Za sadašnje stanje niskonaponske mreže u Hrvatskoj može se zaključiti sljedeće:

— Najveći problem su veliki padovi napona i dotrajala mreža a tomu treba dodati prijelaz na novi standard napona. Zahvati koji najmanje koštaju jesu optimirati položaj regulacije napona i uvesti gdje je potrebno, automatske regulacijske transformatore 35/10 kV. S problemom prijelaza na novi standardni napon i velikim padovima napona treba upoznati širu javnost, jer današnja situacija sigurno koči razvoj gospodarstva Hrvatske.
— U vezi s planiranjem niskonaponske mreže treba svako distributivno područje po zonama odrediti dopuštene padova napona. Također se preporučuje izrada normativa za planiranje, a u tipizaciji se predlaže uvođenje nazivne snage transformatorske stanice 10,20/0.4 kV od 400 kVA i 2 × 400 kVA i transformatora 31.5 kVA.
— Planeri trebaju za određene slučajeve korigirati normative ako utvrde da nisu realni za konkretnu situaciju u mreži.
— Predlaže se pojačana kontrola postojeće niskonaponske mreže.

LITERATURA

[1] C. KOFOD (Lyngby), M. LANGE-HUSKEN (Essen), J. G. PARADINAS (Madrid), L. VOLDHAUG (Drammen): »Untersuchungen von Haushaltskurven in europeischen Landern«, Elektrizitatswirtschaft, Jg. 87 (1988), Heft 19

[2] S. RUSCK: »The Simultaneous Demand in Distribution Network Stupplying Domestic Consumers«, ASEA Journal 1956, S. 59 – 61

[3] E. LAKERVI, E. HOLMES: »Elektricity distribution network design, P. Petegrinus Ltd., 1989.

[4] VDEW: Aktivierung und Planung von Netzen fur allelektrische Versorgung, VWEW 1970.

SOME PROBLEMS OF THE DISTRIBUTION NETWORK PLANNING

Better caution should be given to the distribution network planning because of its high share in the total costs and especially because of the problems that are due to its old age and high voltage drop. Thereby the need of a future examination and renewal of electric energy load and consumption as well as standard network element requirements are stressed.
Additional problem is also a transfer to a new unique standard voltage of 230/400 V following the ICE-38 standard from 1983.

EINIGE PROBLEME DER PLANUNG VON NEIDERSPANNUNGSNETZEN

Wegen dem großen Anteil in den Gesammtkosten im allgemeinen und der Probleme der Verfallserscheinungen und der großen Spannungsverluste im besonderen soll der Planung von Niederspannungsnetzen eine größere Aufmerksamkeit als bisher zuteil werden. Zum Ausdruck kommt dabei die Notwendigkeit der weiteren Überprüfung und der Erweiterung der Belastungsanweisungen, sowie die Überprüfung der Belastungsanweisungen, sowie die Überprüfung des Stromverbrauches und der Typisierung von Netzbauteilen.
Einen zusätzlechen Problem stellt der Übergang auf die neue einhgeitlich normierte Spannung 230/400 V gegenüber der Norm IEC — 38 aus dem Jahre 1983.

Naslov pisca:

mr. Rihard Schenner. dipl. ing.
Institut za elektroprivredu
i energetiku, d.d.
Ulica grada Vukovara 37
4100 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-02-17

PROBLEMI OŠTEĆENJA, POUZDANOSTI I ODREĐIVANJA VIJEKA TRAJANJA DIJELOVA PLINSKIH TURBINA

dr. sc. Branko Staniša, Karlovac

UDK 621.438.004
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U tijeku ekploatacije pliskih turbina zbog različitih uzroka mogu nastati oštećenja njihovih dijelova. Ta oštećenja smanjuju pouzdanost i radni vijek turbina. U ovom članku su istraživani i analizirani uzroci oštećenja vitalnih dijelova plinskih turbina. Dani su rezultati praćenja procesa oštećenja rotorskih lopatica plisnkih turbina. Analizira se utjecaj procesa oštećenja rotorskih lopatica na njihov vijek trajanja i pouzdanost rada plinske turbine.

Ključne riječi: Plinska turbina, oštećenje, pouzdanost, vijek trajanja.

1. UVOD

U posljednje su vrijeme na temelju svog razvoja u smislu postizanja visokog stupnja korisnosti i visoke poudanosti, plinske turbine osigurale sebi mjesto u proizvodnji električne energije. U daljnjem razvoju izgradnje elektroenergetskih sustava one će se sve više primjenjivati, osobito za kombi-procese s parnim turbinama.

U hrvatskoj elektroprivredi instalirano je više plinskih turbina koje su u eksploataciji dugi niz godina. Prve dvije plinske turbine snage po 31,5 MW, proizvodnje Westinghouse, ugrađene su 1976. godine u termoelektranu Jertovec za rad u kombi-procesu s dvjema parnim turbinama snage po 12,5 MW Proizvodnje Jugoturbina [1]. Također, 1976. godine puštena je u pogon plinskourbinska elektrana u Osijeku, gdje do tada nije bilo vlastitih izvora električne energije. Elektrana se sastoji od dva plinskoturbinska egregata snage po 25 MW proizvodnje AEG-Kanis. Ispušni plinovi iz jedne plinske turbine koriste se u kotlu utilizatoru za proizvodnju vodene pare. U Dujmovači kod Splita puštene su u pogon 1994. godine dvije plinske turbine snage po 26 MW, proizvodnje EGT [2]. Te turbine služe kao pričuva za pokrivanje manjka električne energije u energetskom sustavu Dalmacije. U daljnjem razvoju hrvatskoga elektroenergetskog sustava primjenjivat će se plinske turbine kako za rekonstrukciju parnoturbinskih postrojenja u kombi-proces, tako i za gradnju novih kombi-procesa.

Do sada su već stečena znatna iskustva o eksploataciji plinskoturbinskih postrojenja. Stečena iskustva u eksploataciji pokazala su da se zbog visokih temperatura suvremenih plinskih turbina i velikoga broja startova pojavljuju oštećenja koja im smanjuju pouzdanost i vijek trajanja. Kod većih oštećenja i havarija najčešće nastupaju duži neplanirani zastoji plinskoturbinskih postrojenja. Neplanirani zastoji zbog oštećenja i havarija vitalnih dijelova turbina, kao i veliki materijalni troškovi koji se pri tome pojavljuju, nametnuli su potrebu za detaljnijom analizom problema uzroka oštećenja, dijagnostike i praćenja stanja, te određivanja vijeka trajanja visokotemperaturno opterećenih dijelova plinskih turbina.

U ovom se radu istražuju uzroci različitog oblika oštećenja plinskih turbina. Analizirani su utjecajni faktori na vijek trajanja visokotemperaturno opterećenih dijelova plinskih turbina. Istraživana je zakonitost nastajanja i napredovanja pukotina na lopaticama plinske turbine, te utjecaj na pouzdanost rada i njihov vijek trajanja. Rezultati istraživanja pokazali su da se dijagnostikom stanja, praćenjem oštećenja i procjenom vijeka trajanja mogu spriječiti veća oštećenja i havarije, te produžiti projektirani vijek trajanja dijelova plinskih turbina.

2. UZROCI OŠTEĆENJA DIJELOVA PLINSKIH TURBINA

Bez obzira na to što su plinske turbine vrlo pouzdani toplinski strojevi, u tijeku eksploatacije mogu se oštetiti njihovi dijelovi. Oštećenja vitalnih dijelova mogu prouzročiti neplanirane zastoje i havariju postrojenja sa znatnim materijalnim troškovima. Za svako oštećenje plinske turbine uglavnom se uvijek utvrđuje uzrok. Uzroci oštećenja, neplaniranih zastoja i havarija plinskih turbina obično se potanko istražuju i analiziraju zbog jednog ili više razloga:

- otkrivanje slabih mjesta i primjene pouzdanijega konstrukcijskog rješenja, pouzdanijeg materijala, kvalitetnije proizvodnje ili montaže oštećenoga dijela, da se oštećenje ne bi ponovilo
- poboljšanje eksploatacije ili usavršavanje kadra za rukovanje postrojenjem
- usavršavanje metoda dijagnostike, praćenje stanja i određivanje vijeka trajanja vitalnih dijelova postrojenja

— usavršavanje doktrina održanja postrojenja
— utvrđivanje činjenica koje su eventualno važne za podnošenje odštetnog zahtjeva osiguravajućeg društva
— obogaćenje iskustva stručnjaka i znanstvenika.

Rezultati istraživanja uzroka oštećenja daju dragocjene podatke kako za daljnju eksploataciju, tako i za projektiranje novijih, pouzdanijih plinskih turbina. U nekim se slučajevima kod manjih oštećenja odustane od istraživanja uzroka zbog kadrovskih i materijalnih problema ili kratkog roka trajanja popravka. Uzroke oštećenja je često jednostavno utvrditi. Međutim, ponekad se uzroci oštećenja mogu ustvrditi samo znanstvenim istraživanjem ili na temelju bogatog iskustva u radu s plinskim turbinama. Potrebno je napomenuti da za neka oštećenja nije moguće utvrditi uzrok uglavnom zbog pomanjkanja podataka. Uzroci oštećenja plinskih turbina obično su posljedica različitih utjecaja eksploatacije postrojenja, konstrukcije ugrađenih dijelova i sastava materijala.

Na temelju istraživanja oštećenja i havarija plinskih turbina u eksploataciji njihovi uzroci mogu se svrstati kao i kod parnih turbina [3] u sljedeće skupine:

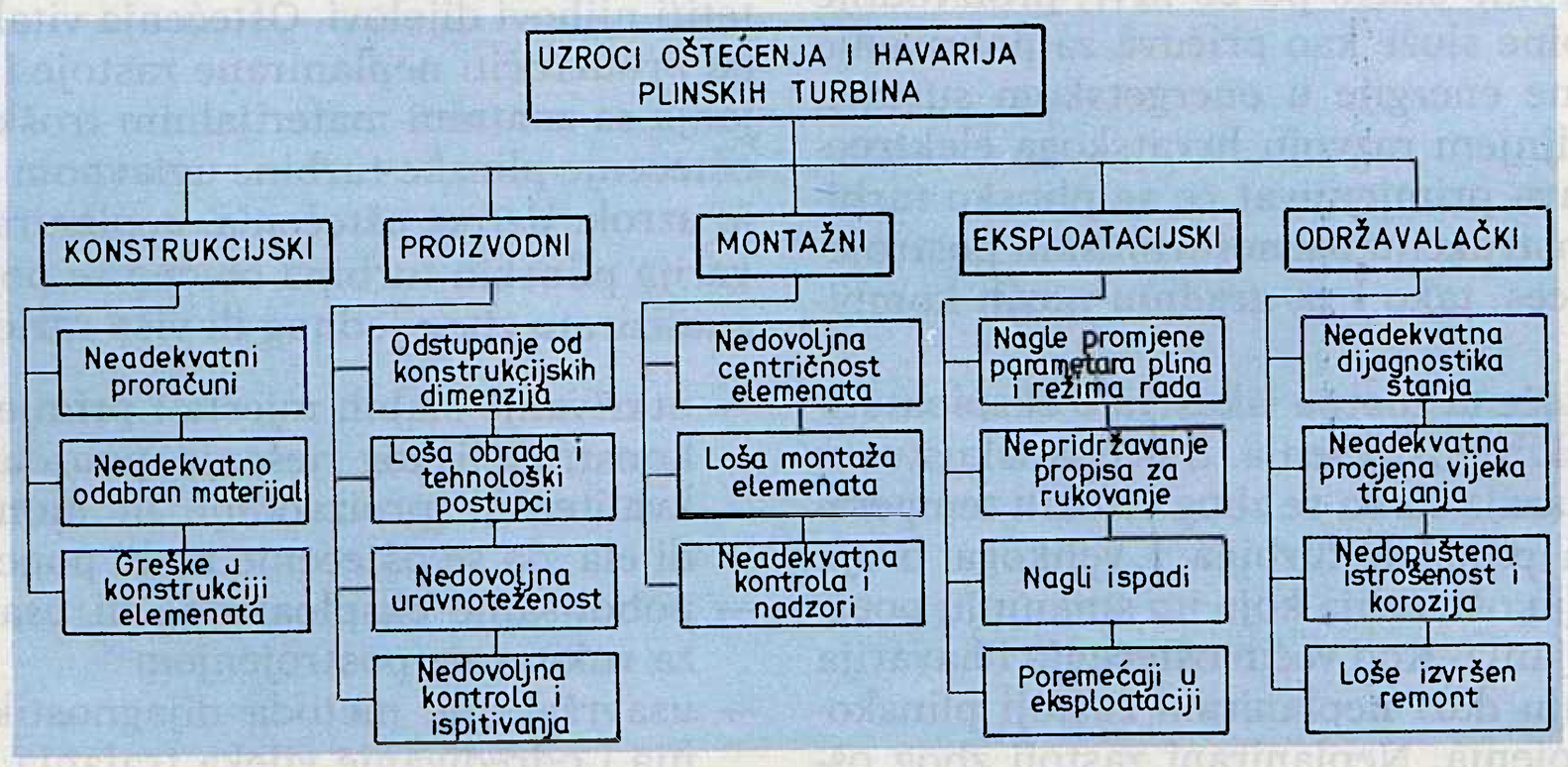
— konstrukcijski
— proizvodni
— montažni
— eksploatacijski
— održavalački.

Grafički prikaz strukture uzroka oštećenja i havarije plinskih turbina dan je na slici 1. Konstrukcijski, proizvodni i montažni uzroci oštećenja jesu ugrađeni uzroci koji se obično pojavljuju u početku rada postrojenja. Održavački uzroci i dio eksploatacijskih uzroka oštećenja i havarija slučajni su i mogu se pojaviti u bilo kojem trenutku radnog vijeka plinske turbine. Dio eksploatacijskih uzroka oštećenja, kao što je korozija, habanje, istrošenost i umornost materijala su monotono djelujući, a nastaju starenjem turbine.

Višegodišnja statistička istraživanja uzroka oštećenja različitih plinskoturbinskih postrojenja za koja su podneseni odštetni zahtjevi pokazala su da je u 73% slučajeva za njih odgovoran proizvođač, i to: za 45% konstrukcija, za 18% proizvodnja i za 10% montaža [4]. Zbog eksploatacije bilo je 27% oštećenja, od čega 11% otpada na loše rukovanje postrojenjem. Ta oštećenja su se odnosila 5% na statorske lopatice kompresora, 5% na rotorske lopatice i rotor kompresora, 21% na statorske lopatice turbine, 29% na rotorske lopatice i rotor turbine. Ukupno je na protočnom dijelu kompresora i turbine bilo 60% oštećenja. Na ležajevima agregata bilo je 14% oštećenja, a oštećenja komore izgaranja bilo je samo 6%. Oštećenja svih ostalih dijelova postrojenja sudjelovale su sa 20%.

Za plinske turbine najbitnija su oštećenja visokotemperaturno opterećenih dijelova: komore izgaranja i turbinskih lopatica prvog stupnja. Glavni uzrok oštećenja komore izgaranja jest nepravilno oblikovan plamen zbog smetnji u sapnici, nepodešen tlak goriva ili pregaranja krilaca za sekundarni zrak. Oštećenje turbinskih lopatica zbog visokih temperatura može biti mehaničko i kemijsko. Statorske lopatice su nepravilnog oblika s različitim debljinama profila. Tanski izlazni i ulazni bridovi profila lopatica brže slijede temperaturne promjene od središta profila. Zbog različitih temperaturnih istezanja izlaznih i ulaznih bridova i središta profila nastaju naprezanja. Kada naprezanje učestalo premašuje granicu elestičnosti, nastaju pukotine zbog niskofrekventnog umora materijala. Za nastajanje pukotina na izlaznim i ulaznim bridovima lopatica najopasnija su termički promjenljiva naprezanja pri ulazu i izlazu turbine iz pogona. Posebno su opasna promjenljiva naprezanja zbog naglih temperaturnih promjena pri ispadima turbine iz pogna, osobito pri brzim ispadima [5,6]. Brzina napredovanja pukotina ovisi o materijalu lopatice, mjestu nastanka pukotine, tj. naprezanju i učestalosti premašivanja granice elastičnosti. Pravovremenim otkrivanjem pukotina mogu se spriječiti veća oštećenja i havarije turbina.

Rotorske lopatice prvog stupnja turbine najopterećeniji su dio. Na njih djeluju termička naprezanja, centrifugalna sila i sila od struje izgarnih plinova. Zbog naprezanja od centrifugalne sile pojavljuje se puzanje materijala. Učestala puštanja u pogon i zaustavljanja turbine i pri tome nastala termička naprezanja uzrokuju umor materijala. Zbog toga je lopatice potrebno zamijeniti prije nego li se deformiraju i polome.



Slika 1. Struktura uzroka oštećenja i havarija plinskih turbina

Na površinama lopatica, u ovisnosti o sastavu goriva i nakupljenom pepelu i soli, mogu nastati kemijske reakcije koje ubrzava visoka temperatura. Djelovanjem kemijskih reakcija i visoke temperature pojavljuje se visokotemperaturna korozija metala. Visokotemperaturna korozija može ugroziti sve površine statorskih i rotorskih lopatica. Neki elementi plinske struje mogu se vezati i s površinskom zaštitom lopatica i razarati je, te stvoriti nove oksidne slojeve. Od kemijskih reakcija može doći i do vodikove krhkosti ako u materijal lopatice prodre vodik. Vodik može ući u materijal lopatice pri kemijskim procesima koji se odvijaju na njihovim površinama u tijeku površinske zaštite u proizvodnji ili u tijeku eksploatacije.

Temperatura visokotemperaturno opterećenih dijelova turbine uvelike ovisi o učinkovitosti njihova hlađenja. Ako je poremećen sustav za hlađenje, lopatice se mogu oštetiti zbog nedopustivo visokih mjestimičnih temperatura. Poremećaj sustava za hlađenje može također prouzročiti deformaciju kućišta i struganje rotorskoga dijela o stator.

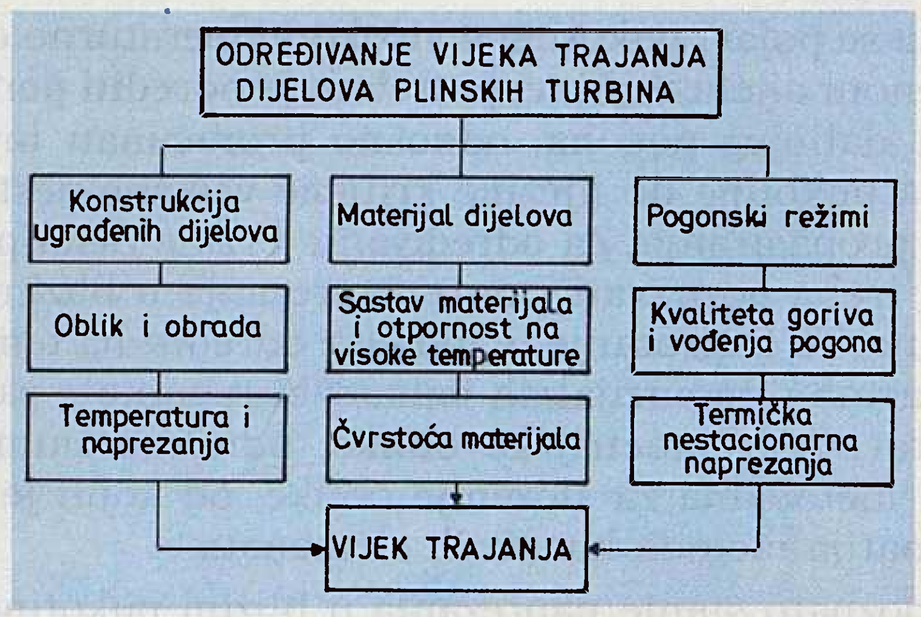
Česti slučaj oštećenja statorskih i rotorskih lopatica kompresora i turbine, kao i ostalog protočnog dijela plinskoturbinskog postrojenja, jesu upadi stranih tijela. Ti upadi stranih tijela mogu biti posljedica loše montaže i remonta. Također mogu biti posljedica odlomljenih djelića elemenata u protočnom dijelu, nošeni strujom fluida, mogu zaglaviti između statorskog i rotorskog dijela i prouzročiti znatna oštećenja i havariju plinskoturbinskog postrojenja.

Upadi stranih tijela u ležajeve ili odlomljavanje djelića ležajne bijele kovine mogu dovesti do većeg oštećenja ležajeva, koje može također prouzročiti veća oštećenja i havariju rotorskoga i statorskoga dijela plinskoturbinskog postrojenja.

Da bi se pravovremeno upozorilo na poremećaje koji bi mogli prouzročiti oštećenja, plinske turbine imaju svjetlosnu i zračnu signalizaciju. Pri većim poremećajima djeluje zaštita turbine koja automatski zatvara dovod goriva i zaustavlja turbinu. Međutim, bez obzira na postojanje vrlo pouzdanih i djelotvornih sustava zaštite, u aksploataciji se mogu pojaviti različiti nepredvidivi uzroci, oštećenja i havarija turbina. Da bi se oštećenja i havarija turbina svele na minimum, jer 100% pouzdanosti u strojarstvu ne postoji, nužno je izvoditi tehničku dijagnostiku vitalnih dijelova plinskoturbinskih postrojenja i određivati im preostali vijek trajanja radi pravovremene zamjene.

3. ODREĐIVANJE VIJEKA TRAJANJA VISOKOTEMPERATURNO OPTEREĆENIH DIJELOVA

Iz iznesenoga je vidljivo da oštećenja visokotemperaturno opterećenih dijelova plinskih turbina, o kojima uglavnom ovisi i njihov vijek trajanja, mogu biti posljedica različitih utjecajnih faktora. U mnogim slučajevima te dijelove turbina trebalo bi prije zamijeniti nego što nastane oštećenje koje bi moglo prouzročiti težu havariju. Određivanje vijeka trajanja visokotemperaturno opterećenih dijelova turbina vrlo je složeno. Do danas ne postoji egzaktna metoda određivanja vijeka trajanja dijelova turbina. Pri određivanju vijeka trajanja potrebno je utvrditi pojedinačni utjecaj svakoga činitelja i njihov međuovisni i objedinjen utjecaj na trajnost ugrađenh dijelova. Sažet prikaz uzajamnih faktora koji djeluju na vijek trajanja ugrađenih dijelova plinskih turbina dan je na slici 2. Pojedini faktori, kao što su konstrukcija ugrađenih dijelova, njihov materijal i eksploatacijski režimi, djeluju jedan na drugog tako da je vijek trajanja pojedinoga ugrađenoga dijela posljedica konstrukcijskog oblika, čvrstoće odabranog materijala i stacionarnih i nestacionarnih naprezanja zbog opterećenja u eksploataciji. To međudjelovanje nije moguće prezentirati jednostavnim relacijama, već je to sinteza mnogih različitih vjerojatnosti zbog mnogostrukog utjecaja eksploatacije.



Slika 2. Utjecaj različitih činitelja na vijek trajanja dijelova plinskih turbina

Različiti autori predložili su različite izraze za procjenu vijeka trajanja visokotemperaturno opterećenih dijelova turbine. U [7] je predložen izraz za određivanje ukupnog oštećenja i vijeka trajanja u obliku:

$$e_s + e_d = e_u = L \leq 1, \qquad (1)$$

gdje je

e_s — udio oštećenja (iscrpljenje materijala) zbog konstantnog (statičkog) naprezanja i visoke temperature (puzanje materijala)

e_d — udio oštećenja (iscrpljenosti materijala) zbog izmjeničnog (dinamičkog) naprezanja (promjene opterećenja, puštanja u pogon i zaustavljanja)

e_u — ukupno akumulirano oštećenje (ukupna iscrpljenost materijala)

L — vijek trajanja.

Iz izraza (1) slijedi

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{\tau_i (\sigma_i)_t}{\tau_{Ai} (\sigma_i)_t} + \sum_{j=1}^{m} \frac{N_j (\Delta \varepsilon_j)}{N_{Aj} (\Delta \varepsilon_j)} = e_u = L \leq 1, \qquad (2)$$

gdje je

$\tau_{Ai} (\sigma_i)_t$ — vrijeme eksploatacije τ_i pod jednim opterećenjem σ_i pri temperaturi t

$\tau_{Ai} (\sigma_i)_t$ — maksimalno trajanje eksploatacije

$N_j (\Delta \varepsilon_j)$ — broj promjena opterećenja za vrijeme trajanja eksploatacije

$N_{Aj}(\Delta\varepsilon_j)$ — broj promjena opterećenja do pojave pukotine.

Brojčana vrijednost prema danom izrazu (2) daje ukupno oštećenje, odnosno granicu vijeka trajanja L. Prvi pregled ugrađenih dijelova treba provesti pri ukupnom oštećenju $e_u = 0.3$. Pri $e_u > 0.8$ trebalo bi zamijeniti oštećeni dio, jer je na temelju vjerojatnosti iscrpljenosti radnog vijeka moguć ispad postrojenja iz eksploatacije.

Prema danoj metodi proračun vijeka trajanja sastoji se od procjene stupnja iscrpljenosti materijala zbog statičkog i dinamičkog naprezanja, tj. puzanja i umornosti. Procjena ukupne iscrpljenosti temelji se na linearnoj teoriji akumulaciji iscrpljenosti zbog različitih karaktera opterećenja i naprezanja i njihova algebarskog zbrajanja. Pri tome ukupna iscrpljenost ne smije prijeći 80% od potpune iscrpljenosti materijala.

Kada se pojavi pukotina u visokotemperaturno opterećenom dijelu turbine, potrebno je odrediti pouzdanost daljnjeg pogona, odnosno proračunati brzinu rasta pukotine do njezine kritične veličine nestabilnog propagiranja. Za određivanje brzine rasta pukotine treba poznavati stanje naprezanja u blizini pukotine. To naprezanje je moguće odrediti na temelju linearnih diferencijalnih jednadžbi ravnoteže za jednostavnije geometrijske oblike, odnosno numeričkim metodama za složenije oblike, od kojih je najpoznatija metoda konačnih elemenata.

Za poznato stanje naprezanja u blizini pukotine, uz pretpostavku linearno-elastične mehanike loma, moguće je odrediti brzinu rasta pukotine na temelju Parisove diferencijalne jednadžbe [8]:

a) za uvjete statičkog visokotemperaturnog opterećenja (puzanja)

$$\frac{dl_p}{d\tau} = c_p K^{m_p}, \tag{3}$$

b) za uvjete niskocikličkog opterećenja (umornosti)

$$\frac{dl_p}{dN} = c_c K^{m_c}, \tag{4}$$

gdje je

l_p — dubina pukotine
τ — vrijeme
c_p, m_p — faktori osobina materijala za puzanje, određuju se eksperimentalno
N — broj ciklusa opterećenja
c_c, m_c — faktori materijala za niskocikličnu umornost, određuju se eksperimentalno
K — faktor intenziteta naprezanja, koji definira funkciju naprezanja u blizini vrha pukotine.

Faktor intenziteta naprezanja može se odrediti pomoću izraza Grafitta:

$$K = c\sigma\sqrt{\pi l_p}, \tag{5}$$

gdje je

c — koeficijent oblika putkotine
σ — vlačno naprezanje.

Vodeći proizvođači plinskih turbina preporučuju za ocjenu vijeka trajanja visokotemperaturno opterećenih dijelova metodu ekvivalentnih sati rada. Po toj metodi ocjenjuje se utjecaj pojedinih događaja i režima rada za vijek trajanja pomoću ekvivalentnoga broja sati rada, koji jednako utječe na vijek trajanja kao i broj sati rada postrojenja s nominalnom snagom. Ekvivalentni broj sati može se odrediti pomoću empiričnog izraza [9]:

$$\tau_e = k(\tau_n + a_p\tau_p + a_r\tau_r) + b_n N_n + b_h N_h + b_i N_i, \tag{6}$$

gdje je

k — konstanta koja uzima u obzir utjecaj kvalitete goriva (za plin $k = 1$, za srednje destilate $k = 1{,}2 - 1{,}25$)
τ_n, τ_p, τ_r — broj sati rada s nominalnim ili manjim opterećenjem, s većim od nominalnog do vršnog opterećenja, s većim od vršnog do rezervnog opterećenja
a, b — koeficijenti ovisni o tipu konstrukcije (daju ih proizvođači na temelju svojih proračuna i iskustava: $a_p = 3 - 4$, $a_r = 12 - 20$, $b_n = 5$, $b_h = 12 - 20$, $b_i = 0 - 15$)
N_n, N_b, N_i — broj normalnih upuštanja u pogon, broj brzih upuštanja u pogon, broj ispada iz pogona.

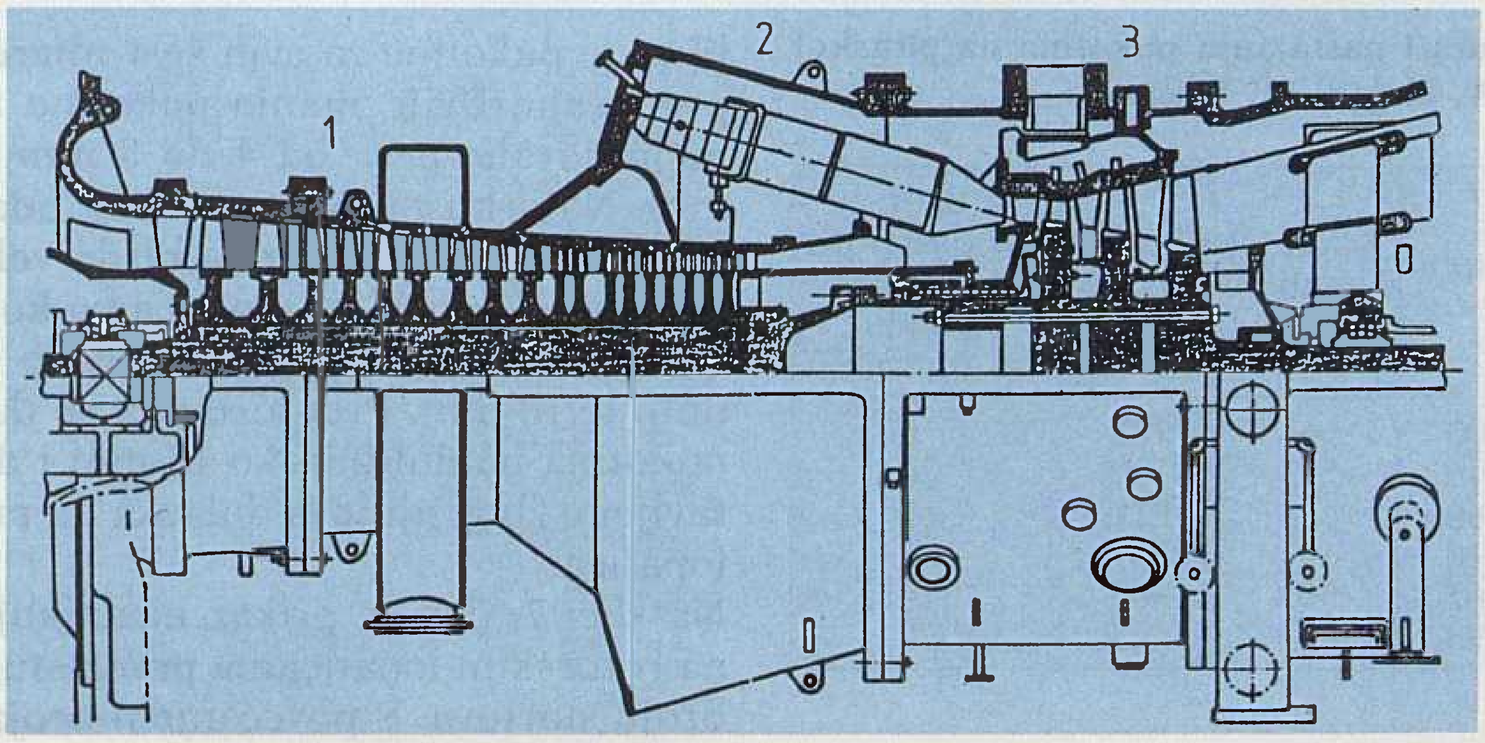
Brojčane vrijednosti ekvivalentnih sati rada dobivene pomoću izraza (6) mogu se koristiti kao orjentacija za određivanje sati rada do pojedinih pregleda turbine i za određivanje vijeka trajanja visokotemperaturno opterećenih dijelova, bez obzira na to što su vizualno dobri.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA OŠTEĆENJA I VIJEKA TRAJANJA DIJELOVA PLINSKIH TURBINA U EKSPLOATACIJI

Plinske turbine obično su proračunate za vijek trajanja od 100 000 radnih sati. Međutim, radni vijek njihovih visokotempaeraturno opterećenih dijelova mnogo je kraći. Iz iznesenoga se vidi da radni vijek visokotemperaturno opterećenih dijelova plinskih turbina uglavnom ovisi o sljedećim utjecajnim faktorima:

— temperaturi izgarnih plinova
— materijalu i konstrukciji dijelova
— režimu rada (opterećenje, puštanje u pogon i zaustavljanje)
— vrsti i kvaliteti goriva.

Istraživanja oštećenja i vijeka trajanja statorskih i rotorskih lopatica kao najvitalnijih visokoopterećenih dijelova plinskih turbina u eksploataciji pokazala su da su najutjecajniji faktori na njihovo oštećenje i vijek trajanja visoka temperatura izgarnih plinova, vrsta goriva i ulazi i ispadi iz pogona [1,7,10]. Na plinskoj turbini snage 31,5 MW broj 4 instaliranoj u TE Jertovec 1976. godine (slika 3) za vrijeme uporabe te-



Slika 3. Uzdužni presjek kroz plinskoturbinsko postrojenje, snage 31,5 MW, TE Jertovec: 1 — kompresor; 2 — komora izgaranja; 3 — turbina

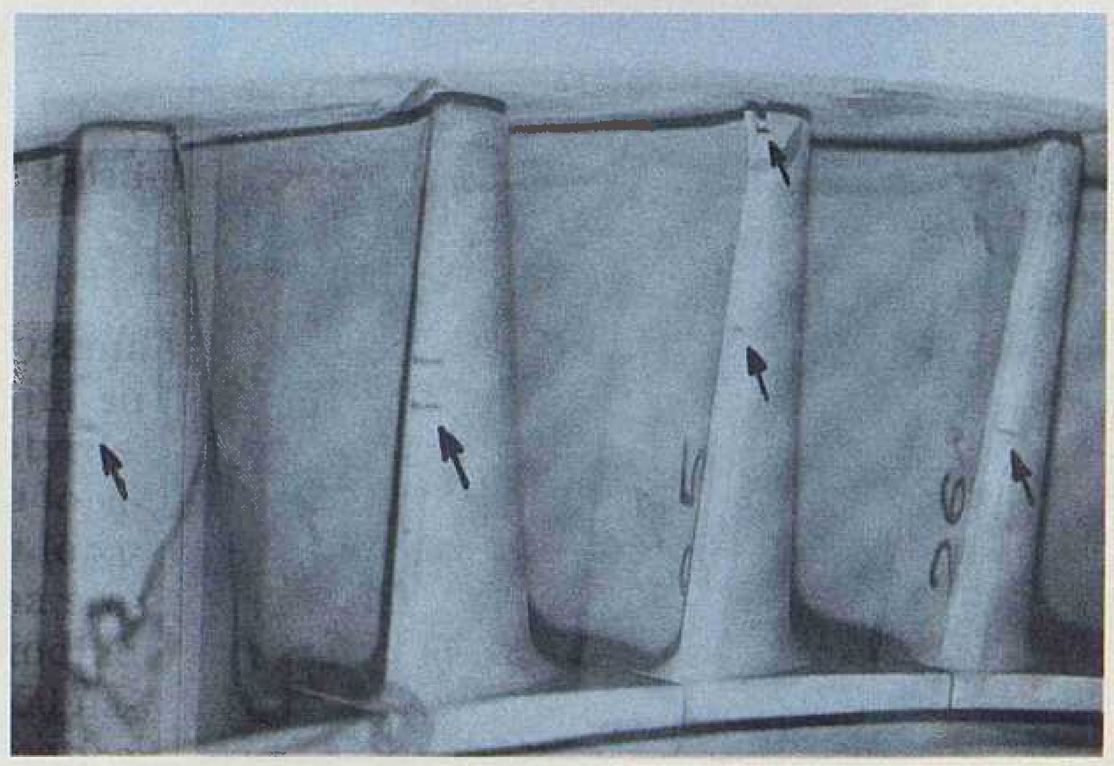
kućega goriva pojavila su se oštećenja statorskih lopatica prvog stupnja zbog visokotemperaturne korozije. Ona je posljedica prisutnosti kalije i natrija u gorivu nešto iznad dopuštenih granica. Zbog visoke temperature od 1 019 °C i tempraturnih šokova nastale su pukotine na ulaznim i izlaznim bridovima profila statorskih lopatica. Na slici 4. prikazan je primjer pukotine na izlaznom bridu profila statorske lopatice. Pomoću prislonjenog mjerila može se vidjeti da pukotina na toj lopatici iznosi do 32 mm. Oštećene statorske lopatice sanirane su zavarivanjem.

Slika 4. Prikaz pukotine na izlaznom bridu statorske lopatice prvog stupnja tribine

Primjenom zemnog plina od 1980. godine i sniženja temperature plinova izgaranja na 980 ° smanjili su se navedeni problemi. U kasnijim pregledima utvrđene su pukotine na ulaznim bridovima rotorskih lopatica prvog stupnja turbine. Na većini rotorskih lopatica pukotine ulaznog brida bile su približno na sredini lopatica. U tijeku remonta turbine 1987. godine nakon 10 666 sati rada i pri tome 767 starta i 550 naglih ispada turbine, zamijenjene su rotorske lopatice s većim pukotinama ulaznog brida lučne mjere do 10 mm. Na nekim zamijenjenim rotorskim lopaticama bila su uočena oštećenja od udara stranog tijela.

Rotorske lopatice s manjim, jedva uočenim pukotinama na ulaznom bridu ostavljene su u radu zbog nedovoljnoga broja novih lopatica za njihovu zamjenu. S djelomično zamijenjenim rotorskim lopaticama turbina je radila do 1991. godine, kada je ponovno obavljen pregled. Na većini rotorskih lopatica utvrđene su pomoću penetrirajućih boja pukotine na ulaznim bridovima, približno na sredini visine lopatica (slika 5). Na slici 5. vidljive su pukotine na ulaznom bridu lopatica u obliku horizontalnih crtica. Na vrhu jedne lopatice vidljivo je oštećenje od udara stranog tijela. Turbina je do tada radila 16 694 sata i pri tome je imala 800 startova i 567 naglih ispada.

Budući da je prema propisima proizvođača turbina većina pukotina bila veća od dopuštenih, pogon je bio dopušten samo uz praćenje napredovanja pukotina. Tako da je od 1991. do 1994. godine, kada su zamjenjene sve rotorske lopatice prvog stupnja turbine, obavljeno šest pregleda i mjerenja pukotina. Pri tome je turbina imala nova 3 462 sata rada, novih 193 startova i 34 nagla ispada. Do zamjene rotorskih lopatica u tijeku remonta 1994. godine turbina je ukupno radila 20 176 sati i pri tome je imala 993 starta i 601 nagli ispad.



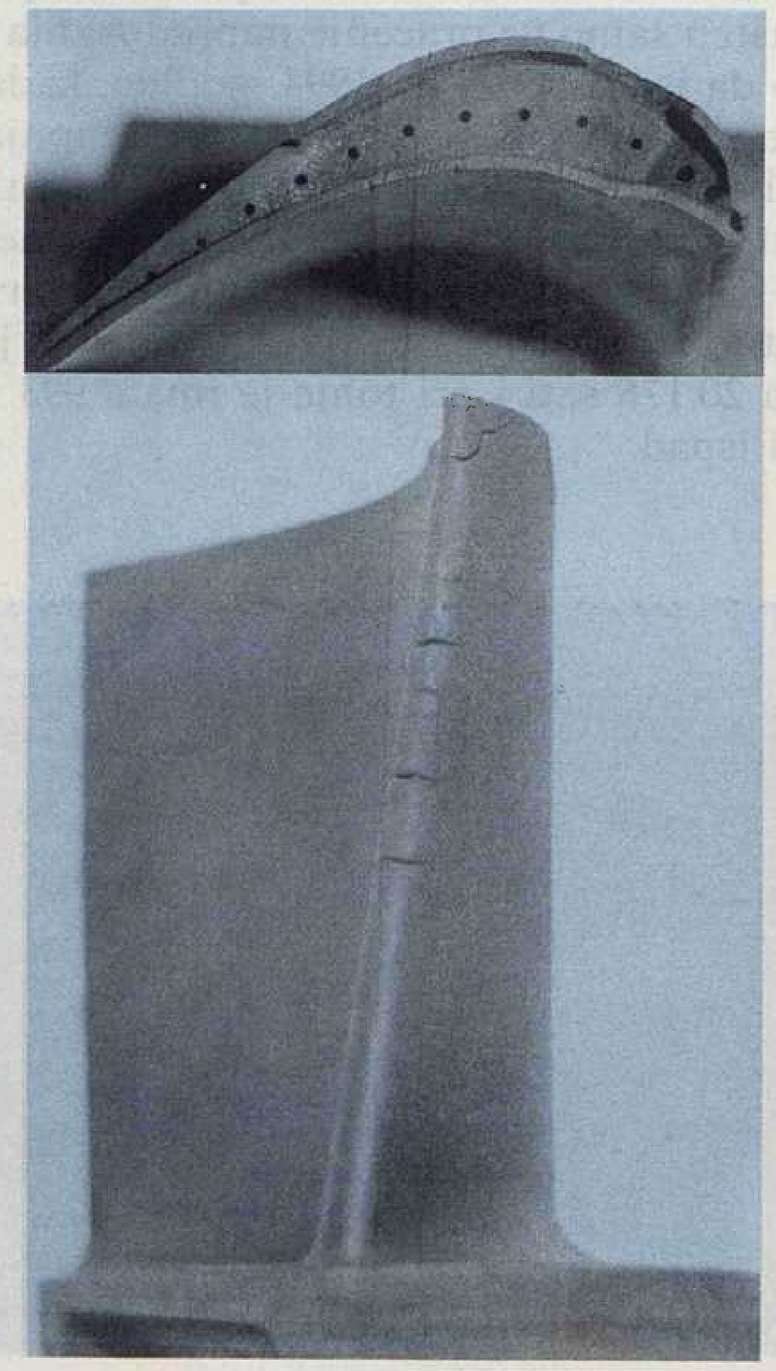
Slika 5. Prikaz pukotina na ulaznom bridu rotorskih lopatica prvog stupnja turbine

Energija, god. 44 (1995) 2, 95 – 103

Tablica 1. Podaci o radu i nastajanju pukotina na plinskoj turbini, snage 31,5 MW, blok 4, TE Jeretovec

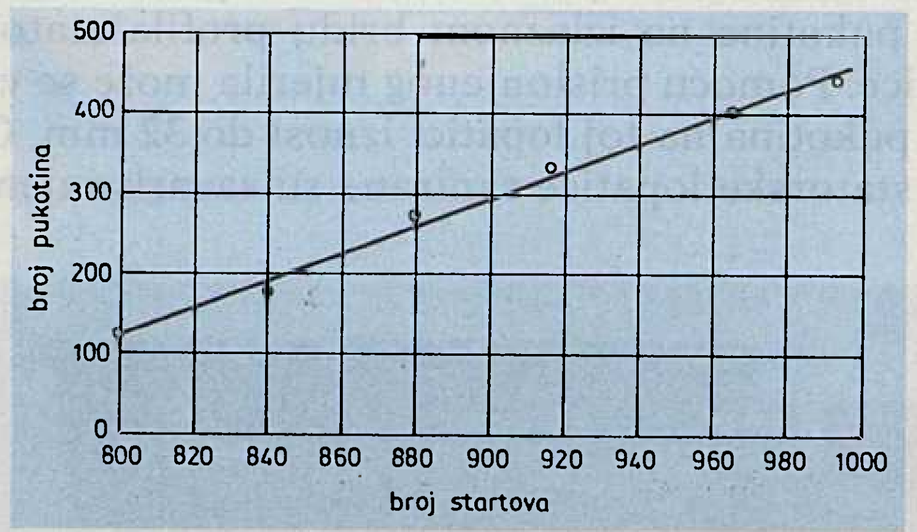
Broj pregleda	Ukupno sati rada	Ukupno startova	Ukupno naglih ispada	Ukupno pukotina	Broj produljenja pukotina između dva mjerenja
1	16 694	800	567	123	0
2	17 313	840	582	180	34
3	17 972	880	888	271	67
4	18 700	916	594	331	85
5	19 775	965	599	405	114
6	20 176	993	601	447	74

Rezultati pregleda, mjerenja i praćenja napredovanja pukotina na rotorskim lopaticama prvog stupnja turbine dani su u tablici 1. Iz rezultata istraživanja pukotina danih u tablici 1. vidljivo je da su između svaka dva pregleda i mjerenja nastale nove pukotine i da se približno četvrtina postojećih pukotina produljila, tj. dalje napredovala. Od prvog pregleda i mjerenja pukotina na lopaticama nakon 16 694 sati rada turbine do šestog pregleda nakon 20 176 sati rada nastalo je novih 324 pukotina. Pukotine su nastale na lopaticama koje su već imale jednu ili više pukotina i na lopaticama koje nisu imale pukotina. Od petog do šestog pregleda i mjerenja za samo 401 sat rada turbine nastale su na lopaticama 42 nove pukotine, a i 74 postojeće pukotine su se produljile. Najveću pukotinu na ulaznom bridu već pri prvom mjerenju imala je rotorska lopatica broj 67, duljine lučne mjere 10 mm i još dvije manje pukotine (slika 6). Duljina te pukotine za svih šest mjerenja nije dalje napredovala. Dvije manje pukotine na toj lopatici su napredovale, prva od 4 do 8 mm, druga od 4 do 6 mm. Na vrhu te lopatice, zbog udara stranog tijela, odlomljen je dio ulaznog brida veličine 12 × 10 mm. Pukotine na ostalim lopaticama koje su bile manje u tijeku šest mjerenja napredovale su, ali najviše do duljine 10 mm. Pretpostavlja se da je napredovanje pukotina na duljini oko 10 mm i dubini 3 mm zaustavljeno zbog njihova dolaska do provrta za hlađenje lopatica.

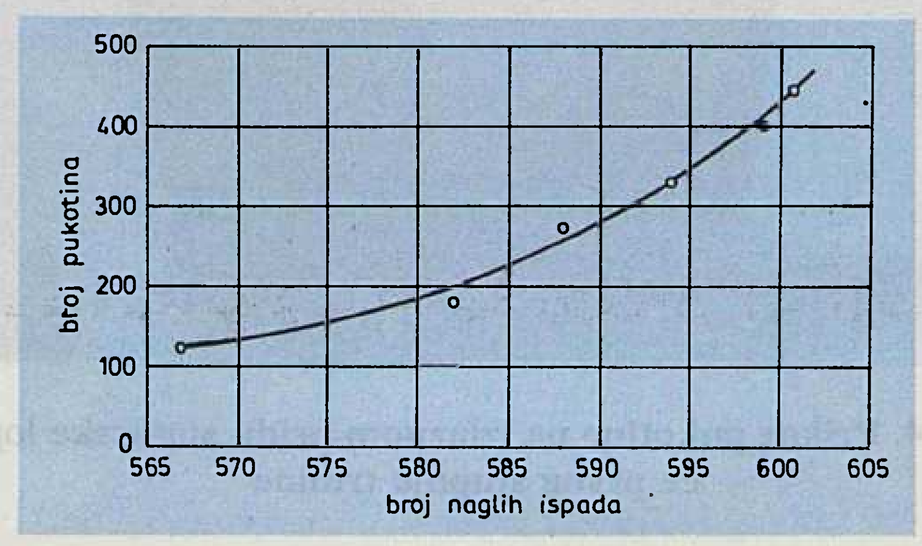


Slika 6. Pukotine na ulaznom bridu rotorske lopatice broj 67 prvog stupnja turbine

Na slici 7. dan je prikaz nastajanja novih pukotina na rotorskim lopaticama prvog stupnja u ovisnosti o broju startova. S povećanjem broja startova turbine raste broj novih pukotina na rotorskim lopaticama. Povećanje broja novih pukotina približno je linearno s povećanjem broja startova. Ovisnost nastajanja novih pukotina o broju naglih ispada prikazana je na slici 8. Iz danoga dijagrama može se vidjeti da ovisnost povećanja broja novih pukotina o broju naglih ispada ima eksponencijalnu zakonitost. Prema tome, na nastajanje novih pukotina na ulaznom bridu rotorskih lopatica znatnije utječu nagli ispadi turbine s obzirom na startove.



Slika 7. Ovisnost nastajanja pukotina na rotorskim lopaticama prvog stupnja plinske turbine o broju startova



Slika 8. Ovisnost nastajanja pukotina na rotorskim lopaticama o broju naglih ispada plinske turbine

Pukotine nastaju uglavnom zbog termičkih šokova, tj. termičkih naprezanja pri startu i zaustavljanju turbine. Nagla termička naprezanja uzrokuju u materijalu niskocikličku umornost i nastajanje pukotina. Najveći utjecaj na nastajanje pukotina imaju termička naprezanja pri naglim ispadima turbine.

Za ocjenu pouzdanosti rada rotorskih lopatica s pukotinama na ulaznom bridu obavljeni su proračuni naprezanja u lopaticama zbog centrifugalne sile, sile

plinova, vibracijska naprezanja zbog moguće rezonancije, termička naprezanja u stacionarnom pogonu, pri startu i zaustavljanju turbine i naglim ispadima iz pogona [11]. Rezultati proračuna pokazali su da su najveća opterećenja rotorskih lopatica zbog termičkih naprezanja, i to osobito pri naglim ispadima turbine iz pogona. Pri naglim ispadima naglo se hlade lopatice s vanjske strane te nastaju visoka termička naprezanja u lopatici.
Horizontalno vlačno naprezanje na ulaznom bridu lopatice pri naglim ispadima iznosi do 190 MPa. Na lopaticu istovremeno djeluju svi oblici naprezanja te se naprezanja zbrajaju na načelima tenzorskog računa. Pri ispadu dolazi na ulaznom bridu do zbrajanja termičkog i centrifugalnog naprezanja, te ukupno maksimalno naprezanje iznosi 266 MPa.
Kad lopatice imaju pukotinu, proračun čvrstoće svodi se na proračun pouzdanosti i vijeka trajanja takovih lopatica. Procjena pouzdanosti rada turbine s pukotinama na rotorskim lopaticama vrlo je složena zbog netočnosti proračuna razina temperatura i naprezanja u lopaticama i nepoznavanja mogućih odstupanja parametara u procesu eksploatacije turbina. Za približnu procjenu pouzdanosti rada lopatica s pukotinama proračunava se kritična pukotina pri kojoj bi se lopatice slomile. Kritična veličina pukotine lopatice može se odrediti pomoću izraza analognog izrazu (5):

$$L_{kr} = \frac{K_{Ic}}{c^2 \sigma^2 \pi}, \qquad (7)$$

gdje je
K_{Ic} — žilavost loma za materijal lopatice
σ — vlačno naprezanje
c — koeficijent oblika pukotine.

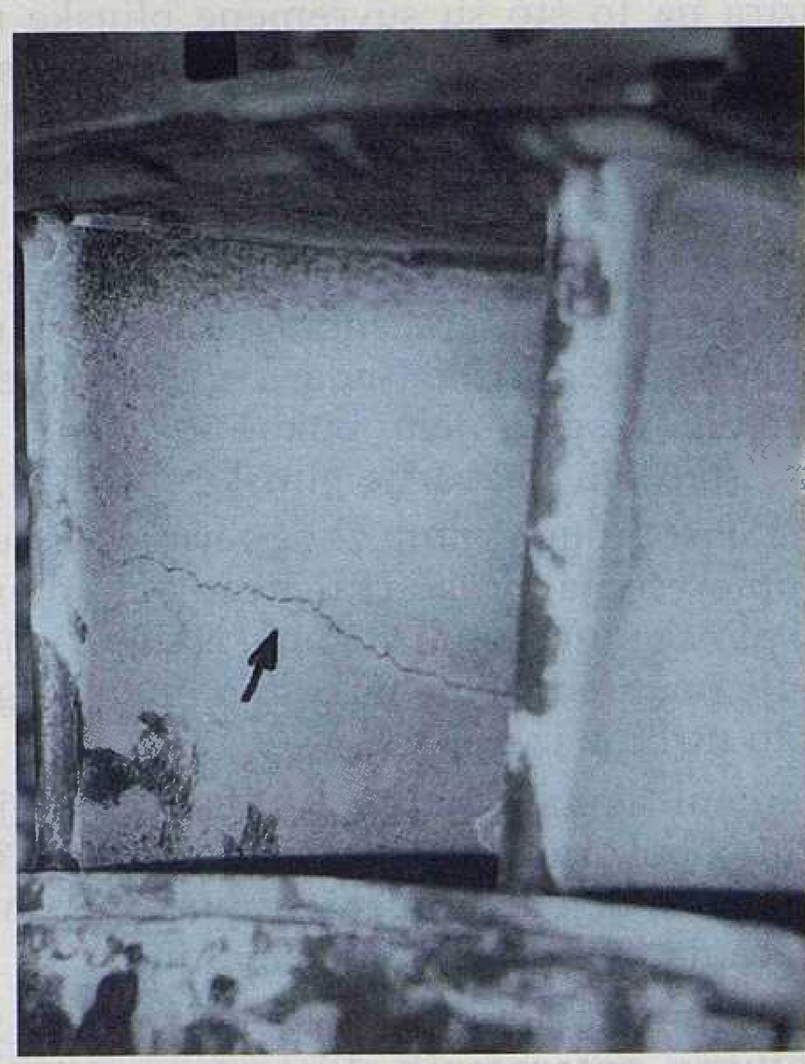
Za materijal rotorskih lopatica UDIMET 500 žilavost loma K_{Ic} = 140 MPam$^{1/2}$, koeficijent c = 2, najveće vlačno naprezanje u lopatici s najvećom pukotinom 10 mm na vrhu pukotine σ = 177 MPa [11, 12], dobivena je kritična pukotina $l_{kr} \geq 0{,}1$ m. Prema tome, neće doći do naglog loma lopatice ako pukotina bude i znatno veća od 10 mm.
Određivanje vijeka trajanja lopatica s pukotinom svodi se na proračun brzine napredovanja pukotine. Brzina napredovanja pukotina zbog niskocikličke umornosti može se procijeniti na temelju podataka za materijal lopatica [13, 14, 15] ovisno o rasponu faktora intenziteta naprezanja danog izrazom (5).
Za najveću pukotinu la lopatici l_p = 10 mm, σ = 177 MPa, c = 1,222, dobiven je faktor intenziteta naprezanja K = 38,3 MPam$^{1/2}$. Za poznati K dobiva se iz dijagrama [14] da pukotina može napredovati u korozijskoj atmosferi brzinom $dl_p/dN \leq 0{,}1$ mm/ciklusu. Iz rezultata ovog proračuna proizlazi da će zbog niskocikličkog naprezanja pukotine od 10 mm vrlo sporo dalje napredovati.

Ako se za ciklus uzme nagli ispad turbine, mjerenjem je dobiveno da su pukotine na rotorskim lopaticama do lučne duljine 10 mm napredovale najvećom brzinom od približno 0,5 mm/ciklusu [11,12].

Rezultati proračuna brzine napredovanja pukotina zbog statičkog visokotemperaturnog opterećenja (puzanja) pokazali su da je ona kudikamo manja od brzine zbog niskocikličke umornosti [11]. Ispitivanja u [7] također su pokazala da je vjerojatnost zastoja kod termičkih nestacionarnih opterećenja (umornosti) mnogo veća nego kod stacionarnih (puzanje).

U [16] je dana Weibullova statistička analiza nastajanja i napredovanja pukotina na rotorskim lopaticama prvog stupnja turbine. Iz te analize proizlazi da su nagli ispadi turbine iz pogona glavni uzroci nastajanja i napredovanja pukotina.

Na rotorskim lopaticama drugog i trećeg stupnja turbine u tijeku remonta 1994. godine utvrđena su manja mehanička oštećenja zbog udara stranih tijela. Strana tijela najverojatnije potječu od otkidanja djelića rotorskih lopatica prvog stupnja turbine. Na 44 statorske lopatice drugog stupnja turbine pomoću penetrirajućih boja utvrđene su pukotine na izlaznim bridovima duljine od 2 do 22 mm [17]. Lopatice s tim pukotinama, uz praćenje njihova napredovanja, mogu dalje raditi jer ne ugrožavaju bitnije pouzdani rad turbine. Na jednoj statorskoj lopatici drugog stupnja turbine bila je karakteristična pukotina preko cijele grudne površine profila (slika 9). Zbog tako relativno velikog oštećenja lopatica je zamijenjena u tijeku remonta turbine 1994. godine. Na 16 statorskih lopatica trećeg stupnja turbine utvrđene su također pomoću penetrirajućih boja pukotine na izlaznim bridovima duljine od 2 do 5 mm. Vizualnim pregledom utvrđena su manja oštećenja statorskih i rotorskih lopatica kompresora i brtvenih limova zbog udara stranih tijela. Također su utvrđena oštećenja vrhova rotorskih lopatica kompresora zbog njihova zadiranja o statorski dio pri povećanim vibracijama, koja su vjerojatno nastala zbog zaglavljivanja stranog tijela u zazoru između rotorskoga i statorskoga dijela.



Slika 9. Prikaz pukotine na grudnoj strani profila statorske lopatice drugog stupnja turbine

5. MJERE ZA SMANJENJE OŠTEĆENJA I POVEĆANJE POUZDANOSTI RADA PLINSKIH TURBINA

Za realizaciju projektirane pouzdanosti i vijeka trajanja dijelova plinskih turbina bitno je pridržavanje propisanih pravila i kriterija za eksploataciju od strane proizvođača. Osim toga potrebna je dobra izučenost ljudi za rad s plinskoturbinskim postrojenjima. Na temelju istraživanja problema oštećenja i pouzdanosti rada plinskih turbina, za smanjenje oštećenja i povećanja pouzdanosti i produljenja vijeka trajanja dijelova turbina mogu se predložiti određene mjere.

Za smanjenje oštećenja zbog puzanja materijala treba izbjegavati rad turbine s dodatnim naprezanjem i preopterećenjem. *Potrebno je dobro hlađenje statorskih i rotorskih lopatica s održavanjem ispravnosti sustava za hlađenje.*

Za smanjenje oštećenja zbog niskocikličke umornosti potrebbno je voditi pogon sa spornim promjenama temperature, izbjegavati *nagle promjene opterećenja* i nagle ispade turbine iz pogona.

Za smanjenje visokotemperaturne korozije potrebni su filtri za pročišćavanje zraka. Iz plinova izgaranja treba odstraniti štetne metale. U slučaju potrebe valja primijeniti tretman goriva. Lopatice treba površinski zaštititi od visokotemperaturne korozije.

Za sprečavanje štete od upada stranog tijela treba pažljivo izvoditi montažne i remontne radove. Treba također pratiti napredovanje pukotina i sprečavati eventualna spajanja pukotina i otkidanja djelića elemenata protočnoga dijela plinskoturbinskog postrojenja.

6. ZAKLJUČAK

Bez obzira na to što su suvremene plinske turbine vrlo pouzdani strojevi, moguća su u tijeku eksploatacije zbog različitih uzroka oštećenja i havarije koje uzrokuju neplanirane zastoje uz znatne materijalne troškove.

Najčešća oštećenja plinskih turbina su pukotine u visokotemperaturno opterećenom protočnom dijelu i mehanička oštećenja zbog udara stranog tijela. Napredovanjem i spajanjem pukotina mogu nastati znatnija oštećenja i havarije plinskih turbina.

Pukotine nastaju uglavnom zbog termičkih nestacionarnih opterećenja, pri startu, promjeni opterećenja i ispadu plinske turbine iz pogona. Najveći utjecaj na nastojanje i napredovanje pukotina imaju nagli ispadi plinske turbine iz pogona.

Istraživanjem i analizom oštećenja i havarija plinskih turbina pokazalo se da se dijagnostikom i praćenjem stanja, te ocjenom vijeka trajanja vitalnih dijelova oštećenja i havarije mogu smanjiti.

Matematičkim modeliranjem vijeka trajanja visokotemperaturno opterećenih dijelova uz određivanje nestacionarnih temperaturnih polja, polja naprezanja i deformacija može se ocijeniti preostali vijek trajanja i tako spriječiti veća oštećenja i havarije turbina.

Na temelju ispitivanja, dijagnostike stanja i procjene vijeka trajanja vitalnih dijelova mogu se ne samo spriječiti oštećenja i havarije, već i produžiti radni vijek plinskih turbina iznad projektiranog uz maksimalnu radnu pouzdanost.

LITERATURA

[1] B. STANIŠA, A. ČESOREVIĆ, R. AKŠAMIJA, »Razvoj izgradnje, problematika eksploatacije i daljnje mogućnosti primjene plinskih turbina u energetskom sistemu Jugoslavije«, Elektroprivreda 44 (1991)7/8, 248-259.

[2] Ž. DORIĆ, Č. RADIĆ, J. KVASINA, G. PHILIPP, M. ŠANDER, M. ČRNKOVIĆ, »Izgradnja PTE Dujmovača prikaz organizacije i realizacije«, Energetska i procesna postrojenja, Dubrovnik 1994., Zbornik radova, 12 – 18.

[3] B. STANIŠA, »Problemi oštećenja i havarija parnih turbina«, Energija 41(1992)4, 215-225.

[4] M. HUPPMANN, J. LEOPOLD, M. WEISSER, »Einflusse aus die Verfugbarkeit von Gasturbinenanlagen«, Der Maschinensehaden 53(1980) 2, 45-49.

[5] W. ELSNER, »Schading an Gasturbinenschaufeln Schritte von deren Ursachen« Der Maschinenschaden 55 (1982)2, 111-117.

[6] M. L. BERNSTEN, J. M. ALLEN, »Analysis of Cracked Gas Turbine Blades«, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 114(1992)4, 293-301.

[7] W. BERNSTEIN, H. BERNHARDT, P. GOERICKE »Zur Lebensdauer und Instandhaltung von Gasturbinen«, Allianz Report 66 (1993)5, 192-199.

[8] M. BUTKOVIĆ, B. STANIŠA, N. BOŽIĆ, »Ocjena stanja i preostalog vijeka trajanja opreme termoenergetskih postrojenja u eksploataciji«, Znanstveno-stručno savjetovanje Energetska i procesna postrojenja, Dubrovnik, 1994., Zbornik radova 82-86.

[9] B. ČERNIGOJ »Plinske turbine v teoriji in praksi«, Fakulteta za stojništvo, Ljubljana, 1983.

[10] Z. ČEHULIĆ, D. LUKAČEVIĆ, Z. HRUŠKAR, »Oštećenja elemenata protočnog dijela plinske turbine Westinghouse W 251-B1«, Znanstveno-stručno savjetovanje Energetska i procesna postrojenja, Dubrovnik, 1994., Zbornik radova 255-258.

[11] »Studija pouzdanosti rada rotorskih lopatica plinske turbine, blok 4, TE Jertovec«, ENIN-Energetski institut, Karlovac, 1991. i 1993.

[12] M. BUTKOVIĆ, B. STANIŠA, N. BOŽIĆ, »Reliability of Gas Turbines Operation with Blade Cracks«, Proceedings of the International Symposium Gas Turbines and Gas Cycle Plants, Bled, 1993, Zbornik radova, 71-79.

[13] G. S. PISARENKO, »Pročnost materialov i elementov konstrukcij v ekstremalnih uslovijah«, Naukova dumka, Kiev, 1980.

[14] A. J. MCEVILY, »Atlas of stress corrosion and corrosion fatigue curves«, ASM International, Materials Park, 1990.

[15] G. R. HALFORD and others, »Fatigue life prediction modeling for turbine hot section materijals«, Journal of engineering for gas turbines and power, 111(1989) 4, 279-285.

[16] M. BUTKOVIĆ, »Rad plinske turbine s pukotinama na rotorskim lopaticama«, Zbornik tehničkog fakulteta Rijeka, 13(1993), 37-45.

[17] »Izvješće o ispitivanjima na plinskoj turbini PT-4 Jertovec-Konjšćina«, ENIN-Energetski institut, Karlovac, 1994.

PROBLEME DER BESCHÄDIGUNGEN, DER ZUVERLÄSSIGKEIT UND DER LEBENSDAUERBESTIMMUNG DER GASTURBINENTEILE

Im Laufe der Nutzung von Gasturbinen können aus verschiedenen Gründen deren Teile beschädigt werden. Diese Beschädigungen vermindem die Zuverläßigkeit und die Lebensdauer der Turbine. In diesem Artikel werden die Gründe der Beschädigungen wesentlicher Teile von Gasturbinen erforscht und bewertet. Gegeben sind die Ergebnisse ber Beobachtung des Schadenenstehens von Rotorschauffeln der Gasturbinen. Untersucht wird der Einfluß dieses Schadenentstehens auf die Lebensdauer und die Zuverläßigkeit der Gasturbineneinsatzes.

PROBLEMS OF DAMAGE, RELIABILITY AND LIFE TIME DETERMINATION OF THE GAS TURBINE PARTS

During the operation of gas turbines damages of their parts are caused by different reasons. Those damages diminish their reliability and life time. In this article reasons of the vital gas turbine part damages are investigated and analyzed. Results of the damage processes of the blades of the gas turbine rotor are given. The process of the rotor blades damage during their life time as well as the reliability of the gas turbines are analyzed.

Naslov pisca:

Izv. prof. dr. sc. Branko Staniša, dipl. ing.
ENIN — Energetski institut
47000 Karlovac
Mala Švarča 155
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis
1995-02-22

HND nucleus
List Hrvatskog nuklearnog društva
Broj 3/95

IZBOR LOKACIJE ZA ODLAGALIŠTE RAO

Agencija za posebni otpad (APO) obznanila je dosadašnje rezultate izbora lokacija za odlagalište radioaktivnih otpadaka niske i srednje aktivnosti u Hrvatskoj. Utvrđene su 42 moguće lokacije, od kojih će se na temelju daljnjih analiza odabrati nekoliko preferentnih lokacija. U zakonom određenom postupku, između preferentnih lokacija odabrati će se lokacija za izgradnju odlagališta. U prošloj godini APO je izradio "Idejno rješenje odlagališta NSRAO - površinski tip". Za ovaj tip odlagališta izraditi će se u suradnji s Međunarodnom agencijom za atomsku energiju (IAEA) studija o sigurnosti. Prema mišljenju stručnjaka APO poslove izbora lokacija nije moguće obavljati ubrzano, već postupno uz sveobuhvatno sudjelovanje struke, državne uprave i javnosti. (APO).

PRETJERIVANJA O ČERNOBILJU

Povodom devete obljetnice udesa u Nuklearnoj elektrani Černobilj (29.04.1986.), u dnevnom tisku pojavljivale su se apsurdno pretjerane brojke o broju žrtava u proteklih 9 godina. Broj žrtava po udesu bio je 31, dvije osobe su izgubile život od ozljeda i opeklina, a 21 od primljene doze zračenja pri akcijama gašenja. Među teško ozračenima 237 osoba, bilo je kasnije još smrtnih slučajeva, tako da je ukupan broj dosegao 42 žrtve krajem 1993. Dakako, osim teških ozračenja veliki broj stanovništva u užem i širem okolišu elektrane primio je doze zračenja koje mogu uvećati prirodnu učestalost raka. Doze koje je stanovništvo primilo istraživale su i određivale u proteklim godinama brojne međunarodne organizacije koje se bave učincima radioaktivnog zračenja. Mogući broj žrtava može se, međutim, samo teorijski odrediti, ovisno o pretpostavkama učinka malih doza zračenja na čovjeka. Stoga se prosudbe kreću u rasponu od 0 do 15000 smrti od raka tokom idućih 70 godina, među 75 milijuna stanovnika šireg okoliša Černobilja. Po prirodnoj učestalosti, od tih 75 milijuna, od raka će umrijeti 15-18 milijuna. Gornja granica procijenjenog broja dodatnih smrti od raka od 15000 predstavlja povećanje za 0.1%. Apsurdna pretjerivanja i zastrašivanja nisu bezazlena. Ona su imala u proteklim godinama ozbiljne negativne učinke na okolno stanovništvo, u obliku psihičkih trauma i poremećaja, što je također dobar razlog za korektno izvještavanje.

ODRŽANA TRIBINA HND

U Kongresnom centru Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu održana je 9.05.1995. druga Tribina HND u ovoj godini, s temom: "Nuklearna medicina; primjena radionuklida". Vrlo interesantno uvodno izlaganje na Tribini imali su prof. dr Darko Ivančević, profesor Medicinskog fakulteta u Zagrebu i doc. dr Damir Dodig, ravnatelj Zavoda za nuklearnu medicinu KBC Rebro.

DEKLARACIJA O SIGURNOSTI NUKLEARNIH INSTALACIJA

Konferencija Europske energetske povelje uskoro će donijeti "Deklaraciju o principima mirnodopskog korištenja nuklearne energije i sigurnosti nuklearnih instalacija, te o suradnji na tom području". Deklaracija, za razliku od Konvencije o nuklearnoj sigurnosti IAEA, nije obvezujuća, a izriče principe korištenja nuklearne energije u cjelokupnom nuklearnom gorivnom ciklusu: od rudarenja do prerade nuklearnog goriva, raspremanja nuklearnih postrojenja i odlaganja

radioaktivnog otpada.
Navedena Deklaracija biti će, po usvajanju na Konferenciji, jedan od pratećih dokumenata Ugovora o europskoj energetskoj povelji što određuje zajednički prihvaćen okvir ponašanja pri mirnodopskom korištenju nuklearne energije u državama potpisnicama Ugovora s naglaskom na primjenu dokazanih i međunarodno afirmiranih normi sigurnosti. Prijedlog teksta Deklaracije utvrdila je tzv. Nuklearna radna grupa (IV) na svojoj 6. sjednici u svibnju 1995 u Briselu, sastavljena od predstavnika država potpisnica Povelje među kojima i Republike Hrvatske. (I. Valčić, Ministarstvo gospodarstva).

PRODUŽEN UGOVOR O NEŠIRENJU NUKLEARNOG ORUŽJA

U Njujorku je od 17. travnja do 12. svibnja održana Konferencija o primjeni i produljenju Ugovora o neširenju nuklearnog oružja (NPT Review and Extension Conference). Na Konferenciji je preispitana primjena i djelovanje Ugovora. Potvrđena je potreba za njegovom kontinuiranom i potpunom primjenom uz pojačani nadzor. Također je potvrđena potreba njegovog produljenja sve do ostvarenja konačnog cilja: potpuno eleiminiranje nuklearnog oružja i ugovor o potpunom razoružanju pod striktnom i učinkovitom međunarodnom kontrolom. Zaključno tome, većina država članica Ugovora izjasnila se za bezuvjetno i neograničeno produljenje Ugovora. Ovaj zaključak prihvatila je i delegacija R. Hrvatske koja je sudjelovala u radu Konferencije kao zemlja članica Ugovora. (A. M. Bešker, Stalna misija R.H. pri UN i međunarodnim organizacijama u Beču).

JUŽNA KOREJA POVEĆAVA VLASTITO UČEŠĆE U NUKLEARKAMA

Južna Koreja u prosincu započinje izgradnju svoje 17. i 18. nuklearne jedinice. Njihovo puštanje u rad se predviđa u 2001. i 2002. godini. Izgradnja je predviđena na lokaciji Younggwane. To će biti 5. i 6. jedinica tipa System 80 koje Južna Koreja gradi s ABB Combustion Engineering-om, svaki put povećavajući udio komponenata proizvedenih u Južnoj Koreji. JužnaKoreja ima 10 nuklearnih jedinica koje proizvode 40 % njihove ukupne električne energije, a do 2006. planiraju imati 23 nuklearke na mreži. (ENS-NUCLEUS, No. 4. 1995.).

CO2 BITI ILI NE BITI

Ukoliko bi današnju proizvodnju električne energije u svijetu u nuklearnim elektranama, zamijenili proizvodnjom izgaranjem ugljena, emisije ugljen dioksida (CO2) bi u jednoj godini porasle za 2 milijarde tona ili za 7%, izjavio je dr Hans Blix, generalni direktor Međunarodne agencije za nuklearnu energiju (IAEA). Pozdravljajući Svjetsko udruženje nuklearnih operatora, dr Blix pozvao je "da se ne ispričavaju" za ekspanziju nuklearne energije, jer je ona značajan i ekonomičan doprinos ograničenju plinova staklenika. (ENS-NUCLEUS, No. 4.95.).

GODIŠNJA SKUPŠTINA I TRIBINA HND

Godišnja skupština Hrvatskog nuklearnog društva održati će se 20. lipnja 1995. u 13 sati u Kongresnom centru Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu. Na početku sjednice dr Leo Klasinc, znanstveni savjetnik u Institutu R. Bošković i suradnik HAZU, održati će vrlo aktualno predavanje: "Učinak staklenika i ograničenja na korištenje fosilnih goriva". Izvješće Upravnog odbora o radu HND i izvješće o financijskom poslovanju u izvještajnom razdoblju su u prilogu.

Odgovorni urednik je predsjednik HND,
prof. dr. Vladimir Knapp.
Hrvatsko nuklearno društvo,
tel.: (041) 629 627,
Avenija Vukovar 39, Zagreb.

Lipanj 1995.

"HND 'nucleus'" sažeti je informativni list Hrvatskoga nuklearnog društva što izlazi šest puta godišnje. Dostavlja se članovima društva, novinarima i vodećim osobama javnog života Republike Hrvatske.

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA d.d.

Potkraj 1994. godine Zastupnički dom Sabora donio je Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o elektroprivredi. Tim zakonom mijenja se oblik poduzeća od javnog poduzeća »Hrvatska elektroprivreda« u dioničko društvo pod tvrtkom »Hrvatska elektroprivreda« d.d., odnosno skraćeno: HEP d.d.
Dionice »Hrvatske elektroprivrede« d.d. u vlasništvu su Republike Hrvatske. Vlada Republike Hrvatske ovlaštena je donijeti odluku o prodaji, uvjetima i načinu prodaje do ukupno najviše 25% dionica.
Proizvodnjom i distribucijom električne energije mogu se baviti trgovačka društva, trgovac pojedinac, obrtnici i građani uz zakonske uvjete.
Prijenosom električne energije i upravljanjem elektroenergetskim sustavom može se baviti samo elektroprivredni subjekt u čijem temeljnom kapitalu s većinskim udjelom sudjeluje Republika Hrvatska.

Izvor: N.N. 78/94.

mr. S. Barta-Koštrun

PRIMJENA PC ZA ELEKTROENERGETSKE PRORAČUNE

Hrvatska elektroprivreda kupila je od tvrtke ABB iz Švicarske integrirani softverski paket »POSCOLab« za analize i planiranje razvoja elektroenergetskog sustava pomoću osobnih računala.
Softverski paket sadrži potprograme za proračun kratkog spoja, proračun dinamičke i statičke stabilnosti velikih električnih mreža u skladu s normama IEC 909 (VDE 0102) i IEC 865 (VDE 0103), te grafičke prikaze rezultata:

— MATOLA Pomoću Newton-Raphsonove metode proračunava opterećenja.
— CORTINA Služi za proračun kratkog spoja. Koristeći se metodom superpozicije određuje položaj generatora ili motora u mreži.
— MANISTA Potprogram služi za simulaciju i proračun dinamičke stabilnosti električnih mreža.
— GRAPHLOA — GRAPHCOR — GRAPHSTAB — POSTPLOT Ovi potprogrami služe za grafičko prikazivanje i printanje rezultata proračuna na laserskom printeru ili ploteru.
— MESTA Potprogram se temelji na Parksovoj jednadžbi. Služi za istraživanje interakcija sinkroni stroj — električna mreža, odnosno istraživanje učinaka parametara regulatora napona na stabilnost električne mreže, uključujući i optimizaciju parametara regulatora napona.

Uvjeti za primjenu ovog programskog paketa jesu:
— procesor 80386/80486
— operacijski sustav DOS 3.3. ili viši
— minimalno 8 MB extend memorije
— hard disk sa minimalno 40 MB memorije
— monitor sa VGA ili EGA karticom.

Izvor: Dokumentacija ABB za rad sa sofverskim paketom POSCOLab.

mr. S. Barta-Koštrun

NOVA ORGANIZACIJSKA SHEMA HEP-a

U Biltenu HEP broj 45 od 15. ožujka 1995. objavljen je novi Pravilnik o organizaciji Hrvatske elektroprivrede d.d. Danom njegova stupanja na snagu prestaje vrijediti Pravilnik o organizaciji od 27. veljače 1992. i 13. kolovoza 1993. godine.
Što se tiče temeljne organizacijske sheme Hrvatske elektroprivrede, ostale su temeljne direkcije za proizvodnju, za upravljanje i prijenos, za distribuciju i kao infrastrukturu direkcija za pravne, kadrovske i opće poslove, te direkcija za ekonomsko-financijske poslove. Uz Sektor za poslovnu informatiku, koji je neposredno podređen generalnom direktoru pridružio se i Sektor za razvoj, jer je direkcija za razvoj i izgradnju ukinuta. Poslovi na izgradnji delegirani su u temeljne direkcije.
Za obavljanje posebnih poslova određenog trajanja osniva generalni direktor posebne timove s adekvatnim ovlaštenjima. Nakon završetka delegiranog posla osoblje se vraća u organizacijske jedinice iz kojih je delegirano.
Osim tih promjena, nastale su promjene i u direkcijama. Ukinuti su uredi podrške u direkcijama, a pojavljuju se tajništva. U direkciji za proizvodnju u dijelu poslova za hidroelektrane umjesto dravskog, primorsko-goranskog i dalmatinskog područja imamo u Sektoru za HE: proizvodno područje HE Varaždin, proizvodno područje HE Rijeka i proizvodno područje HE Split, svako s pripadajućim HE. U direkciji za distribuciju umjesto devetnaest distribucijskih područja u novoj organizaciji je dvadeset i jedno.
Ostali opći akti trebaju se s ovim pravilnikom uskladiti u razdoblju od šest mjeseci.

Izvor: Bilten HEP-a br. 45/95.

mr. S. Barta-Koštrun

ENERGETSKI INSTITUT »HRVOJE POŽAR«

Potkraj 1994. godine počeo je s radom Energetski institut »Hrvoje Požar«, koji je u svibnju iste godine osnovala Vlada Republike Hrvatske uz sudjelovanje Ministarstva gospodarstva i Hrvatske elektroprivrede.
U suradnji s ostalim stručnjacima i ustanovama vezanim za energetiku četrdesetak stručnjaka različitih profila ovog instituta radit će za potrebe Vlade Republike Hrvatske, Ministarstva gospodarstva, Hrvatske elektroprivrede i INA-e na području planiranja energetskih sustava i podsustava.
Na temelju ugovora s Ministarstvom gospodarstva Energetski institut je angažiran na izradi znanstvenoistraživačkog projekta pod nazivom »Razvoj i organizacija hrvatskog energetskog sektora« u vrijednosti 1 760 000 ECU.

Izvor: MG (Ministarstvo gospodarstva) bilten br. 12/94.

mr. S. Barta-Koštrun

EUROPSKA ENERGETSKA POVELJA

Europska energetska povelja sadrži ciljeve koji se odnose na razvoj energetskih resursa u Europi, a odnose se na poboljšanje sigurnosti opskrbe energijom, postizanje maksimalne efikasnosti proizvodnje, transporta, distribucije i

upotrebe energije, te zaštitu okoliša. Povelja se temelji na načelima koje treba poštivati, a to su:

— suverenost država nad prirodnim resursima
— nediskriminacija
— određivanje cijene na tržišnim načelima
— svođenje štete za okoliš na minimum.

Kako je povelja samo politička deklaracija namjera, pravni okvir za suradnju europskih zemalja u području energetike stvorit će se sklapanjem ugovora. Povelju je 1991. godine usvojilo 48 europskih zemalja.

Ugovor o energetskoj povelji predviđa primjenu načela GATT-a u razvoju trgovine energetskim materijalima i proizvodima. Ta načela će primjenjivati sve potpisnice, bez obzira na to jesu li ili nisu članice GATT-a.

Zaštita investicija u energetskom sektoru također je obuhvaćena ugovorom. Predviđa se stvaranje povoljnih i jasnih te stabilnih uvjeta za strana ulaganja u europski energetski prostor.

Izvor: Euroscope br. 15-16/94.

mr. S. Barta-Koštrun

ENERGETSKE TRANSEUROPSKE MREŽE

Komisija Europskog vijeća koja se brine o rastu, kompetitivnosti i zaposlenosti predočit će javnosti tijekom prvog polugodišta ove godine »Bijelu knjigu« o usklađivanju zakonodavstava u kojoj će biti navedene sve zakonodavne mjere koje će pridružene zemlje morati usvojiti kao preduvjet za punopravno članstvo u Europskoj uniji.

Bijelom knjigom Komisije o rastu, kompetitivnosti i zaposlenosti potaknuta je izgradnja transeuropskih mreža u energetici i informacijama te u prometu. Plan izgradnje transeuropskih mreža načinile su dvije grupe osnovane na sastanku. Europskog vijeća u prosincu 1993. godine. U Essenu je 9. i 10. prosinca 1994. prihvaćeno 10 projekata u području energetike, kojima su obuhvaćene i zemlje srednje i istočne Europe. Proširenje na te zemlje veoma je važno jer se tim zemljama jedino na taj način omogućuje fizičko uključivanje u Europu.

I ovdje postoji problem financiranja transeuropskih mreža. Za njegovo rješavanje inicijativu je dala Europska investicijska banka, koja je predložila osnivanje posebnog odijela za financiranje transeuropskih mreža. Iz tih sredstava kreditirali bi se transeuropski projekti u području prometa, telekomunikacija, energetike i zaštite okoliša. Korisnici tog kredita bili bi javni i privatni sektor ne samo iz Europske unije, već i iz zemalja srednje i istočne Europe, Skandinavije i Sredozemlja.

Izvor: Euroscope br. 15-16/94. i 17/94.

mr. S. Barta-Koštrun

CARNet — HRVATSKA AKADEMSKA I ISTRAŽIVAČKA MREŽA

U ožujku 1995. godine Vlada Republike Hrvatske osnovala je ustanovu za informatičku-informacijsku djelatnost pod nazivom Hrvatska akademska i istraživačka mreža — CARNet. Početak rada CARNeta uslijedit će nakon upisa u sudski registar. Djalatnost CARNet je javna.

Djelatnost ove ustanove obuhvaća:

— razvoj, izgradnju i održavanje računalno-komunikacijske infrastrukture koja će povezivati znanstvenoistraživačke i obrazovne ustanove u jedinstveni informacijski sustav
— povezivanje CARNet mreže s međunarodnim mrežama
— razvoj i izgradnju čvorišta i mreža.

CARNet djeluje na području Republike Hrvatske. Radi što učinkovitijeg obavljanja svoje djelatnosti može osnivati podružnice u zemlji i inozemstvu. Nadređeno mu je Ministarstvo znanosti i tehnologije.

mr. S. Barta-Koštrun

SEKUNDARNA REGULACIJA NAPONA I JALOVE SNAGE U EES-u HEP

U elektroenergetskim sustavima u kojima se jalova snaga za potrebe potrošača i mreže osigurava isključivo iz generatora u elektranama, javlja se znatan prijenos jalove snage kroz mrežu, što pogoršava sve tehničko-ekonomske parametre eksploatacije. S druge strane, visok stupanj opterećenosti generatora proizvodnjom jalove snage ima kao posljedicu nepostojanja rezerve jalove snage u sustavu. Takvi sustavi postaju posebno osjetljivi na promjenu konfiguracije mreže i modifikacije plana proizvodnje i potrošnje. Pojava promjene tokova jalove snage u širim razmjerima, nestašica jalove snage u sustavu, znatno opterećenje vodova, nestabilnosti napona zbog kojih se javlja djelovanje zaštite i automatike pa i raspad sustava razlozi su što se u svijetu i kod nas sve više pažnje pridaje sekundarnoj (U-Q) regulaciji.

Da bi se pregledala iskustva s regulacijom napona i jalove snage u elektroenergetskom sustavu Hrvatske elektroprivrede i načinio prijedlog potrebnih zahvata na postojećoj opremi, naručena je studija kod Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu. Studija je završena. Osim prikaza dosadašnjih iskustava i značajki elektroenergetskog sustava, dan je i prikaz idejnog rješenja automatske sekundarne (U-Q) regulacije, te etapnost njezine izgradnje u elektroenergetskom sustavu Hrvatske elektroprivrede.

mr. S. Barta-Koštrun

POVJERENSTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA I NUKLEARNU SIGURNOST

U ožujku 1995. godine Vlada Republike Hrvatske osnovala je Povjerenstvo za zaštitu od zračenja i nuklearnu sigurnost, koje djeluje kao savjetodavno tijelo Vlade.

Osnovni zadatak Povjerenstva jest davanje prijedloga i mišljenja iz ovog područja o:

— strategiji razvoja
— načinu uključivanja u međunarodni sustav
— međunarodnoj suradnji, posebno o pristupanju međunarodnim ugovorima
— organizaciji zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti u našoj zemlji
— prijedlozima zakona kojima se određuju odnosi iz ovog područja
— organizaciji državne službe za provođenje zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti
— nacionalnom planu i programu djelovanja u slučaju radiološke nezgode
— drugim aspektima iz ovog područja.

Povjerenstvo je zaduženo za davanje ocjene stanja zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti u nas, kao i za predlaganje mjera za sanaciju i unapređenje stanja.

mr. S. Barta-Koštrun

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

REZERVE NAFTE I POTROŠNJA

SAD s potrošnjom 3 050 kg po stanovniku i godini su na vrhu svjetskih potrošača nafte. Procjenjuje se da su rezerve nafte u toj zemlji 4 milijarde tona, čime se Sjedinjene Države svrstavaju na 9. mjesto u svijetu po rezervama. Velik je dio svjetskih rezervi u državama Arapskog zaljeva: Kuvajtu, Iraku, Iranu, Ujedinjenim Arapskim emiratima i Saudijskoj Arabiji. Njihove se rezerve procjenjuju na 87,8 milijardi tona, od čega najveći dio, 35 milijardi tona, otpada na Saudijsku Arabiju.
Njemačka koja troši 1 680 kg naftnih prerađevina po stanovniku na desetom je mjestu potrošnje u svijetu.

ETZ, god. 115(1994), br. 21

rk.

POSKUPLJENJE STRUČNE LITERATURE

Cijena stručne literature na međunarodnom tržištu povećana je znatno više nego što bi to odgovaralo inflaciji. Time je najviše pogođena literatura iz tehničkih i prirodnih znanosti. To stvara ozbiljne poteškoće sveučilišnim knjižnicama čije se financiranje u mnogim zemljama smanjuje.

ETZ, god. 115(1994), br. 21

Mrk.

ZAŠTO DJELATNIK NIJE PRIMLJEN NA POSAO

Danas, kad postoji mnogo veća potražnja za poslom no što je slobodnih radnih mjesta, poslodavci imaju mogućnosti biranja djelatnika kojega će uposliti. Zanimljivi su razlozi zašto neki od kandidata za ponuđeni posao nije sklopio ugovor. Prema njemačkim podacima iz 1993, razlozi su bili sljedeći:

nepogodan je kao osoba	37%
traži previsoku plaću	37%
pokazuje manjkavo znanje	35%
pomanjkanje radnog iskustva	18%
slabo mu je ili nikakvo stručno znanje	16%
nepogodno mu je radno vrijeme	16%
prestar je	10%
manjkava opća naobrazba	10%
narušeno mu je zdravlje	7%
previsoke je kvalifikacije	5%.

Iz navedenih postotaka proizlazi da je ista osoba odbijena zbog više razloga.

ETZ, god. 115(1994), br. 21

Mrk.

NOVI EUROPSKI ISTRAŽIVAČKI PROGRAMI

Na zasjedanju EU u Bruxellesu u rujnu prošle godine dogovoreno je 8 novih istraživačkih programa. Oni će uz ukupnu cijenu od 12 milijardi DEM znatno unaprijediti europsku istraživačku politiku u sljedeće 4 godine. Time je utvrđeno oko polovice četverogodišnjega istraživačkog programa. U razdoblju 1994–1998. predviđeno je oko 25 milijardi DEM za istraživačke programe iz područja tehnologije i znanosti. Zajednička istraživanja nuklearne fuzije u sklopu programa »Kontrolirana nuklearna fuzija« dobila su doprinos od 1,6 milijardi DEM. Oko dvije milijarde DEM predviđeno je za program »Nuklearne energije«. Tu je obuhvaćena obnovljiva energija, racionalna potrošnja energije i energija iz fosilnih energenata.

ETZ, god. 115(1994), br. 21

Mrk.

AZIJA — VELIKO TRŽIŠTE ZA SOLARNE SUSTAVE

U sklopu unapređenja narodnoga gospodarstva, u istočnoj Aziji raste potražnja za fotovoltaičkim sustavima. Oni bi se ponajprije upotrijebili za decentraliziranu elektrifikaciju seljačkih područja. Za Indiju se predviđa tržište od 20 000 kW do 1997. Zbog takvih mogućnosti stavila je grupa njemačkih tvrtki u pogon tvornicu solarnih modula u Aurangabadu u indijskoj saveznoj državi Maharashtra. Moduli će se sastavljati iz uvezenih ćelija iz Kalifornije.
Ugovorom tvrtke Siemens i državnoga indonezijskog poduzeća PT.LEN Industri predviđa se dobava proizvodnih uređaja i transfer tehnologije za proizvodnju solarnih modula, a zatim i fotovoltaičkih ćelija. Proizvodnja bi prije svega služila za elektrifikaciju u zemlji. Indonezijskim se programom predviđa elektrifikacija približno milijun kućanstava udaljenih od javne mreže. Snaga uređaja procjenjuje se na 50 MW.
Zbog što jačeg prodora na azijsko tržište Siemens je svoj udio od 25% u singapurskoj tvrtki Showa-Solar Energy povećao na 75%, čime je došao u vodstvo tvrtke.

ETZ, god. 115(1994), br. 21

Mrk.

MATERIJAL KOJI SE STEŽE PRI POVIŠENOJ TEMPERATURI

U uobičajenim uvjetima materijali se pri povišenoj temperaturi rastežu, no istraživačima iz oregonskog sveučilišta (Oregon State University, Corvallis, SAD) uspjelo je izraditi kristaliničan spoj koji se povišenjem temperature steže. Spoj se sastoji od oksida cirkona, vanadija i fosfora.

ETZ, god. 115(1994), br. 21

Mrk.

RADIOAKTIVNI OTPAD U RUSIJI

U Europskom je parlamentu iznesen izvještaj skupine eksperata koja je posjetila Majak (bivši Čeljabinsk) na južnom Uralu, gdje je bivši SSSR proizvodio plutonij i atomske bombe. Kao općeniti dojam istaknuta je upravo nevjerojatna nebriga o radioaktivnim nuklearnim otpacima. Nužno je da se EU vidno angažira, kao u slučaju Černobila, gdje je doznačeno 5 milijuna ECU da se utvrde štete od radioaktivnosti i da se drže u granicama. U sljedeće 4 godine trebalo bi za južni Ural osigurati 40 milijuna ECU. Sada se tek saznaje za tri nuklearne katastrofe koje su se dogodile 1951, 1957. i 1967. u bivšem SSSR-u s posljedicama koje su djelomično bile i teže od onih u Černobilu.

U Majaku se predviđa, u smislu ugovora Salt II, raščinjanje nuklearnih raketnih glava i prerada istrošenog goriva iz nuklearnih elektrana Rusije, Ukrajine, Madžarske i Finske. Za tu bi se svrhu pregradili postojeći uređaji i izgradila tri brza oplodna reaktora, vjerojatno hlađena natrijem. U Majaku postoji tvornica za ustakljivanje visoko radioaktivnog otpada i uređaj za odvajanje izotopa dugog trajanja koji bi u reaktorima »izgorili« u kratkovjeke. U ovim se značajnim radovima predviđa stručna pomoć zapada.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93(1994), br. 25

Mrk.

POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE KUĆANSTAVA U NJEMAČKOJ

Elektroprivreda u zapadnom dijelu Njemačke u toku godine 1993. priključila je na mrežu oko 500 000 novih kućanskih potrošača. Razlog tako velikom broju priključaka jest težnja osnivanju malih kućanstava i znatan broj doseljenih. Time je ukupni broj priključaka kućanstava porasao na 29,4 milijuna. Tijekom 1993. navedena su kućanstva potrošila 107,7 TWh električne energije, a to je 2,8% više nego prethodne godine 1992.
U istočnom dijelu Njemačke 7 milijuna kućanskih potrošača potrošilo je 17,4 TWh, a to je 2,7% više od prethodne godine.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93(1994), br. 26

Mrk.

NUKLEARNA ENERGIJA ZA DESALINIZACIJU MORSKE VODE

Prema obavijesti Međunarodne atomske organizacije (IAEO) u Beču saudijsko-arabijski istraživački centar King Abdul Aziz City u Jiddi u kooperaciji s IAEO i sveučilištem King Abdul Aziz izrađuje studiju o izgradnji uređaja za desalinizaciju morske vode pomoću nuklearne energije.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93(1994), br. 26

Mrk.

NAJVEĆA TERMOELEKTRANA NA UGLJEN

U listopadu 1994. završena je termoelektrana Kendal, najveća termoelektrana na svijetu, instalirane snage 4 116 MW. Elektranu je počelo graditi 1982. elektroprivredno poduzeće Eskom stotinjak kilometara istočno od Johanesburga u Južnoafričkoj Republici. Instalirano je 6 turbinskih agregata po 686 MW, a prvi je završen 1988. i priključen na mrežu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93(1994), br. 26

Mrk.

POVEZIVANJE ZAPADNOG DIJELA BERLINA

Gradonačelnik Berlina svečano je 7. XII. 1994. u rasklopištu Tenfelsbruk uključio vod 380 kV koji povezuje transformatorsku stanicu Reuter u Berlinu sa stanicom Wolmirstedt kraj Megdenburga. Time su završene tehničko ekonomske poteškoće izoliranog otočnog pogona zapadnog Berlina koje su trajale duže od 40 godina. Godine 1952, nalogom sovjetskoga okupacijskog zapovjedništva, prekinute su sve električne veze zapadnog Berlina sa susjednim područjima. Od tada se taj dio Berlina morao opskrbljivati iz vlastitih izvora. Zahvaljujući velikom zalaganju osoblja, prevladane su sve poteškoće pa su industrija i kućanstva uredno napajana električnom energijom. Berlin je tim vodom vezan na jaku zapadnonjemačku mrežu, jer je također izgrađen vod 380 kV Helmstedt-Wolmirstedt i kabelska veza duga 9 km kroz grad čime je povezano rasklopište Tenfelsbruch-stanica Reuter. Prijenosna mogućnost ovog spoja iznosi 1 000 MW. Tijekom 1995. pa do godine 2000. planirano je nekoliko vodova kako bi se dobila čvrsta veza sa zapadnim i istočnim dijelom Njemačke.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93(1994), br. 26

Mrk.

SERIJSKA PROIZVODNJA ELEKTROAUTOMOBILA

Unatoč činjenici da je elektroauto vozio već 4 godine prije automobila na benzin, razvoj elektroauta bio je zapostavljen, uz nekoliko manjih poticaja, sve do naftne krize sedamdesetih godina. No pravi je zamah učinjen nakon donošenja zakona u Kaliforniji (SAD) koji traži porast udjela elektroauta pri prodaji novih vozila (Zero Emission Vehicle) od 1998. godine. Proizvođači automobila pojačali su razvojni rad kako bi stvorili takve modele elektroautomobila s kojima bi mogli ući u serijsku proizvodnju (vidjeti Energija, god. (1993) br. 2 i god. (1994) br. 1 i 5). Serijskom će se proizvodnjom sniziti cijena i time izjednačiti cijene elektroauta bez baterije s istom klasom benzinskog auta. Pri tome, međutim, treba postići da ga korisnici prihvate, jer će oni osjetiti manje koristi od zaštite okoliše. Računa se nadalje s potporom elektroprivrednih poduzeća tako da ona najprije uvedu takva vozila za svoje potrebe. Serijsku proizvodnju pripremaju VW s modelom elektrogolf nazvan CITY STROMER i francuska tvrtka Peugeot/Citroen.
CITY STROMER ima doseg s jednim punjenjem 50 do 70 km, a može razviti brzinu do 100 km/sat. Već prema veličini, računa se s godišnjom potrošnjom od 1 500 do 4 000 kEh po vozilu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93(1994), br. 26

Mrk.

NAJVEĆE BOŽIĆNO DRVO U EUROPI

Najveće božićno drvo u Europi zasjalo je već polovicom studenoga 1994. punim sjajem u parku njemačkog lječilišta Müllheim. Kalifornijsko mamut-drvo visoko 35,2 m, procijenjene starosti 160 godina, ukrašeno je sa 4 000 električnih svijeća nanizanih u 272 lanaca. Ukupna duljina lanaca iznosila je 4,6 km. Događaj svakako vrijedan da uđe u Guinnessovu knjigu rekorda.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93(1994), br. 26

Mrk.

ZAVRŠETAK TRIJU NUKLEARKI U UKRAJINI

U Ukrajini bi trebalo završiti gradnju triju nuklearnih elektrana kako bi se mogli definitivno ugasiti nuklearni blokovi u Černobilu. U sklopu tehničko-ekonomskog programa Tacis za zemlje bivšeg SSSR-a EU je s njemačko-belgijskim konzorcijem nezavisnih inženjera ugovorila studiju o tehničkim, financijskim i organizacijskim uvjetima da se nastavi gradnja ukrajinskih nuklearka i održava pogon prema međunarodnim sigurnosnim standardima. Za radove se

traži 1,5 milijardi DEM, a financijski bi pomogla EU. Riječ je o nuklearnim elektranama Ravno 4, Kmelnitski 2 i Zaporožje 6 snage po 1 000 MW. Reaktori su moderne sovjetske proizvodnje, tipa WER 1000 (voda pod tlakom), no u različitom su stadiju izgradnje. Zbog toga bi za njihovo dovršenje trebala 1 do 3 godine. U Ukrajini je sada u pogonu 9 nuklearnih blokova ukupne snage 8 000 MW, uključivši i dva preostala bloka u Černobilu. Upravo zbog isključenja tih blokova nužno je što prije završiti nuklearke u gradnji kako ne bi došlo do poteškoća opskrbe električnom energijom.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93(1994), br. 26

Mrk.

PRIVATIZACIJA ELEKTROPRIVREDE U ITALIJI

Elektroprivreda Italije podržavljena je prije 30 godina, što je u europskoj usporedbi dovelo do najviših cijena električne energije. ENEL je veličinom treće državno elektroprivredno poduzeće iza takvih poduzeća u Japanu i Francuskoj. Ima 28 milijuna potrošača, a proizvodi 176 000 GWh godišnje uz promet 30 milijardi DEM. Planira se privatizacija, pri čemu bi elektroprivredno poduzeće postalo dioničko društvo. Osnovao bi se holding i poduzeća za proizvodnju, prijenos i distribuciju. Posebno osnovani organ nadgledat će tarife i kvalitetu opskrbe električnom energijom.
Nakon plebiscitarne odluke o gašenju talijanskih nuklearnih elektrana Italija uvozi 16% potrebne električne energije, i to ponajviše iz Francuske.

ETZ, god. 115(1994), br. 24

Mrk.

I AKADEMSKI OBRAZOVANI SU NEZAPOSLENI

Prema podacima za Njemačku utvrđeno je da danas visokoškolski studij ne pruža jamstvo za zapošljavanje. Broj apsolvenata visokih škola povećao se prema 1993. za 20% u zapadnom i 7% u istočnom dijelu Njemačke. Različite struke različito su pogođene besposlicom. Humanistički orijentirani znanstvenici teško dobivaju posao, no i za inženjere su prošla »ružičasta vremena«. Jedino još za socijalne radnike i pedagoge ima viška radnih mjesta. Koliko kandidata za zaposlenje ima u nekoj struci na 100 raspoloživih mjesta, pokazuje sljedeći pregled prema stanju u jeseni 1993.

Humanistički orijentirani znanstvenici	5 482
Matematičari, kemičari, fizičari	5 433
Biolozi, poljoprivredni stručnjaci	3 496
Socijalni i gospodarski stručnjaci	1 728
Učitelji	1 286
Novinari	827
Liječnici i ljekarnici	814
Umjetnici	424
Inženjeri	377
Socijalni radnici i pedagozi	21

(Vidjeti Energija god. 44 (1995), br. 1)

ETZ, god. 115(1994), br. 24

Mrk.

SUPRAVODLJIVI KABELI IMAJU BUDUĆNOST U AMERICI

Na ostvarenju izrade supravodljivog kabela na temelju visokotemperaturnih supravodiča radi se u SAS-u. To je prvi kabel takve vrste u svijetu, a izrađuje ga poduzeće American Superconductor Corporation iz Bostona uz financijsku pomoć američkog ministarstva za energetiku, jer se taj razvojni rad smatra odlučnim za tehnologiju budućnosti. Planira se izrada podzemnog kabela duljega 30 m, koji bi se praktično ispitivao u nekom elektroprivrednom poduzeću. U Americi se planira da se podzemni bakreni kabeli, uvučeni u čelične cijevi, zamijene supravodljivim jednake veličine. Takvi kabeli, uz smanjene gubitke, pružaju mogućnost 2 do 5 puta većih opterećenja. Time se smanjuju troškovi i izbjegavaju ispadi, a povećanu prijenosnu snagu iziskuje povećano opterećenje gradskih središća. Procjenjuje se da bi se u Americi moglo na taj način izmijeniti 3 500 km kabela.

ETZ, god. 115(1994), br. 24

Mrk.

SPECIJALNI ŠTAP ZA SLIJEPE

Japanska tvrtka NEC Corporation iz Tokija razvila je sustav kojim se slijepi mogu orijentirati u zgradi i na ulici. U beton hodnika umiješane su feritne čestice, a slijepac nosi posebni štap s magnetnim senzorom čestice zujalice zuje. Ako se skrene s puta, zujanje prestane. Na određenim mjestima štap aktivira megafon koji upozorava na posebnu opasnost ili daje obavijest o imenu ulice. U Japanu već postoji stotinjak takvih sistema. Približno polovica njih pomaže orijentaciju u zgradama. Nedavno je jedan uređaj ugrađen i u Švedskoj.

ETZ, god. 115(1994), br. 24

Mrk.

NJEMAČKA PODUZEĆA OBNAVLJAJU TERMOELEKTRANE U RUMUNJSKOJ

Već je 1991. sklopljen okvirni ugovor između rumunjske elektroprivredne organizacije Renel i njemačkog konzorcija poduzeća Babcock i ABB o modernizaciji termoelektrana. U listopadu 1994. sklopljen je ugovor za obnovu i modernizaciju dvaju termoblokova u elektrani u mjestu Turceni snage po 330 MW. Vrijednost posla koji će trajati dvije godine iznosi 151,8 milijuna DEM, plativo putem kredita. U radovima je predviđen znatan udio domaćih poduzeća.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 1/2

Mrk.

U JAPANU IZ NUKLEARKI 30 % STRUJE

Prema podacima japanske vlade danas je u Japanu u pogonu 47 nuklearnih reaktora, koji daju oko 30% potrebne električne energije. U gradnji je 5 novih reaktora. Istrošeni gorivi elementi još se ne prerađuju u Japanu, već u Velikoj Britaniji i Francuskoj. No sad je i u Japanu u gradnji uređaj za preradu, koji bi trebao proraditi 2000. godine. Vlada je ponovno naglasila da neće proizvoditi i posjedovati nuklearno oružje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 1/2

Mrk.

PROGNOZE O SMANJENJU POTROŠKA ENERGIJE

Hamburški Esso A. G. izvješćuje u svojoj najnovijoj energetskoj prognozi o budućem potrošku energije u Njemač-

koj. Predviđa se smanjenje potroška energije i rasterećenja okoliša kao posljedicu štednje i ekonomičnije potrošnje u industriji i kućanstvima. U godini 2010. trebalo bi utrošiti za jednaku vrijednost proizvodnje ili uslužne djelatnosti trećinu energije manje nego danas. Također će se promijeniti potražnja za energentima. Dok će se proizvodnja električne energije, snage i topline iz ugljena i nafte smanjiti, znatno će porasti potrošnja zemnog plina. Nepromijenjen će, međutim, ostati udio proizvodnje struje iz nuklearnih elektrana. Udio obnovljene energije neće se znatno povećati.

Elektrizitfatswirtschaft, god. 94(1995), br. 1/2

Mrk.

EUROPSKE OZNAKE ZA HLADNJAKE I ZAMRZIVAČE

U Bruxellesu su izdani novi europski propisi za kategorizaciju hladnjaka i zamrzivača. S obzirom na potrošak električne energije, uređaji su označeni slovima od A do G. Oznaka A znači najmanju, a G najveću potrošnju energije dotičnog modela. Osim toga, prema konstrukciji uređaji su razvrstani u 10 razreda. Prema tim propisima daje se za svaki uređaj prosječni godišnji potrošak u kWh, stvarno različit prema prilikama. Također se označava buka u dB.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 1

Mrk.

JAPANSKI USPJESI S BRZIM BRUT-REAKTOROM MONJU

U mjestu Tsuruga u Japanu izvedeno je u travnju 1994. prvo kritično paljenje prototipa brzog brut-reaktora Monju električne snage 280 MW. Sinkronizacija na mrežu predviđena je za travanj 1995, a opterećenje će se postupno povećavati na 40, 75 i 100% pune snage. Nakon brojnih planiranja gradnja je počela u listopadu 1985. Prethodnih reaktora Monju bio je reaktor Joyo, termičke snage 100 MW. To je istraživački reaktor koji je u pogonu već 15 godina. Uređaj je služio za istraživanje, za ozračivanje nuklearnog goriva i reaktorskih materijala. Osim toga, služio je i za obuku osoblja.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 4

Mrk.

TRANSPORT ENERGIJE U SVIJETU

Na stručnom savjetovanju energetičara u Essenu u listopadu 1994. raspravljalo se o svjetskoj povezanosti, prijevozu energenata te o tehničkim, ekonomskim i ekološkim pitanjima u svezi s energijom. Industrijski razvijene zemlje uglavnom su do polovice ovog stoljeća trošile energente dobivene u vlastitoj zemlji, ponajprije ugljen. No nakon drugoga svjetskog rata naglo se razvijala živa međunarodna trgovina s nositeljima primarne energije. Energetski se izvori sve više udaljuju od svojih krajnjih potrošačkih središta i transport postaje vrlo aktualan.

Na zasjedanju su izneseni mnogi zanimljivi podaci o transportu i potrošnji energenata, pa su neki ukratko dani u ovom prikazu.

Svjetski potrošak energije (1993) iznosio je 7,8 milijardi tona ekvivalentne nafte, a od toga na sljedeće energente otpada:

nafta	3,12 milijardi t ekv. n.
ugljen	2,14 milijardi t ekv. n.
zemni plin	1,79 milijardi t ekv. n.
nuklearna energija	0,58 milijardi t ekv. n.
voda	0,20 milijardi t ekv. n.

Od ukupne količine nafte zemlje OECD troše 58%, a zemnog plina 50%. No njihove su rezerve u tim energentima vrlo malene: 5% nafte i 9% zemnog plina. Naprotiv, u zemljama OPEC leži 75% svjetskih rezerva nafte i 40% plina. Sa sličnom rezervom zemnog plina raspolažu i zemlje bivšeg SSSR-a. Nafta se nastoji transportirati naftovodima kao najpovoljnijim načinom, jer je potrebna energija za transport 9 kWh/1 000 t km. Kod brodskog prijevoza taj je utrošak dvostruk, a kod željezničkog četverostruko veći.

Transport zemnog plina plinovodima vrlo je raširen i ekonomičan. Plinovodi iz zapadnog Sibira prenose plin na daljinu 6 000 km. Na primjer, plinovodom promjera 1 420 mm, pod tlakom 75 para, može se godišnje prenijeti 25 milijardi m^3 plina. Prijevoz ukapljenog plina, računajući ukapljivanje, brod i ponovno isparavanje, traži energetske gubitke od 12 do 20%. Prijevoz je ekonomičan na daljine 3 000 km i više. Iskorištenje velikih obnovljenih energija sunca, vjetra i voda vrlo udaljenih od potrošača moguće je danas jedino putem elektrolize vodika i transporta u obliku tekućih hibrida.

Daljnje povećanje potrošnje električne energije moguće je samo donekle prikriti modernizacijom starih elektrana i obnovljivom energijom, pa ostaje alternativa prijenos iz vrlo udaljenih hidroelektrana, ako to dopušta cijena. Na primjer, izgrađuje se istosmjerni visokonaponski kabelski prijenos snage 600 MW, duline 250 km, kojim će se viškovi vodnih snaga Norveške i Švedske prenositi u Njemačku. Jedna novija studija obrađuje mogućnost prijenosa hidroenergije 1 200 MW do 2 400 MW kabelskom istosmjernom vezom visokog napona s Islanda u Veliku Britaniju. Duljina veze iznosila bi 1 700 km, a u studiji se zaključuje da bi cijena energije bila konkurentna onoj iz termoelektrana Velike Britanije.

Napredak u istosmjernoj prijenosnoj tehnici omogućio bi svjetsko energetsko povezivanje. Godine 1992. rusko-američka radna grupa istraživala je, radeći u Anchragenu u Aljaski, mogućnosti povezivanja Rusije i SAD-a.

Veza bi bila izgrađena za snagu od 20 GW. Najuži dio mora između Sibira i Aljaske iznosi 86 km, što za takvu vezu ne bi bio problem, no trebalo bi još izgraditi liniju od Dalekog istoka do Bajkala, nekih 5 000 km, a u SAD do Portlanda u Oregonu. Prednost veze istok-zapad bila bi u pomaku vremena i time izravnanju opterećenja.

Promjene u godišnjoj dobi mogle bi se pak iskoristiti linijom sjever-jug povezivanjem Europe i Afrike. Golemi vodni potencijal Inga u Zairu (bivši Kongo) snage 30 GW mogao bi se prenijeti u Europu pomoću 3 dalekovoda 800 kV uz korisnost od 80%. Usput bi se mogli priključiti fotovoltaički uređaji u Sahari. Projekt bi s današnjeg stajališta bio ekonomičan, ali je za dogledno vrijeme zapreka politička situacija.

No danas se mogu prenositi velike električne snage na veliku daljinu i klasičnim trofaznim sistemom. Postaje konkurentan visokonaponskom istosmjernom sistemu. Tehničko ekonomske analize su pokazale mogućnost prijenosa snage 5 000 MW do 15 000 MW na daljinu 5 000 km. Danas je ugradnjom kompenzacije i brze regulacije pomoću elektronike osigurana stabilnost velikih prijenosa. Na kraju je ipak izražena sumnja u svjetsko globalno povezivanje zbog političke i tehničke nesigurnosti. Zbog toga treba nastojati da se energija dobiva iz vlastitih izvora blizu mjesta potrošnje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 4

Mrk.

REGULIRA JEZERO I PROIZVODI STRUJU

»Brana-elektrana Seujet« je nakon šestogodišnje izgradnje u teškim uvjetima i uz utrošak 174 mil. švicarskih franaka osigurala Ženevi suvremenu regulaciju razine jezera. Zahvaljujući specijalnim vodnim turbinama ugrađenim u integriranoj hidroelektrani, usprkos ekstremno malom padu moguća je proizvodnja električne energije.

Ženeva mora uvoziti 70% električne energije, djelomice i iz Francuske. Mogućnost smanjenja te zavisnosti ponudila se 1982. godine, kada je odlučeno da se izgradi novo postrojenje za reguliranje razine jezera. Do tada se punih 100 godina za to koristio sustav drvenih zapornica iz 39 elemenata na ručno posluživanje kojim se razina Ženevskog jezera uvijek održavala između 371,7 i 372,3 m n. m. Ako bi se odstupilo od te tolerancije, došlo bi do poplava priobalja ili pak luke ne bi bile uporabive. Zastarjelo se postrojenje donedavno aktivirao, oko 10 000 puta godišnje da bi se mijenjanje razine ograničilo na ±30 cm.

Kada su 1988. godine počeli građevinski radovi na izvedbi najsuvremenijega elektronski upravljanoga regulacijskog postrojenja, grad ženeva odlučio je da u ovo postrojenje ugradi i hidroelektranu. Od samog početka bilo je jasno da će proizvodni troškovi zbog ekstremno malog pada biti visoki. Zbog velikog protoka dolazile su u obzir samo velike i stoga skupe turbine (rotori promjera pet metara), a zbog vrlo malog pada i proizvodnja energije ostaje malena. Ugrađene su tri Kaplanove cijevne turbine s dvojnom regulacijom, dok se pripadni generatori pogone putem planetnih pogona. Pad se mijenja od 0,6 do 3,2 m, količina vode varira između 40 i 125 m^3/s. Svaka turbina daje maksimalnu snagu 2,9 MW. Brzina vrtnje turbina je samo 53,7 o/min, da bi stupanj korisnosti i kod najmanjih padova bio što bolji. Generatori imaju brzinu vrtnje 750 m/min postignutu planetnim prinosom, što je ekonomičnije rješenje. Ukupni stupanj korisnosti znatno je povoljniji nego kod rješenja s izravno spojenim generatorom.

Nakon ugovora i konstrukcije ispitivanja u nezavisnom hidrauličnom laboratoriju državne institucije ASTRO u Grazu pokazala su da je stupanj korisnosti turbina veći od garantirane vrijednosti za znatnih 2,4%, što odgovara kapitaliziranoj vrijednosti od 4,55 mil. švicarskih franaka. Elektrana proizvodi 30 mil. kWh godišnje. Posebno je ova elektrana važna za opskrbu Ženeve pitkom vodom.

U tijeku izgradnje osobito su bili teški građevinski radovi od 1988. do 1994. godine. Posebno je bio osjetljiv položaj gradilišta u samom središtu Ženeve. Strogi uvjeti za izbjegavanje buke uvjetovali su veće troškove. Osim toga, tijekom izgradnje morao je biti osiguran slobodan protjecaj Rone (do maksimalno 550 m^3/s). To je uvjetovalo posebnu dinamiku građenja, a i transport opreme bio je otežan uskim uličnim prolazima i nedostatak deponije, pa se oprema morala odmah ugrađivati. Sustav regulacije i elektrana funkcioniraju vođeni računalom, bez osoblja. Nadziranje se obavlja iz hidroelektrane Verbois, udaljene nekoliko kilometara nizvodno.

Da objekt ne bi narušio izgled grada, elektrana je praktički potpuno upuštena u tlo. Redovito se kontrolira podvodna fauna i riblji fond. Pregradni stup između brane i strojarnice izveden je s ribljom stazom. Za zadovoljenje uvjeta zaštite okoliša utrošeno je 3,5 mil. švicarskih franaka.

Već u prvom postrojenju za reguliranje razine jezera, koje je pušteno u rad 1886. godine, razlika razine korištena je za dobivanje energije, tada dakako na izravan način. Osamnaest Jonval-turbina bilo je ugrađeno u elektranu »La Coulouvreniére«. Svaka od tih turbina pogonila je dvije klipne crkve, od kojih je jedna napajala mrežu pitke vode, a druga je davala energiju urarskoj industriji u obliku vode pod tlakom.

Technical Review Sulzer, 4/1994.

E. H.

VODNE SNAGE — EKOLOŠKA PRIGODA

Među obnovljenim energijama vodne snage jedine su koje mogu osigurati bitan prinos gospodarenju, posebno opskrbi vodom. Obnavljanjem postojećih hidropostrojenja moguće je povećati proizvodnju električne energije bez većeg utjecaja na čovjekovu sredinu. Katkada je čak moguće poboljšati ekološku situaciju.

Svaka metoda koja mijenja dobivanje energije šteti ili ugrožava okoliš. Trajno i s krajem usklađeno upravljanje prirodnim izvorima stoga iziskuje kao težište korištenje prirodno-dinamičkih odvijanja procesa i s tim uključivanje obnovljive primarne energije. Zbog svoje gustoće snage i povoljne ukupne energetske bilance, vodne snage su kao do sada jedina primarna energija dosegla velike tehničke razmjere — kako u pogledu njihova udjela u rastu primarne energije, tako i u količini pojedinih strojeva ili elektrana.

Gdje su ukupne ekološke granice korištenja vodnih snaga još nije, bez obzira na mnoge studije, sagledano, jer većina istraživanja o ekološkim utjecajima sadrži aspekte vezane samo na bliži okoliš odnosno zanemaruju utjecaje na šire područje. Stoga bi trebalo pri razradi pojedinih projekata u svakom slučaju uzeti u obzir ne samo probleme utjecaja na pripadni bliži kraj nego i na sveobuhvatne ekološke odnose.

Za usporedbu raznih vrsta proizvodnje energije vrijede karakteristične veličine koje se odnose na okoliš (usporedi tabelu):

- *Stupanj prirodnosti* ocjenjuje odstupanje postrojenja od potencijalno prirodnog stanja. Prema E. Mauchu razlikuje se sedam prirodnih stupnjeva (1 = prirodno, 7 = potpuno neprirodno).
- *Vrijeme vraćanja novca energijom* je ono vrijeme pogona u tijeku kojeg se isporučilo toliko energije koliko se mora potrošiti za izgradnju i pogon.
- *Stupanj korisnosti.*
- *Žetveni faktor energije* je kvocijent: Količina energije, koju postrojenje proizvede u tijeku svog životnog doba, dijeli se sa količinom energije koju valja uzeti za izgradnju, pogon i rušenje postrojenja. Žetveni faktor s tim također uzima u obzir i sivu energiju, tj. energiju koja se potroši u pretpovijesti, proizvodnji, kod odstranjivanja otpada i sl.
- *Ispuštanje CO_2.*
- *Godišnja potrošnja sirovina.*
- *Potrebna površina.*
- *Godišnje trajanje korištenja.*

Članak zatim obrađuje primjere hidroenergetskih objekata kod kojih su postignuti gospodarski i ujedno ekološki efekti.

Hidroelektrana WYNAU (Švicarska) na rijeci Aarei uz povećanje proizvodnje električne energije za 70% poboljšava ekološku situaciju okoliša. Uz postojeću proizvodnu jedinicu u strojarnici u koritu rijeke ugrađena je još jedna u galeriji u okuci rijeke koja koristi 3 m veći pad, zbog čega ista količina vode proizvede godišnje 41,6 GWh više energije. Ovim rješenjem se smanjuje tendencija potkopavanja obala, otjecanje postaje ravnomjernije. Uz to se poboljšavaju okolnosti za ribolov, a povećava se životni prostor vodozemaca. Godišnja proizvodnja radi nove izgradnje se povećava za 57 GWh ili za zapaženih 70% te se penje na ukupno 139 GWh. Ova elektrana odgovara stupnju prirodnosti 3.

Pregradnja HE AUGUST-WYHLEN. To je dvojna švicarsko-njemačka elektrana na rijeci Rajni, koja je do sada koristila maksimalno 840 m³/s, a dozvola iz 1988. godine predviđa korištenje do 1 500 m³/s.
Predviđena je ugradnja 13 novih strafloturbinskih proizvodnih jedinica u postojeću zgradu bez većih preinaka. Gubitak energije je sveden na minimum, a žetveni faktor doveden na maksimum. Vanjski obris elektrane je na taj način ostao netaknut, kao i ekološke strukture gornje i donje vode.
Izgradnjom ove elektrane povećava se proizvodnja za 160 GWh godišnje, odnosno za 64% i doseže 410 GWh. Uz više nego čistu struju iz domaćeg obnovljivog izvora energije polučeno je također i povećanje stupnja prirodnosti i na taj način znatno povećanje ekološke vrijednosti životnog prostora u području elektrane. Naime, povećan je na uzvodnoj strani životni prostor dopunjen zonama šljunka i plitkim plohama, koje služe rijetkim ugroženim biljkama i životinjama, kao npr. zviždovkama, kao životni prostor, i to na području dviju država.

Technical Review Sulzer, 1/1995.

E. H.

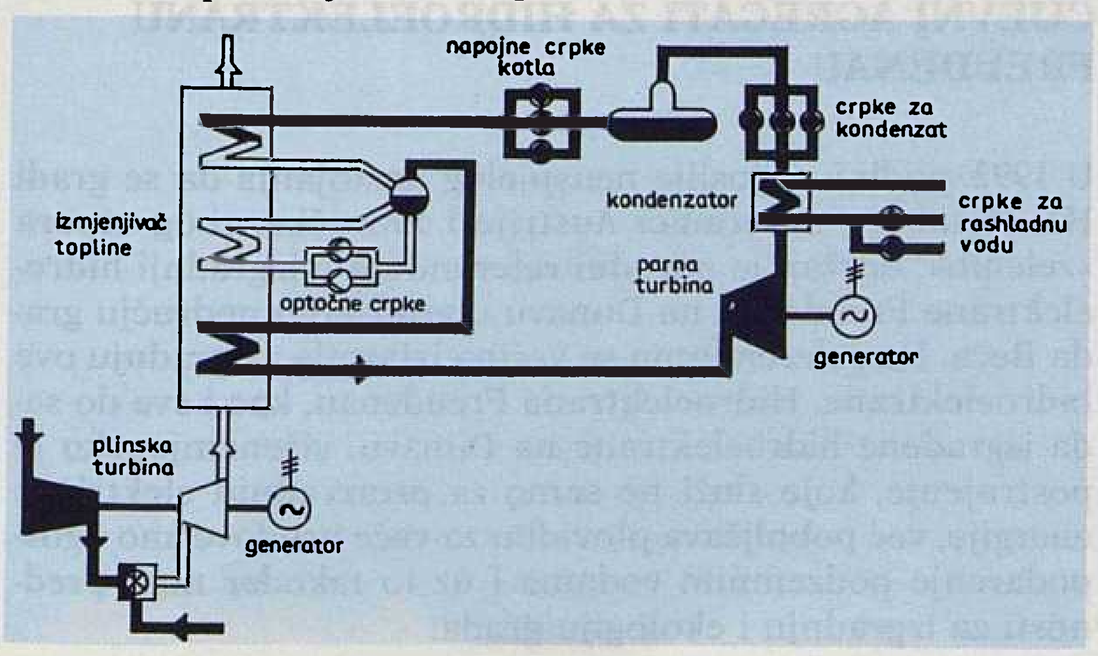
Usporedba različitih izvora energije

	Vraćanje novca energijom (godina)	Stupanj korisnosti (%)	Žetveni faktor (–)	Ispuštanje CO_2 (t/GWh)[1]	Potrošak sirovina (t/god.)	Potrebna površina (m²/GW)	Trajanje upotrebe (sati/god.)
Obnovljivi izvori energije							
male hidroelektrane	2 – 3	85 – 90	40 – 100	10	–	promjenljivo[2]	6 000
velike hidroelektrane	1 – 2	90 – 95	100 – 200	3	–	promjenljivo[2]	3 000 – 8 000[3]
fotovoltni uređaji (struja)	3 – 8	10 – 37	3 – 5	7	–	100 000	1 500
sunčeva termika	0,5 – 5	40 – 55	20 – 100	4	–	4.3 mil.	1 500
korištenje vjetra	0,6 – 2	5 – 40	9 – 30	5	–	1,7 mil.	2 000
biomasa (toplota)	10 – 20	10 – 30	10 – 20	300 – 400	–	5 000 mil.	8 760
Elektrane na fosilna goriva							
ugljen	2	30 – 40	30 – 80	300 – 1 300	2,1 mil.	2 400	6 000
ulje	2	30 – 40	10 – 30	200 – 1 100	1,5 mil.	2 000	6 000
zemni plin	2	30 – 40	4 – 30	140 – 800	1,3 mil.	1 500	6 000
nuklearke (uran)	1	30 – 40	2 – 100	8 – ?	37,5	870	7 500

Izvor: F. Cap. Austrijski časopis za elektroprivredu, god. 45, svezak 12, prosinac 1992.
[1] Količine ispuštanja CO_2 uzimaju u obzor sivu energiju ugljičnog dioksida u pogonu. U količinama za nuklearnu energiju radi pomanjkanja iskustva za likvidaciju postrojenja i goriva siva energija i CO_2-ekvivalent nisu uzeti u obzir.
[2] Uglavnom ovisi o padu. Moguće je uskladiti ekološke uvjete s opskrbom vode, zaštitom od velikih voda, plovidbom, ribolovom te konačno odmorom i športom optimiranjem uspora s ekološki svrhovitim korištenjem vodenih snaga.
[3] Akumulacijske hidroelektrane 3 000 sati; protočne hidroelektrane 8 000 sati.

BOLJI STUPANJ KORISNOSTI ŠTEDI PRIRODNE IZVORE

Kombi plinska elektrana ide među one koje najučinkovitije koriste energiju i štede okoliš pri proizvodnji električne struje iz fosilnih goriva. Crpke i sustavi turbinskih bajpasa bitni su dijelovi takvih postrojenja.
Kombi-elektrana sastoji se s jedne strane iz plinske turbine koja pogoni električni generator, s druge strane iz parne turbine koja preko izmjenjivača topline koristi neiskorištenu toplinu te pogoni drugi generator (vidi sliku).
Važnije su prednosti takvog postrojenja:
- vrlo visok stupanj korisnosti od 55% (prema 40% kod dosadašnjih termo elektrana)
- malo ispuštanja štetnih po okoliš
- niski investicijski troškovi (oko 40% onih za konvencionalne elektrane)
- vrlo kratko vrijeme gradnje (npr. 20 mjeseci za odgovarajuće postrojenje 450 MW)
- brzo pokretanje postrojenja (plinske turbine za 10 minuta) i kratka vremena reagiranja pri mijenjanju tereta.



Najviše kombi-elektrana koristi se zemnim plinom, pri čemu su gotovo uvijek izvedene za dualni pogon (ulje kao gorivo u nuždi, inače plin). Sve više dobija na važnosti primjena sintetičkog plina iz rasplinjenog ugljena.
Prve kombi-elektrane građene su prije više desetljeća. Kako je sredinom osamdesetih godina stupio na snagu »Gas Act« (dozvola za plin kao primarni izvor energije), osvojile su gotovo na ekplozivan način tržište proizvodnje energije. Odlučujući za to jest napredak u razvoju tehnike plinskih turbina.
Potrošnja električne energije u visokoindustrijaliziranim zemljama raste oko 2%, a u prostoru Azije oko 8% godišnje. Snaga novoizgrađenih postrojenja iznosi oko 100 GW godišnje.
Prije svega visoki stupanj korisnosti — s odgovarajućom dobrom iskoristivošću primarne energije — i uz primjenu zemnog plina koji mnogo čistije izgara nego ugljen ili ulje, osiguravaju kombi-elektranama njihovim prilagođenjem uz okoliš prvo mjesto među elektranama na fosilna goriva. Korištenje novih plinskih 200 MW-turbina vodi do veličine bloka od 600 MW, kada se dvije plinske turbine koriste zajedno s jednom parnom turbinom. Može se predpostaviti da će stim velike kombi-elektrane ukupne snage između 2 000 i 3 000 MW zamijeniti postojeć starije elektrane.

Posljednjih godina postignut je velik napredak u konstrukciji crpki i turbinskih bajbas-sustava.
Na primjeru napojne crpke za kotao jedne kombi-elektrane moguće je sagledati odgovarajuće prednosti za okoliš.

— Zahvaljujući vodom hlađenim ležajima, bez održavanja, otpada briga oko starog ulja. Uz to može otpasti cijeli sustav ulja za podmazivanje, s cjevovodima i kontrolnim uređajima. Istovremeno otpada osovinska brtva, pri čemu se smanjuju troškovi za instalacije i održavanje, a potrošnja vode za hlađenje se raspolavlja.
— Modifikacija geometrije raspora u području rotora (LOCAS = low clearances annular seals) povećava stupanj korisnosti od 2 do 3 postotka. Odatle rezultirajuća manja potrošnja primarne energije (ulje, plin) znatno smanjuje opterećenje okoliša (v. tablicu).

Smanjenje emisije štetnih materijala radi većeg stupnja korisnosti

	Sumporni dioksid (kg/god.)	Dušični oksid (kg/god.)	Ugljikovodici (kg/god.)	Ugljični monoksid (kg/god.)	Prašina, čađa (kg/god.)
Teško loživo ulje	3 870	1 326	84	18	276
Zemni plin	15	558	12	0	48

— Naprava za podizanje »permavor« sprečava kod pokretanja i zaustavljanja crpke dodir dijelova za rasterećenje i na taj način njihovo habanje. Sila podizanja proizvodi se permanentnim magnetima. Zahvaljujući permavoru nije potrebno ni podmazivanje ni hlađenje, također ni pri velikoj brzini vrtnje. Isto tako otpadaju odgovarajući poslovi održavanja, pa se polučuje krajnje dugo životno doba. Uz to nije potreban dodatni aksijalni ležaj. Postojeće crpke moguće je naknadno opremiti permavorom.

Pri pokretanju elektrane koriste se turbinski bajpas-sustavi, pri čemu oni tako dugo vode paru mimo turbina, dok ona ne dostigne tlak i temperaturu, da ju je moguće puštati u turbinu. Zahvaljujući ovim ventilima skraćuje se vrijeme pokretanja postrojenja. To smanjuje potrošnju goriva i s tim štedi okoliš.
U Hongkongu gradi GEC-Alsthom, prema ugovoru s China Light a. Power Co., elektranu »Black Point«, jednu od najvećih kombi-elektrana svijeta (ukupne snage 2 500 MW). Elektrana će biti opremljena visokotlačnim i niskotlačnim kotlovskim napojnim crpkama i turbinskim bajpas-sustavima (isporuka Sulzer).
Kombi-elektrane za proizvodnju električne energije s današnjeg stajališta su optimalno rješenje s korištenjem fosilnih goriva kako s obzirom na ekonomsko, tako i na ekološko stajalište.

Technical Review Sulzer, 1/1995.

E. H.

OBNAVLJANJE ŠVEDSKE HIDROELEKTRANE VARÄGON

»Statens Vattenfall«, Elektroprivreda Švedske, obnovila je u svojoj hidroelektrani Vargön generator 12 MWA sa 128 polova. Isporučen je kompletan novi stator s pripadnim paketom limova i namotom. Snaga generatora povećana je sa 12 na 14 MWA. Vanjski promjer generatora je 11,4 m. U opseg posla uključena je i obnova sustava hlađenja te nosećeg i vodećeg ležaja. 128 polova rotora generatora dobilo je nove namote. Uz znatno produženje životnog doba, obnovom je poboljšan stupanj korisnosti, koji pri punoj snazi i cos phi = 0,9 iznosi 96,2%. Generator je poslije obnove uspješno pušten u rad 1. studenog 1993. Posao je ugovoren za 40 mio öS.

Elin News, 3/ožujak 1991.

E.H.

NOVI STATORI GENERATORA ZA HIDROELEKTRANU LANGBJÖRN

»Statens Vattenfall« ugovorio je potkraj travnja 1991. godine djelomično obnavljanje dvaju hidrogeneratora u hidroelektrani Langbjörn (56 mio öS).
Oba stroja, isporučena 1958./59., dobila su nove statore, kompletno složene i namotane u tvornici, vanjskog promjera 9,0 m. Ukupna težina je 119 tona.
Nova tehnologija omogućila je znatno povećanje snage, koja je umjesto dosadašnje 45 MVA uz cos phi = 0,9 porasla na 57 MVA uz cos phi = 0,85.

Elin News, 4/ljeto 1991.

E. H.

OBNOVA HIDROPOSTROJENJA U INDONEZIJI

Ugovoreno je obnavljanje sedam hidroelektrana indonezijskog elektroprivrednog poduzeća PLN.
Sedam hidroelektrana rasprostrto je po cijelom otoku Javi. Djakarti najbliža hidroelektrana je Kracak, a zatim su još Ubrug, Lamajan, Plengen, Ketenger, Jelok i najudaljenija Giringen.
Cijeli je posao bio podijeljen na tri dijela: turbine, generatori i uređaji upravljanja. Službeni početak radova je 1. kolovoza 1993. u HE Ketenger, u sredini Jave. Završetak radova u svim navedenim elektranama predviđen je za kraj 1994. godine.
U tijeku obnavljanja će se 22 generatora srednje veličine demontirati, djelomično obnoviti namoti statora i rotora, mijenjaju se svi noseći ležaji i brtve, ugrađuju novi uređaji statičke uzbude, instrumenti, zračni filtri i sustavi rashladne vode.
Glavni kriterij za obnavljanje jest stanje samih postrojenja. Najnovije postrojenje izvedeno je 1960. godine, a najstarije 1922. godine. Najveći dio ugovorenih poslova odnosi se na postrojenja stara od 60 do 70 godina. Dodatno boljem stupnju korisnosti generatora poslije izvođenja radova predviđeno je produženje životnog doba za najmanje daljnjih 25 godina.

Elin News, 9/siječanj 1993.

E. H.

CIJEVNI AGREGATI ZA HIDROELEKTRANU FREUDENAU

U 1992. godini, a poslije neuspjelog nastojanja da se gradi HE Heinburg na granici Austrije i Slovačke, zbog otpora »zelenih«, održan je narodni referendum o izgradnji hidroelektrane Freudenau na Dunavu u gradskom području grada Beča. Na referendumu se većina izjasnila za gradnju ove hidroelektrane. Hidroelektrana Freudenau, kao i sve do sada izgrađene hidroelektrane na Dunavu, višenamjensko je postrojenje, koje služi ne samo za proizvodnju električne energije, već poboljšava plovidbu za veće brodove kao i gospodarenje podzemnim vodama i uz to također nudi prednosti za izgradnju i ekologiju grada.

Listopada 1992. godine je počeo rok izgradnje od 58 mjeseci do stavljanja u rad prve proizvodne jedinice. Prvo se gradi na desnoj obali, u suhoj građevinskoj jami, splavnica i njezin pregradni zid.
Hiodroelektrana Freudenau imat će maksimalnu snagu 172 MW i godišnju proizvodnju u srednje vlažnoj godini 1 037 GWh. Bit će ugrađeno šest cijevnih agregata. Cijevne turbine će imati rotore promjera 7 500 mm, pad 6,8 m, brzina vrtnje 65,2 o/min, a pojedinačna snaga je 30,3 MW. Cijevni generatori će biti pojedinačne snage 32 MVA, nominalni napon 10,5 kV. Ti strojevi sa statorima generatora promjera 8,75 m po svojoj snazi ulaze u svjetski vrh.
Kod cijevnih generatora, zbog njihove kompaktne konstrukcije, prikladnost za održavanje ima bitnu ulogu, što je u konstrukcije uzeto u obzir.
Specifični rashladni sustav služi za povratno hlađenje i odvod gubitaka generatora, ležaja, turbinskih gubitaka i transformatora bloka u strojarnici. Smještaj generatora unutar vodnog tijeka omogućuje korištenje riječne vode i površine kućiša za svrhu hlađenja. Zatvoreni međuhladnjak sastavni je dio korisnog dijela plašta generatora. On daje vodu za hlađenje izmjenjivačima topline zrak/voda. Generator je na taj način nezavisan od uređaja za pripravu vode koji je osjetljiv na smetnje.
Velik broj hladionika i ventilatora omogućuje laku izmjenu relativno malih komponenata. Uz to, pri ispadu jednog hladionika ili ventilatora generator može dalje raditi gotovo s punom snagom.
Tipična konstrukcija predviđa jednu veliku platformu u kupoli generatora za potrebe posluživanja i održavanja. To omogućuje nesmetan pristup također i kada je generator u pogonu. Podjelom na tri nezavisna rashladna sustava zraka izbjegava se prljanje generatora zbog trošenja četkica i kočnih obloga.
Zatvoreni rashladni krug osim toga služi za grijanje strojarnice. Prvog kolovoza 1997. godine ova bi dunavska elektrana trebala isporučiti prvu električnu energiju.

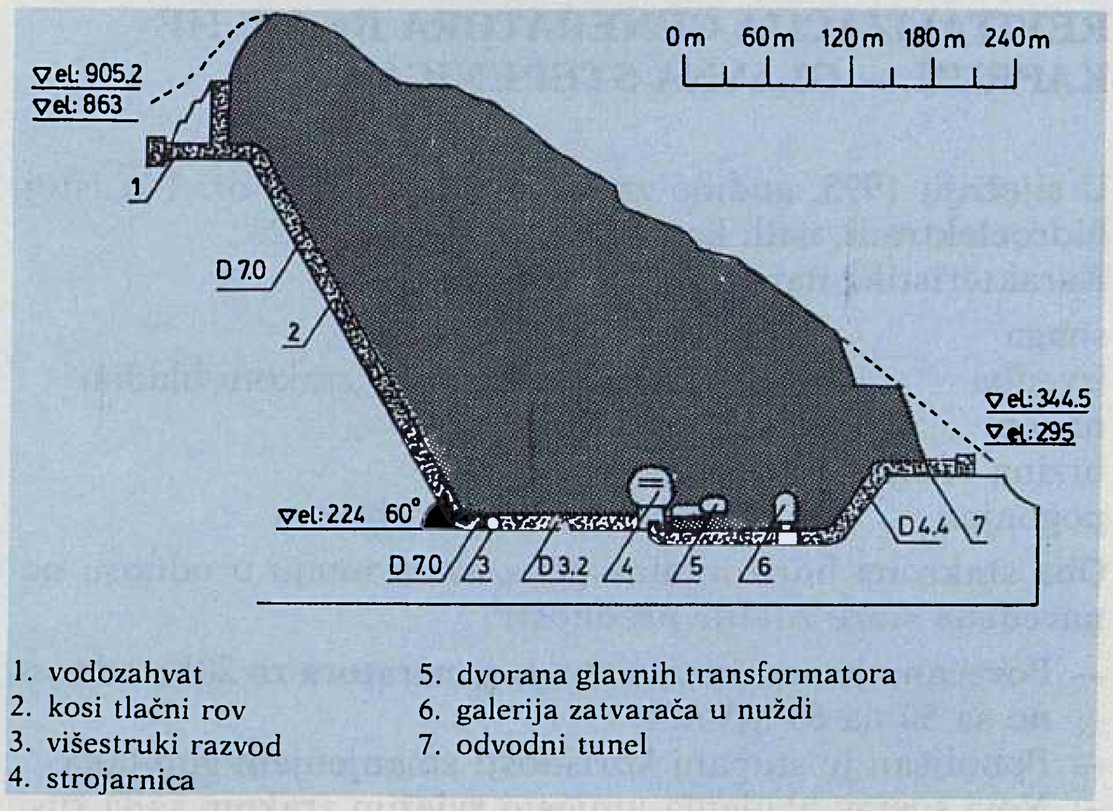
Elin News, 10/travanj 1993.

E. H.

NOVA HIDROPOSTROJENJA U KINI

Ugovorena je izgradnja triju hidroenergetskih postrojenja u Kini.
Tianhuangping je jedna od najvećih crpno-akumulacijskih hidroelektrana na svijetu. Od elektroopreme se isporučuju sinkroni strojevi, uzbuda, zaštita, sustav upravljanja, 500 kV-transformatorsko postrojenje, pomoćni uređaji i ostalo. Ova moderna crpna elektrana je locirana u provinciji Zhejiang na istoku Kine između Shanghaia i Hangzhoua. Ovom elektranom povećava se ekonomičnost cijele mreže pripadne provincije. U ovoj elektrani bit će instalirano 6 proizvodnih grupa po 333 MVA uz godišnju proizvodnju 3 160 GWh (vidi sliku).

Podzemna elektrana smještena je između Tianhuangpinga i Geatianling Berga. Sustav od tlačnih cijevi ponajviše će se morati puniti donjom vodom, pa će strojevi biti stavljeni u rad kao crpke prije nego se omogući turbinski rad. Prva glavna isporuka za ovu elektranu, koju financira Svjetska banka, predviđa je za lipanj 1996. godine, a prva proizvodna jedinica pustit će se u rad u kolovozu 1998. godine. Godišnja proizvodnja je 1 200 GWh.
U poznatoj sredini kod 13 grobova dinastije Ming i kineskog zida gradi se crpno-akumulacijska hidroelektrana SHI SAN LING. Predviđeni rok završetka je skraćen, pa je napravljen stroži vremenski plan. Prva proizvodna grupa treba biti puštena u rad u srpnju 1995. godine, a do 1997. godine cjelokupno postrojenje mora biti u funkciji. Ova elektrana snage 4 × 222 MVA treba uglavnom služiti za pokrivanje vršnih opterećenja glavnoga grada Pekinga.



Vodni sustav Tianhuangping

Treća nova kineska elektrana nalazi se na rijeci Gui Jiang, oko 60 kilometara uvodno od Wuzboua, a njezino ime JING NAN je istoimeno s bliskim selom. Ova hidroelektrana opremljena je cijevnim proizvodnim jedinicama, a služi za navodnjavanje južne kineske autonomne pokrajine Guangxi i za opskrbu električnom energijom. Bit će instalirana dva cijevna generatora po 37,5 MVA. U elektroisporuku ubraja se i centralno upravljanje. Za uzbudu, upravljanje i zaštitu bit će primijenjena najmodernija mikroprocesorska tehnika. Do sredine 1996. godine obje proizvodne jedinice počet će s proizvodnjom za ovu pokrajinu vrijedne energije. Predviđena godišnja proizvodnja jest 289 GWh.
Navedene hidroenergetske objekte oprema više partnera s obzirom na opseg isporuke. Praktički cijelu elektroopremu — strojeve i ostalo — isporučuje ELIN EV, a cjelokupno ugovorena elektrooprema za sva tri objekta stoji 1,5 milijardi öS.
Partneri za Tiamhuangping su Kvaerner Energy, Norveška i General Electric, Kanada. Za Shi San Ling su to Voith Hydro Inc., SAD; Baylay, Kanada; Jeumont Industry, Francuska i Simelectro, Francuska. Za HE Jing Nan je partner J. M. Voith AG, Austrija.

Elin News, 12/siječanj 1994.

E. H.

HIDROELEKTRANA WANG FU ZHOU (KINA)

Za ovu hidroelektranu isporučuju se četiri cijevna agregata po 30,28 MVA, 10,5 kV, 50 Hz, kao i kompletna ostala postrojenja i uređaji. Ealektrana će imati srednju godišnju proizvodnju 560 GWh, predviđenu uglavnom za bliski grad Lao Hekou, sa 500 000 stanovnika. Ova hidroelektrana će biti u komercijalnom pogonu 1996. godine. Uz proizvodnju električne energije ovaj objekt će služiti i potrebama navodnjavanja i plovidbe.
Bitan napredak je kod ovih generatora napravljen time što je do sada isporučilac (ELIN EV) isporučivao cijevne generatore jednodjelne isporuke statora do promjera 6,5 m. Za ovu elektranu će se sva četiri generatora umjesto u dvodijelnoj izvedbi statora isporučiti kao jednodijelni s promjerom statora 7,3 m.

Elin News, 13/lipanj 1994.

E. H.

REVITALIZACIJA GENERATORA Br. 2 U HE KAPRUN — GLAVNA STEPENICA

U siječnju 1995. godine završen je generator br. 1 u istoj hidroelektrani, istih karakteristika kao i br. 2.
Karakteristike navedenih generatora jesu:

snaga	50 MVA
izvedba	D 12 (horizontalna) / zrakom hlađen
napon	10,25 + 7,5 %
brzina vrtnje	500 o/min
pogonjen	Dvojnom Pelton trubinom

Oba sinkrona horizontalna generatora imaju u odnosu na navedene stare znatne prednosti:

— Povećana je nominalna snaga generatora za 20%, odnosno sa 50 na 60 MVA.
— Poboljšan je stupanj korisnosti smanjenjem gubitaka.
— Novi sustav hlađenja umjesto svježim zrakom sada sustavom hladnjaka zrak – voda.
— Veći statički i dinamički stabilitet generatora u mreži.
— Smanjenje buke na 82 dB (A).
— Negorivi izolacijski materijali glave namota.

Rok izvođenja radova ekstremno je kratak.

Elin News, 13/lipanj 1994.

E. H.

OBNAVLJANJE CRPNO-AKUMULACIJSKE ELEKTRANE VIANDEN

Elektroprivredno poduzeće SEO (Société Electrique de l'Our) praedvidjelo je i ugovorilo djelomično obnavljanje svoje crpno-akumulacijske elektrane Vianden u Luksemburgu.
Uglavnom za sinkrone strojeve, puštene u pogon 1963. godine, predviđa se za dva stroja povećanje snage sa 115 na 124 MVA. Na ova dva sinkrona stroja promjera statora 8,0 m obnavljaju se kompletni statori i sustav hlađenja. Istovremeno je predviđeno smanjenje buke strojeva u podzemnoj strojarnici. Iznos radova za sinkrone strojeve je 40 mio öS.

Elin News, 14/listopad 1994.

E. H.

ELEKTROOPREMA ZA NAJVEĆU PODZEMNU HIDROELEKTRANU NA SVIJETU

Potkraj prosinca 1993. godine državno poduzeće za opskrbu Indonezije električnom energijom, PLIN ugovorilo je gradnju druge etape HE CIRATA.
Još 1984. godine ugovoren je prvi stupanj izgradnje, odnosno isporuka cjelokupne elektroopreme. HE Cirata II dopunjuje izgrađenu HE Cirata I.

Cirata je na otoku Javi, oko 90 km jugoistočno od glavnoga grada Djakarte. Proizvodni strojevi smješteni su u najveću svjetsku podzemnu strojarnicu dužine 250 m, širine 35 m, visine 50 m. Listopada 1988. godine su uspješno dovršeni građevinski radovi za podzemnu strojarnicu Cirata, instalirane snage 500 MW, u kojoj je predviđena ugradnja još četiriju proizvodnih jedinica, tako da će se snaga sljedećih godina povećati na 1 000 MW.

Rujna 1992. godine ugovoreno je proširenje komandne prostorije odnosno isporuka uređaja za HE Cirata.

Postojećem prvom dalekovodu 500 kV pridodaje se izgradnja još daljnjih triju dalekovoda, koji se priključuju na dodatno izgrađeno razvodno postrojenje Cirata 500 kV. Dopunjujući na instalirana četiri generatora i rasklopno postrojenje 500 kV planirana druga etapa izgradnje s četiri istovjetna generatora bit će integrirana u izgradnju komande i računarskog postrojenja. Komanda bi bila dovršena sredinom 1994. godine.

Opseg isporuke za HE Cirata II gotovo je identičan s onim za HE Cirata I, pri čemu je za HE Cirata I dodatno:

— transformatori bloka po 240 MVA, 16,5/500 kV
— dalekovod 500 kV do spojnog transformatora
— postrojenje 150 kV.

Početkom isporuke predviđen je prosinac 1995. godine, a početak montaže za veljaču 1996. godine. Proizvodnih strojeva 5 i 6, kao i transformatorski blok 3 bio bi predan u ljetu 1997., a početkom 1998. godine strojevi 7 i 8 s transformatorom bloka 4.

Iz akumulacije se uzima voda i za navodnjavanje rižinih polja. Navedimo karakteristike sinhronih strojeva:

snaga 140 MVA, napon 16,5 kV, cos phi 0,9, struja 4900 A, f 50 Hz, brzina vrtnje 187,5 o/min, vanjski promjer 12 m, težina 650 tona, stupanj korisnosti generatora 98,5%, težina rotora 360 tona, promjer 8 m.

Ugovorena su četiri istovjetna sinkrona generatora kao i za prvu etapu ove elektrane. Ugovor obuhvaća uz navedeno i: statičke uzbude i regulaciju napona; start-stop automatiku upravljanja s dvostrukim procesorom; zaštitu generatora; odvode generatora 11 000 A, 16,5 kV ukupne dužine 1 410 m; komandu i upravljanje elektranom s dvostrukim računalom; zaštite transformatora bloka i rasklopnog postrojenja 500 kV; dva razvodna postrojenja 20 kV vlastite potrošnje unutarnje montaže; razvodna 0,4 kV vlastite potrošnje i razvod istosmjerne struje; dva suha transformatora 1.750 kVA vlastite potrošnje; četiri transformatora 630 kVA vlastite potrošnje; nadzorni videouređaji i telefonija; montažu el. isporuka i puštanje u rad, koordinaciju svih isporučilaca prigodom puštanja u pogon. Ugovoreni iznos za navedeno iznosi 1,5 milijardi öS.

Elin News, 14/listopad 1994.

E. H.

UDK 621.31 ENJAAC 44 (3) — (1995) 117 – 172 ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 44 (1995) Zagreb 1995 Br. 3

Redakcija završena 1995 — 07 — 17

SADRŽAJ

Fotografija na omotnoj strani

PLITVICE — LJEPOTA I SNAGA

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 625-328 i 625-111/2328, telefax 533-692, 511-612

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn). Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro račun kod ZAP, Zagreb — Hrvatska elektroprivreda (za »Energiju«) broj 30101-604-495

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

Uredništvo časopisa se ispričava čitateljima i suradnicima zbog zakašnjenja u izlasku ovog broja časopisa. Razlozi tome zakašnjenju su reorganizacijske promjene izvan samog časopisa, koje su se odrazile i na časopis. Nastojat ćemo do kraja godine dostići naš uobičajeni ritam, pa vas molimo za razumijevanje. Koristimo se prilikom da vas obavijestimo da je imenovan novi Izdavački savjet ENERGIJE.

Glavni urednik

POVIJESNI RAZVOJ IDEJE O GRADNJI PRVOGA CJELOVITOGA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA U HRVATSKOJ »KRKA — ŠIBENIK«

Josip Moser, Zagreb

UDK 621.311.1:621.311.21
PREGLEDNI ČLANAK

U radu, koji je napisan u povodu 100. obljetnice puštanja u pogon hidroelektrane »Krka« i paljenja javne rasvjete u Šibeniku, opisan je razvoj prvoga elektroenergetskog sustava u Hrvatskoj. Dan je povijesni slijed događaja i osoba vezanih za te događaje, od ideje o izgradnji, preko ishođenja raznih dozvola za gradnju, kao i same izgradnje hidroelektrane »Krka«, te prijenosne mreže do grada Šibenika. Osim toga dan je i pregled izgradnje industrijskih postrojenja vezanih za tu hidroelektranu.

Ključne riječi: povijest elektroprivrede, hidroelektrane, distribucijska mreža, potrošnja električne energije.

U Frankfurtu na Majni od svibnja do listopada 1891. godine održana je velika međunarodna elektrotehnička izložba, znamenita po tome što je bitno utjecala na razvoj elektrotehnike i elektroenergetike u cijelom svijetu. Najveći uspjeh na toj izložbi bio je prvi prijenos električne energije izmjeničnim jednofaznim sustavom na veliku udaljenost. S vodopada rijeke Rajne kod Lauffena prenesena je električna energija do izložbenih prostora u Frankfurtu, tamo postavljena rasvjeta i ukrasni vodopad. Prijenos je postignut na udaljenost 175 kilometara, što je za tadašnji istosmjerni sustav bila nezamisliva mogućnost. Tim istosmjernim sustavom, što ga je ponajprije razvijao Edison, rasvijetljeno je do tada niz gradova, među kojima i neki u Hrvatskoj (Pula, Rijeka, Zadar, Čakovec, Duga Resa itd.), ali je elektrane, najčešće termoelektrane na ugljen, trebalo postavljati u gradska središta. Naime, najveća udaljenost do koje se tim sustavom mogla distribuirati električna energija bila je oko 2 200 metara.

O grandioznom uspjehu izmjeničnog sustava u Frankfurtu pisao je sav svjetski tisak, ne samo stručni. To je bio tada uobičajeni način prenošenja novih spoznaja. Zato ne čudi da su o tom uspjehu znali i u Šibeniku. Ne ulazimo u istraživanje je li pomorski kapetan Marko Šupuk, sin gradonačelnika Ante viteza Šupuka i kasniji član vlasničke ekipe prvoga našeg sustava, bio osobno posjetitelj izložbe u Frankfurtu. Danas je teško odgovoriti je li prvi graditelj sustava na Krki, gradski mjernik i inženjer Meichsner, bio osobno na izložbi. Tek, stoji činjenica da su oduševljeno prihvatili misao da se na Slapovima Krke, kod Skradinskog buka sagradi hidroelektrana i iz nje rasvijetli grad Šibenik.

Vjekoslav plemeniti Meichsner, zemljomjernik u Šibeniku, uputio je 7. listopada 1892. molbu br. 3786. *»Poštovanoj Gradskoj Upravi u Šibeniku«* kojom traži dozvolu za gradnju jedne zgrade na Krci, kako je napisano, *»za gradnju u obrtne svrhe jedne nove kuće na Krci«*. Posebno je naznačeno da je posrijedi gradnja na zemljištu koje je isključivo njegove vlasnosti i po nacrtu što ga je osobno u dva primjerka priložio, a čini se i sam napravio, tako da Općinsko upraviteljstvo kao nadležna građevna vlast 2. prosinca izdaje dopuštenje za tu gradnju. Istina, dan prije toga, 1. prosinca, u Općinskom uredu pristupio je Ante vitez Šupuk, posjednik iz Šibenika. Nakon što mu je predočena molba i nacrti, koje je *»po tanko i pomljivo izpitao«*, s obzirom na to da zemljište i zgrada koju Meichsner kani graditi jednim dijelom međaši s četvrte strane sa zemljom vlasnosti Ante Šupuka, to ovaj izjavi:

»Ništa protivna nemam da gosp. Viekoslav plem. Meichsner izvede naumljenu gradnju po sada razvidjenom nacrtu, koja sa nikakvoga gledišta meni ni najmanje ne smeta.«

Dakle, Meichsner je dobio dozvolu za gradnju buduće elektrane, a očigledno je tome kumovao Šupuk. Njegova uloga će kasnije kod same gradnje biti još važnija, jer je on glavni financijer gradnje čitavog sustava. Međutim, zanimljivo je da se u prvim trenucima redovito pojavljuje samo Meichsner, koji traži dozvolu, kasnije koncesiju za vodu rijeke Krke, pa i pri narudžbi potrebnih strojeva od tvrtke GANZ iz Budimpešte.

Vjerojatno je to zato što se gradonačelnik i saborski zastupnik Šibenika, te predstavnik Dalmacije u carevinskom vijeću u Beču Ante vitez Šupuk nije želio isticati u prvi plan.

Prvog svibnja 1893. godine, nakon što je dogotovio sve nužne nacrte i projekte za izgradnju hidroelektrane na Slapovima Krke, dalekovoda i prve gradske razdjelne mreže u gradu Šibeniku, Meichsner je zatražio dozvolu kotarskog Poglavarstva za *»ustanovljenje jednog obrtništva za proizvađanje i vodjenje*

munjive u svrhu razsvjete, prenašanja sile i ine obrtne i kućevne porabe«. Da bi to mogao ostvariti, zatražio je dozvolu da mu se odobri korištenje *»neke količine vode rieke Krke, uzevši ju od one koja teće uzduž katastralnih čestica 961/10, 961/27 i 961/8 (porezne općine Lozovac) njegova vlastništva, pak prinijeti ju sredstvom jedne već postojeće jaže (konala) također njegove vlasnosti, koje polag predloženog nacrta biti će vhodno razširena i uredjena u tvornicu od njega osnovanu za proizvadjanje i prenašanje munjive, te ju povratiti istoj rieci, još prije nego ona izstupi sa granica gorioznačenih vlastitih čestica«*.

Tom molbom pokrenuta je velika administrativna procedura. Izvršen je komisijski očevid 6. srpnja 1893. da se utvrdi kako zatražena izgradnja ne čini javne i privatne štete. Od 10. do 14. listopada radile su dvije vladine komisije na samom terenu. Jedna je morala utvrditi može li se dati tražena koncesija za porabu vode, a druga, mnogobrojnija, trebala je izvidjeti trasu dalekovoda od Krke do Šibenika. Ukupno dvanaest visokih ličnosti obišlo je trasu i gradske ulice po kojima se predviđa *»pružanje žice — kabela — po zraku«*.

Nakon završetka rada navedenih komisija izdan je poglavarstveni oglas br. 13392. kojim se obavještavaju građani općine Šibenik i Skradin i svi drugi zainteresirani da je za dan 14. studenoga zakazana *»povjerenstvena razprava, od 9 satih pr. p. unaprijed«* na samom vodopadu kod Skradina. Kada su i tamo uklonjeni svi prigovori vlasnika mlinica uzvodno (Ivan i Erminio Šupuk) i nizvodno (Joso Dulibić), sazvano je povjerenstvo od Ministarstva trgovine u Beču. U njemu su bili *»izaslanici vlade zadarske, pomorske oblasti iz Trsta, ministarstva rata i nutarnjih posala, elektrotehnički vještaci i poduzetnici«*. Svi su oni još jednom oko 15. prosinca 1893. *»izpitali odnošaje na Krki«* te odobrili radnju.

Temeljem toga, dana 18. prosinca 1893. godine, odlukom c. k. kotarskog Poglavarstva, dodijeljena je Meichsneru *»Razsuda«* pod br. 15936 da smije osnovati traženu radnju uz sljedeće uvjete:

»I. da gradjenje osnovanog poduzeća bude točno slieditи polag prikazanih nacrta, kojih jedan primjerak obskrbljen sa uredovnom potvrdom uručuje se prositelju«

»II. da trošenje vode, imade se ograničiti na mjeru od 25,81 metar kubični na hip, dotično da se ne smije proizvesti ikakva promjena na konalu slijevanja; a kao rok kroz koji osnovana gradnja ima će se dovršiti ustanovljuje se doba od dvije godine.«

Rok žalbe bio je 14 dana, te je odlukom kotarskog Poglavarstva br. 16956 od 10. siječnja 1894. ova *»Razsuda«* postala pravovaljana, a odlukom br. 6522 od 22. ožujka 1894. dodijeljena je Meichsneru i *»industrijalna koncesija«*.

Posljednju nužnu dozvolu izdalo je općinsko upraviteljstvo u Šibeniku 30. travnja 1894. pod br. 1579, i to *»da može postaviti stupove na općinskom zemljištu za prenos električne sile i da može takodjer napraviti potrebitu mrežu preko gradskih ulica u svrhu rasvjetljavanja«*. To je odlučeno nakon velike diskusije treba li biti kabelska mreža u gradu ili može biti i zračna. Dilemu je presjekao intervencijom sam Šupuk, jer je istaknuo skupoću izrade kabelske mreže, a i nedovoljnu pouzdanost tadašnjih prvih konstrukcija kabela.

Tako je završena kompletna administrativna procedura i dobiveni su svi tada potrebni službeni dokumenti za gradnju prve izmjenične hidroelektrane, dalekovoda dugog 11 kilometara i gradske niskonaponske mreže u Šibeniku, dakle našega prvoga cjelovitoga elektroprivrednog sustava.

U međuvremenu je Meichsner uspostavio kontakte s tvrtkom GANZ, pa, uvjeren da će zatraženu dozvolu dobiti, već tijekom jeseni naručuje izradu strojeva. On pritom nudi da iz ove elektrane prenese električnu energiju u Zadar, što Poglavarstvo ovog grada odbija i odlučuje se za istosmjerni sustav. Za to vrijeme ugovara se s gradskim poglavarstvom Šibenika (sa Šupukom) cijena po kojoj će grad biti rasvijetljen. Time je osiguran jedan važni element sustava — potrošnja. Za rasvjetu grada električnom energijom godišnje će se plaćati paušalni iznos od 5 000 forinti u mjesečnim obrocima.

Usporedo s postupkom dozvola za gradnju i koncesije za uporabu vode, Meichsner i Šupuk sklapaju najprije projekt ugovora, a zatim i ugovor o osnutku zajedničkog poduzeća *»una societa di commercio in nome collettivo«*. Te dokumente izradio je šibenski notar Giacondo Petris de Herrenstein na talijanskom jeziku. Tim ugovorom poništeni su prethodni dogovori između Meichsnera i tvrtke GANZ u Budimpešti, a preuzete sve obveze u svezi s plaćanjem naručene opreme od te tvrtke. Dogovoreno je da se novo poduzeće zove:

»Šupuk e Meichsner«
»Prima concessionata Centrale elettrica in Dalmazia »Krka«,

odnosno hrvatski

»Šupuk i Meichsner«
»Prva ovlaštena električna centrala u Dalmaciji »Krka«,

koja je imala sjedište u Šibeniku. Početak djelovanja novog poduzeća bio je 1. lipnja 1895. Dakle, u to vrijeme je gradnja bila u punom jeku, jer čitav sustav krenuo je u pogon 28. kolovoza 1895. godine paljenjem javne rasvjete u gradu.

Izgradnja hidroelektrane »Krka« i rasvjeta Šibenika bile su senzacija onog vremena. Meichsner zato nudi električnu energiju s Krke Trogiru, Kaštelima i Splitu, ali bude odbijen. Zbog tog odbijanja grad Split će biti elektrificiran tek 1920. godine. Isto tako nudi elektrifikaciju i Dubrovniku. Međutim, premda je u prvom trenutku Meichsnerov projekt prihvaćen, Dubrovčani kasnije odlučuju da posao povjere konkurentu, austrijskoj tvrtki ELIN. Očigledno, graditelj prvog sustava u Hrvatskoj nije imao sreće da svoj prvi pothvat ponovi.

Već 1897. godine pojavljuju se interesi da se dalje iskoriste vode slapova na Krki. Time se pojavljuje konkurencija tvrtki »Šupuk i Meichsner« jer tvrtka »Cramer et Brod«, koja je vlasnik rudnika ugljena Velika glava kod Skradina, želi na desnoj, suprotnoj obali izgraditi hidroelektranu koja bi bila 20 puta snažnija

od »Krke«. Vlasnik tvrtke, industrijalac iz Plzena u Češkoj Ludwig de Piette, uz skradinske vlasnike zemljišta Marasoviće i Marune, traže koncesiju za hidroelektranu snage 7 200 KS pri korištenju pada vode od 45 metara i ugrađenih 8 turbina. Dalmatinsko namjesništvo u Zadru odobrilo im je samo 12 metara kubičnih vode u sekundi, što je nedovoljno. U tom dokumentu se tvrdi *»da veliki Slapovi, ispod starog posjeda i skorašnja nova koncesija, pripadaju g. Antonu Šupuku, predsjedniku općine Šibenik i predstavniku u Parlamentu, te njegovu sinu. Ovi slapovi, čak kod dva do tri mjeseca suše, u stanju su dati do 8.000 KS; a u ostalih devet mjeseci oni mogu razviti skoro 150.000 KS«*. Postojeća hidroelektrana »Krka« u tom času iskoristila je samo 320 KS. Ali ovaj pokušaj skradinske strane izazvao je dugotrajni sudski spor sa Šupukom i njegovim nasljednicima, spor koji je trajao sve do 1945. godine.

Premda je de Piette dobio koncesiju za gradnju svoje elektrane i nakon dugog natezanja sa Šupukom i s tadašnjim drugim vlasnicima mlinica na slapovima, on je uporno sve do 1904. godine tražio sve veće i veće količine vode. Dao je izraditi i tehničku dokumentaciju i projekte za hidroelektranu, ali do izgradnje nije došlo.

Kakvu je ulogu pritom odigrao Meichsner, nije poznato.

Treba pretpostaviti da je imao veze s ovim pothvatom, jer upravo te 1897. godine dolazi do raskida ugovora između Ante Šupuka i Vjekoslava Meichsnera i elektrana »Krka« s cijelim sustavom prijenosa i mreže prelazi u posjed Šupuka i njegova sina Marka. Meichsner ustupa sva svoja prava iz svih koncesija, »Razsude« i vlasništva putem ugovora koji je kod notara sklopljen 27. travnja 1897. g. pod br. 50981. Namjesništvo u Zadru je temeljem zaključka od 15. kolovoza iste godine pod br. 18311 osnažilo taj prijenos prava najprije obavještavajući zainteresirane 23. kolovoza 1897. dopisom br. 11205, a zatim Odlukom br. 11767 od 2. rujna 1897. g.

Stvarni razlozi razlaza između Šupaka i Meichsnera nisu dovoljno poznati, ali je očito da je došlo do razmimoilaženja. Poznato je da je Meichsner bio relativno lošeg zdravlja, što također može biti razlogom, ali vjerojatnije je uzrok u približavanju Meichsnera suprotnoj, skradinskoj grupi. Ime Vjekoslava Meichsnera pojavljuje se na dokumentima Šupukovih protivnika sve do godine 1901, kada je Meichsner umro. Dakle, 1897. godine Ante Šupuk i Meichsner definitivno prekidaju suradnju, pa tvrtka »Krka« mijenja ime u

»Ante Šupuk i sin«
»Prva povlaštena Električna Centrala u Dalmaciji
»KRKA«
i Obrtna Tvornica mlivenja buharice i žitija električnom silom«

sa sjedištem u Šibeniku. Naime, neposredno nakon izgradnje elektrane Ante Šupuk je u gradu Šibeniku u Vrulji (danas je tamo Autobusni kolodvor na Rivi) izgradio električni mlin. To je bio prvi elektrificirani industrijski objekt u Šibeniku.

Tijekom traženja dozvole za gradnju hidroelektrane na skradinskoj strani vodopada, tvrtka »Cramer et Brod« dobila je pravo izgradnje jedne kemijske tvornice na Krki. To pravo je ona prodala (ili samo prenijela) venecijanskom društvu »Societa veneziana elettrochimica«, koje gradi tvornicu karbida, postavljajući dvije Wilsonove električne peći nekih 350 metara nizvodno od hidroelektrane Krka. Ta tvornica karbida (zvana »Garbura«) trebala je električnu energiju. Premda je administrativni odbor venecijanskoga društva odobrio da se ide na otkup vodene snage Slapova Krke, a to je značilo odluku da se gradi posebna hidroelektrana, do te gradnje nije došlo te je dotadašnja tvrtka »Ante Šupuk i sin« ostala isključivi vlasnik koncesije vode rijeke Krke. U hidroelektranu se ugrađuje još jedan agregat, pa se elektrana kompletira na konačnu instaliranu snagu od 640 KS (oko 470 kW) i ona koristi najveći protok vode od 3,2 m^3/sek.

Zanimljivo je da je tvornica karbida, puštena u rujnu 1899. godine, bila jedna od najsuvremenijih industrijskih postrojenja tada na svijetu. Proizvodila je 355 litara acetilenskog plina na svaki kilogram karbida, što do tada nije uspjela postići ni jedna peć. Međutim, nije imala dugi vijek jer je potpuno stradala u požaru već iduće, 1900. godine. Nikad više nije obnovljena kao proizvodna jedinica, a administrativna zgrada najprije se koristila za uredske prostorije tvrtke »Ante Šupuk i sin«, da bi nakon II. svjetskog rata poslužila kao stambeni prostor radnika hidroelektrane »Jaruga«.

Ova tvornica značajna je po tome što je otvorila vrata talijanskom kapitalu na prostore Šibenika. Nakon požara hidroelektrana »Krka« ima višak električne energije, pa Ante Šupuk traži nove potrošače. U samom gradu ih je malo jer industrija je tek u začecima, a elektrificiranih kućanstava također je vrlo malo jer se tek oko 1900. godine pojedina bogatija kućanstva elektrificiraju. Kod običnog puka vlada strah od električne energije jer, tako se vjerovalo, »munjivo ubija, privlači grome«.

Dana 12. srpnja 1901. godine u Trstu se potpisuje Ugovor između tvrtke »Ante Šupuk i sin« (vlasnika koncesije za korištenje vode u ukupnoj količini od 25,81 m^3/sek). Društva »Societa veneziana elettrochimica« (vlasnika koncesije za proizvodnju kalcijeva karbida) i Društva »Societa Italiana per Carburo di Calcio, acetilene et altri gas« (investitora gradnje novih tvorničkih postrojenja i novih elektrana na Krki). Kod bilježnika Vessela iz Trsta sklopljen je dogovor kojim se stvara novo poduzeće za korištenje hidraulične snage u Dalmaciji »Societa anonima per l'utilizzazione delle forze idrauliche della Dalmazia« u Trstu (skraćeno SUFID).

Dogovor se sastojao u sljedećem:

I. Tvrtka »Ante Šupuk i sin« ustupila je Društvu koncesiju na neiskorišteni dio protoka vode dijela Skradinskog buka, odnosno 22,61 m^3/sek i to na rok 29 godina. Za svoje potrebe zadržala je količinu vode od 3,20 m^3/sek koliko joj treba za postojeću hidroelektranu »Krka«.

II. Društvo »Societa italiana per Carburo di Calcio, acetilene et altri gas« otkupilo je pravo na proizvodnju kalcijeva karbida u Dalmaciji i izgradit će novu tvornicu na povoljnoj lokaciji. Zatim se obvezuje izgraditi novu hidroelektranu u blizini stare na temelju neiskorištenog viška vode. I konačno, obvezuje se u svoje ime i ime eventualnog pravnog nasljednika da će nakon isteka ugovorenog roka od 29 godina (to jest 30. lipnja 1930) predati tvrtki »Ante Šupuk i sin« bez ikakve odštete preuzete objekte.

Ugovor je sastavljen tako, i odobren od administrativnih vlasti, da »Ante Šupuk i sin« i dalje zadržavaju pravo *»na prijašnju svoju prugu, koja im je služila za prijenos električne energije iz svoje male centrale do grada Šibenika«*, a da Društvo iz svoje nove centrale prenosi energiju *»posebnom zračnom prugom do tvornice Društva »SUFID« u Crnici u Šibeniku«.*

Tako je SUFID izgradila tvornicu kalcijeva karbida u Crnici »kod Šibenika« (kako je tada pisao tisak) sa 8 monofaznih električnih peći od po 750 kVA, ukupno 6 000 kVA, što je tada bila vrlo velika i snažna tvornica. Tvornica je proradila u travnju 1903. godine, probno s jednom peći, a zatim od rujna u punom kapacitetu.

Istodobno gradi tvrtka GANZ novu hidroelektranu Jaruga snage ukupno 5 250 kVA, koja može godišnje proizvoditi oko 15 milijuna kWh. Generatorski napon od 15 000 volti prenosi se posebnim zračnim dalekovodom dugim 12 kilometara do Šibenika. Vod je imao četiri bakrene žice (dvostruki dvofazni) promjera 9 mm i 64 mm². Bio je na drvenim stupovima postavljenim uz cestu po rubovima parcela. Stupova je bilo oko 360, što znači da ih je bilo u prosjeku 30 po kilometru, a na svakom trećem stupu bile su tablice upozorenja na talijanskom i hrvatskom jeziku.

U punom jeku gradnje hidroelektrane Jaruga (kasnije nazvana Jaruga II, jer su elektranu Krka zvali Jaruga I) 4. lipnja 1903. godine umire kapetan Marko Šupuk, jedan od idejnih tvoraca elektrifikacije Šibenika. Nepunu godinu dana nakon toga, 11. svibnja 1904, od srčane kapi umire i Ante vitez Šupuk, koji je punih 28 godina bio gradonačelnik Šibenika, čovjek koji je neumorno radio za napredak svoga grada. Osim električne rasvjete bio je inicijator gradnje vodovoda, doveo je željeznicu, izgradio sud, gimnaziju i tada najveću bolnicu u Dalmaciji.

Tvrtku »Ante Šupuk i sin« preuzeli su nasljednici iz obitelji Šupuk. Brojni su očuvani dokumenti koji govore o širenju električne mreže i uspostavi pravoga elektroprivrednog poduzeća. Razvoj je tekao usporedno s razvojem tvornice u Crnici, sve dok nije 1914. došao Prvi svjetski rat. Za potrebe rata odlučeno je da se rashoduje dvadeset godina stara hidroelektrana »Krka« (Jaruga I) i stari vod od nje do grada. Iz opreme izvađen je bakar i željezo i upotrijebljeno u vojne svrhe. Druga elektrana i tvornica karbida nisu dirane jer su proizvodile ratni strateški materijal. Ukratko, tvrtka »Ante Šupuk i sin« ostala je bez proizvodnog i prijenosnog dijela te se morala povezati sa SUFID-om radi dogovora. Od kompletnoga elektroprivrednog poduzeća svedena je na distributera električne energije.

Poduzeće SUFID je, osim izgradnje HE Jaruga II, zbog sve većih potreba već 1904. započela graditi i električnu hidroelektranu na slapu Manojlovcu kod Kistanja, nekih 38 km daleko od Šibenika. Tamo je iskorišten pad vode od 110 metara tako da je ukupna snaga turbina bila 24 000 KS, a generatora 20 800 kVA odnosno 16 600 kW. HE Manojlovac je puštena u pogon u travnju 1906. (prvi agregat), a u konačnom opsegu 1907. godine. Uz elektranu izgrađen je dvostruki dalekovod do Crnice u Šibeniku za napon 30 000 volti, dug 38 km. Zanimljivo je da je do 1910. to bila najsnažnija hidroelektrana izgrađena dotad u Europi, a i napon dalekovoda bio je najviši tada napon predviđen za prijenos na daljinu.

Očito, na početku I. svjetskog rata, ukidanjem HE Krka (ili Jaruga I) grad Šibenik ima problema s manjkom, dok Tvornica u Crnici ima višak električne energije. Zato je bilo logično da se tvrtka »Ante Šupuk i sin« i SUFID dogovore o daljnoj suradnji. Oni posebnim ugovorom produžavaju zakupa za još 10 g za protok vode koji se koristio u HE Krka, ali uz uvjet da SUFID iz svojih elektrana prepušta svake godine 1 000 000 kWh tvrtki, koja tu energiju može distribuirati u gradu i okolici. Ako bi trebalo više, tada se na komercijalnoj osnovi određuje cijena po kojoj tvrtka kupuje taj višak.

Prvi svjetski rat se na samom početku nije bitno osjetio u Šibeniku. Ipak, u samom početku rata, već u kolovozu 1914. austrougarska vojska preuzela je kontrolu tvrtke »Ante Šupuk i sin«, tako da su svi radnici tvrtke, osim trojice, pozvani pod oružje, a njihova radna mjesta popunjena su električarima iz C. K. Ratne mornarice s ratnih brodova. I SUFID je stavljen pod državnu kontrolu, pa je umjesto talijanskog naziva dobio 1916. njemačko ime »Aktiengesellschaft fur Nutzbarmachung der Wasserkrafte Dalmatiens — Werk Sebenico«. Taj je naziv prijevod na njemački jezik dotadašnjega talijanskog naziva, a to ime zadržano je do kraja rata, do propasti Austro-Ugarske monarhije.

Bez obzira na rat tijekom 1916. godine izvršena je prva velika rekonstrukcija HE Jaruga II. Povećana je snaga turbina, a elektrana je s dvofaznog sustava pretvorena u trofazni.

Nakon završetka rata Šibenik privremeno okupiraju Talijani koji odmah vraćaju staro ime SUFID, ali i sva prava tvrtki »Ante Šupuk i sin«. Ostaju na snazi svi ugovori sklopljeni između te dvije tvrtke od 1901. do 1914. godine. Tijekom talijanske okupacije širi se elektrifikacija, pa se 1919. u ožujku pušta u pogon javna rasvjeta u Skradinu. I u samom Šibeniku raste potrošnja električne energije te se vraća na predratnu razinu od oko 1 900 000 kWh. U gradu je više od 1 500 priključenih kućanstava.

Kada su 1921. Talijani otišli iz Šibenika, u prvom trenutku sve je bilo kao i prije. Odnosi SUFID-a i »Ante Šupuka i sina« bili su poštovani, a oba se bore s poslijeratnim ekonomskim teškoćama. Godine 1923. uvedena je prva tarifa za naplatu potroška, a presta-

lo se s paušalnim naplatama. Dolazi do prvih poskupljenja struje, ali i do ozbiljnijih širenja i rekonstrukcije gradske električne mreže te do zamjene zračnih vodova kabelskim.

Već 1925. godine društvo SUFID predviđa likvidaciju jer tadašnja kraljevska vlast ne želi obnovu ugovora koji su vremenski bili na isteku. Vlada kraljevine SHS nastoji umjesto Talijana dovesti druge strane partnere. Kao rezultat toga ondašnja vlada sklapa ugovor s »Francuskim društvom tuniskih fosfata, gnojiva i kemijskih proizvoda A. D.« iz Pariza dana 13. travnja 1929. i osniva novo društvo SEFFHIED, koje uskoro mijenja ime i postaje »La Dalmatienne«. Novi pravni nasljednik »La Dalmatienne« otkupljuje svu imovinu društva SUFID za iznos od 130 milijuna franaka (odnosno tadašnjih 273 milijuna dinara). Kako je ugovor o najmu sklopljen 12. srpnja 1901. u Trstu sa SUFID-om istjecao 1930. godine, to je SUFID prije, 1929, predao HE Jarugu II u posjed tvrtki »Ante Šupuk i sin«. Ta tvrtka počinje rekonstrukciju elektrane i osposobljavanje da ponovno preuzme opskrbu grada. Tako tvrtka »Ante Šupuk i sin« ponovno kompletira proizvodnu, prijenosnu i distributivnu djelatnost.

Budući da je »La Dalmatienne« prestala trošiti energiju iz HE Jaruga II, jer je smanjila potrošnju i bila joj je dovoljna HE Manojlovac, to se u gradu pojavio višak električne energije. Rješenje je nađeno u okviru izgradnje tvornice aluminija u Lozovcu. Nju gradi 1936. industrijalac Ivanović iz Beograda, koji je s tvrtkom »Ante Šupuk i sin« dogovorio znatne količine električne energije, te sigurnost i trajnost dobave. Kako je u međuvremenu i sudski spor s vlasnicima mlinica Marasović i nasljednicima sa skradinske strane riješen u korist tvrtke Šupuk, to 1937. HE Jaruga II počinje veliku rekonstrukciju. Ponovno je tu GANZ iz Budimpešte.

HE Jaruga II važan je izvor električne energije za grad Šibenik i njegovu industriju, ali i za tvornicu aluminija. To tako traje i tijekom II. svjetskog rata, premda su Šibenik i Jarugu okupirali Talijani. Pa i povremeni zastoji zbog miniranja ne utječu bitno jer elektrana radi sve do 1945. godine. Tada se ponovno popravljaju oštećenja nastala u ratu i elektrana se uključuje u elektroenergetski sustav Šibenika, Dalmacije i Hrvatske. Njezina zadnjega vlasnika iz obitelji Šupuk, Marka, praunuka graditelja Ante viteza Šupuka i unuka Marka, kapetana i donosioca ideje o gradnji, osudio je u lipnju 1945. godine Narodni sud u Šibeniku na konfiskaciju cjelokupne imovine zbog suradnje s neprijateljem. Tim aktom oduzeta mu je hidroelektrana i svi posjedi preneseni u narodno vlasništvo. HE Jaruga II radila je cijelo vrijeme i radi još i danas. Od prvoga dana do danas proizvela je više od 2 400 000 000 kWh ili u proteklih 92 godine u prosjeku oko 26 milijuna kWh godišnje. Usporedbe radi naznačimo da je toliko ukupno proizvela HE Krka u dvadeset godina rada: od 1895. do 1914. godine.

LITERATURA

[1] B. MARKOVČIĆ, I. PRPIĆ et al.: »Razvoj elektrifikacije Hrvatske«, 1. dio, Institut za elektroprivredu, Zagreb 1984.

[2] B. MARKOVČIĆ, A. BUSATTO et al.: »Razvoj elektrifikacije Hrvatske«, 2. dio, Institut za elektroprivredu, Zagreb 1987.

[3] B. MARKOVČIĆ: »Naše prve javne elektrane«, Energija br. 4, 1988.

[4] B. MARKOVČIĆ: »100 godina trofaznog visokonaponskog prijenosa električne energije«, Energija br. 3, 1991.

[5] B. MARKOVČIĆ: »55 godina od prvog začetka Hrvatske elektroprivrede«, Energija br. 2, 1992.

[6] M. KALEA: »Stotinu godina trofaznog prijenosa električne energije«, Serijal u »Vjesniku HEP-a« od br. 9 do 26, Zagreb 1991.—1992.

[7] G. ZUBOVIĆ: »Izgradnja prvog elektroenergetskog sustava u Hrvatskoj (Elektrifikacija Šibenika)«, Rukopis, Arhiv Hrvatske elektroprivrede, Zagreb II 1995.

[8] L. ŠUPUK: »Dijelovi obiteljske arhive u vezi sa gradnjom i radom elektrana na Krki«, Arhiv Hrvatske elektroprivrede, Zagreb II 1995.

HISTORICAL DEVELOPMENT OF THE IDEA TO BUILD THE FIRST COMPLETE ELECTRIC POWER SYSTEM IN CROATIA »KRKA—ŠIBENIK«

In this paper, which was written on the occasion of the 100-th anniversary of the hydro electric power station's »Krka« start operation and inauguration of the public illumination in the town of Šibenik, the development of the first electric power system in Croatia is described. The historical sequence of the events and personalities connected to those events are given, from the idea of construction, through different construction permits to the realisation of the hydro electric power plant »Krka« and transmission network to the town of Šibenik. Beside that, a review of industrial plants connected to that hydro electric plant is also given.

DIE GESCHICHTE DER IDEENENTFALTUNG ÜBER DEN BAU DES ERSTEN KOMPLETTEN STROMVERSORGUNGSSYSTEMS »KRKA—ŠIBENIK« IN KROATIEN

Im, anläßlich des 100-jährigen Jubiläums der Inbetriebnahme des Wasserkraftwerkes »Krka« und des Beginns der öffentlichen elektrischen Beleuchtung der Stadt Šibenik, geschriebenen Artikel, ist die Entwicklung des ersten Stromversorgungssystemms in Kroatien dargestellt. Gegeben ist die historische Folge der Ereignisse und die damit verknüpften Persönlichkeiten, vom Entstehen der Idee bes Ausbaues, über die Erwirkung verschiedener Baubewilligungen, bis zur Beendung des Ausbaues des Wasserkraftwerkes »Krka«, und des Übertragungsnetzes bis zu der Stadt Šibenik. Daneben ist der Ausbau von an dieses Kraftwerk gebundenen Industrieanlagen dargestellt.

Naslov pisca:

Josip Moser, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda,
Ured generalnog direktora,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-05-19

ANALIZA SIGURNOSTI EES-a HRVATSKE U PROŠIRENOM REALNOM VREMENU

Prof. dr. Zdravko Hebel — mr. Ivica Pavić — Boris Kajganić — Šime Radić — Nela Bilčar, Zagreb

UDK 621.311.4-519:681.3
PREGLEDNI ČLANAK

U članku je opisana problematika prijenosa funkcija proširenoga realnog vremena s procesnog računala PDP 11/44 u Nacionalnom dispečerskom centru na Lokalnu računalsku mrežu (LAN). Odvajanjem navedenih funkcija od SCADA-sustava rasterećuje se zastarjelo sklopovlje i omogućuje se prelazak na koncepcijski novi sustav za nadzor i upravljanje. Glavne prednosti novog sustava proizlaze iz osnovnih karakteristika otvorenog sustava (distribuirana baza podataka, client-server arhitektura, mreža računala i komunikacijski programi za međusobno povezivanje računala različitih funkcija). Takvim pristupom omogućeno je kvalitetnije izvršenje funkcija proširenoga realnog vremena, daljnja dogradnja sustava i sigurnije vođenje pogona.

Ključne riječi: nadzor i upravljanje EES-a, otvoreni sustav, distribuirana baza podataka, procjena stanja, tokovi snaga, analiza sigurnosti.

UVOD

Sustav za nadzor i upravljanje, instaliran u Nacionalnom dispečerskom centru prije dvadesetak godina, danas je sigurno već zastario i treba ga modernizirati. Jedno od mogućih rješenja modernizacije rada Nacionalnoga dispečerskog centra jest instalacija sasvim novog sustava za nadzor i upravljanje nekoga od svjetski poznatih proizvođača. To je sasvim sigurno najjednostavnije, ali čini se ne i najbolje rješenje u ovom trenutku. Naime, za razliku od zastarjelog hardvera, znanje ugrađeno u postojeću programsku podršku gotovo se nije mijenjalo od vremena instalacije postojećeg sustava (promijenili su se samo programski alati i korisničko sučelje). Kako bi se iskoristilo to postojeće znanje, u ovom je trenutku bolje rješenje postupni prijelaz s postojećeg sustava na novi sustav za nadzor i upravljanje, pri čemu valja imati na umu tendencije razvoja takvih sustava u svijetu.

1. KONCEPCIJA MODERNIH SUSTAVA ZA NADZOR I UPRAVLJANJE

Razvoj informatičke opreme i programske podrške utjecao je bitno na razvoj sustava za nadzor i upravljanje EES-om. Ograničena procesna snaga računala, nedovoljna veličina memorije i mala brzina prijenosa podataka samo su neki od ograničavajućih činitelja koji su utjecali na oblikovanje prijašnjih sustava za nadzor i upravljanje. Koncepcijski, svi su ti sustavi zasnovani na hijerarhijskoj bazi podataka i velikom (mainframe) računalu. Obično su funkcije SCADA-sustava i funkcije proširenoga realnog vremena (EMS) bile realizirane u dvije razine, a na svakoj razini su, zbog sigurnosti rada, postojala dva računala međusobno povezana međuračunalskom vezom.

Koncepcija modernih sustava utemeljena je na distribuiranoj bazi podataka i LAN-mreži. Mogućnost proširenja, kako u hardverskom tako i u softverskom smislu, modularnost i primjena standardiziranih komunikacijskih protokola bitne su značajke zbog kojih se moderni sustavi za nadzor i upravljanje EES-om nazivaju otvorenim sustavima. Osnova današnjih upravljačkih centara je računala s RISC-procesorima, UNIX-operativnim sustavom i TCP/IP komunikacijskim protokolom. Što se pak programske podrške tiče, i ona je modificirana u skladu s novom koncepcijom. Iako su današnja računala po procesnoj moći, veličini memorije i brzini u stanju sve funkcije upravljačkog centra obavljati na jednom računalu, takav način rada više se ne primjenjuje. Primjenom distribuirane baze podataka i client-server arhitekture, funkcije upravljačkog centra raspodijeljene su između nekoliko ravnopravnih servera. Glavna značajka client-server rada jest lokalna obrada podataka, čime se postiže minimalno opterećenje servera i komunikacijskih putova, s obzirom na to da se u client-server arhitekturi primjenjuje tzv. načelo dupliciranja podataka *(replication)*. Naime, podaci potrebni za izvođenje neke funkcije kopiraju se na lokalno računalo i tu se obrađuju.

2. FUNKCIJE REALNOGA I PROŠIRENOGA REALNOG VREMENA

Funkcije koje obavlja sustav za nadzor i upravljanje Nacionalnog dispečerskog centra mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine:

— *on-line* funkcije i
— *off-fine* funkcije.

Dodatno su *on-line* funkcije podijeljene na tri grupe:

— funkcije *realnog vremena* (TR)
— funkcije *proširenoga realnog vremena* (TRE) i
— funkcije *sigurnosti* (S)

Funkcije *realnog vremena* obuhvaćaju obrade podataka prikupljenih neposredno iz stvarnog elektroenergetskog sustava. U te funkcije se ubraja:

— razmjena informacija s centrima daljinskog upravljanja
— prikupljanje i obrada telesignala
— prikupljanje i obrada telemjerenja
— računanje prosječnih snaga i energija (15-min. ciklus)
— obrada telebrojila
— daljinsko upravljanje
— obrada poruka o kvaru
— arhiviranje prikupljenih podataka
— grafički prikaz
— štampanje izvještaja.

U funkcije *proširenoga realnog vremena* ubrajaju se sljedeće obrade:

— određivanje topologije mreže
— procjena stanja (estimacija)
— analiza sigurnosti (N-1 analiza)
— raspodjela opterećenja (tokovi snaga).

Funkcije *sigurnosti* obavljaju kontrolu rada računalskog sustava i eventualno preuzimanje rada u slučaju potrebe (komutacija računala PDP).

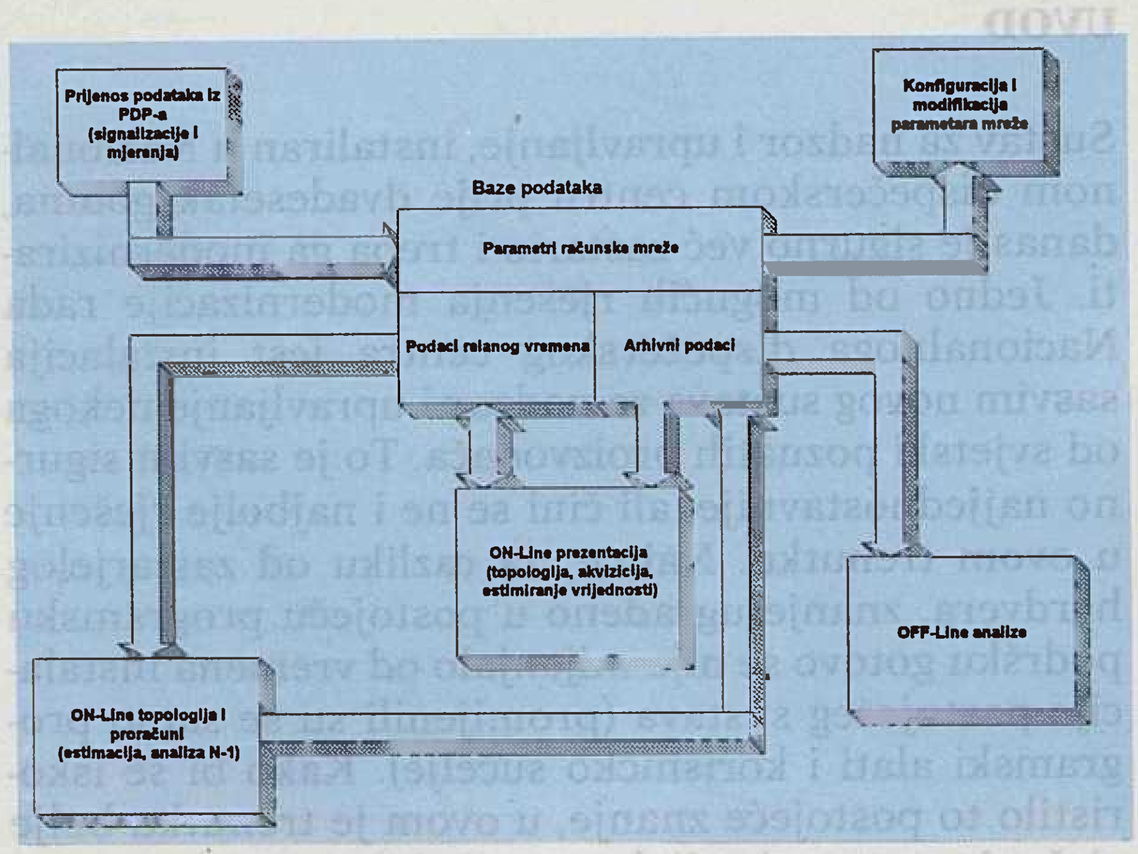
Što se pak *off-line* funkcija tiče, one se ne izvode s podacima neposredno prikupljenim iz stvarnog sustava i u ovom času neće biti analizirane.

Podaci potrebni za izvođenje funkcija proširenoga realnog vremena mogu se podijeliti na nekoliko kategorija:

A. podaci o *računskoj* mreži (jednopolne sheme stanica *računske* mreže, parametri generatora, transformatora i vodova)
B. podaci koje procesno računalo automatski prikuplja iz centara daljinskog upravljanja:
   a) telesignalizacije (položaj prekidnih uređaja, naponsko stanje sabirnica i važnijih vodova, alarmi za preopterećenja vodova i za kvarove u važnijim stanicama)
   b) položaj regulacijske preklopke transformatora
   c) telemjerenja (snage tranzita, tj. važnijih vodova i transformatora, proizvodnja agregata, potrošnja važnijih potrošača, naponi sabirnica i frekvencija na više mjesta)
C. informacije koje procesno računalo automatski prikuplja unutar dispečerskog centra:
   a) podaci o sistemskom vremenu
D. ručno unesene veličine:
   a) podaci koje prikuplja sustav teleinformacija (svi podaci iz točke B)
   b) informacije koje se ne prikupljaju (»ručna« signalizacija).

3. PRIJENOS FUNKCIJA PROŠIRENOGA REALNOG VREMENA NA LAN-MREŽU

Budući da se postojeći sustav nadzora i upravljanja u Nacionalnom dispečerskom centru koncepcijski znatno razlikuje od današnjih modernih sustava, sve predviđene promjene postojećeg sustava trebaju biti izvedene u skladu s trenutnim svjetskim dostignućima u području upravljanja EES-om. Poštujući svjetski trend razvoja, te trenutne materijalne i tehničke mogućnosti Hrvatske elektroprivrede, neminovno se dolazi do zaključka da se modernizacija Nacionalnoga dispečerskog centra mora odvijati postupno. U prvoj fazi potrebno je zadržati procesno računalo PDP kao čeono (front-end) računalo prema elektroenergetskom sustavu te ostaviti na njemu samo obrade iz područja SCADA funkcija. Ostale funkcije treba prenijeti na LAN-mrežu, koja je preko BRIDGE-računala povezana s procesnim računalom. Shematski prikaz modela baze podataka, logičkih cjelina i njihovih međusobnih veza koje bi trebao sadržavati sustav obrade funkcija proširenoga realnog vremena na LAN-mreži dan je na slici 1.



Slika 1. Shematski prikaz funkcija proširenoga realnog vremena na LAN-mreži

S obzirom na učestalost obrade, funkcije koje bi se trebale obavljati na LAN-mreži mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine:

— cikličke obrade
— slučajne obrade.

U skupinu cikličkih obrada ubrajaju se sljedeće funkcije:

— prijenos telemjerenja iz stvarnog sistema svakih 5 sek. (akvizicija)
— procjena stanja (estimacija) svakih 5 minuta
— analiza sigurnosti (N-1 analiza) svakih 15 minuta.

Slučajne obrade izvode se u slučaju promjene topologije, a na zahtjev operatera, pri čemu uz određivanje novog topološkog stanja treba izvesti i estimaciju stanja.

U skladu s grafičkim mogućnostima koja pruža Windows-okruženje, programi proširenoga realnog vre-

mena postaju vrlo jednostavni za korištenje. Postoje dvije razine prikaza računske mreže:

— jednopolna shema računske mreže
— jednopolna shema rasklopnog postrojenja.

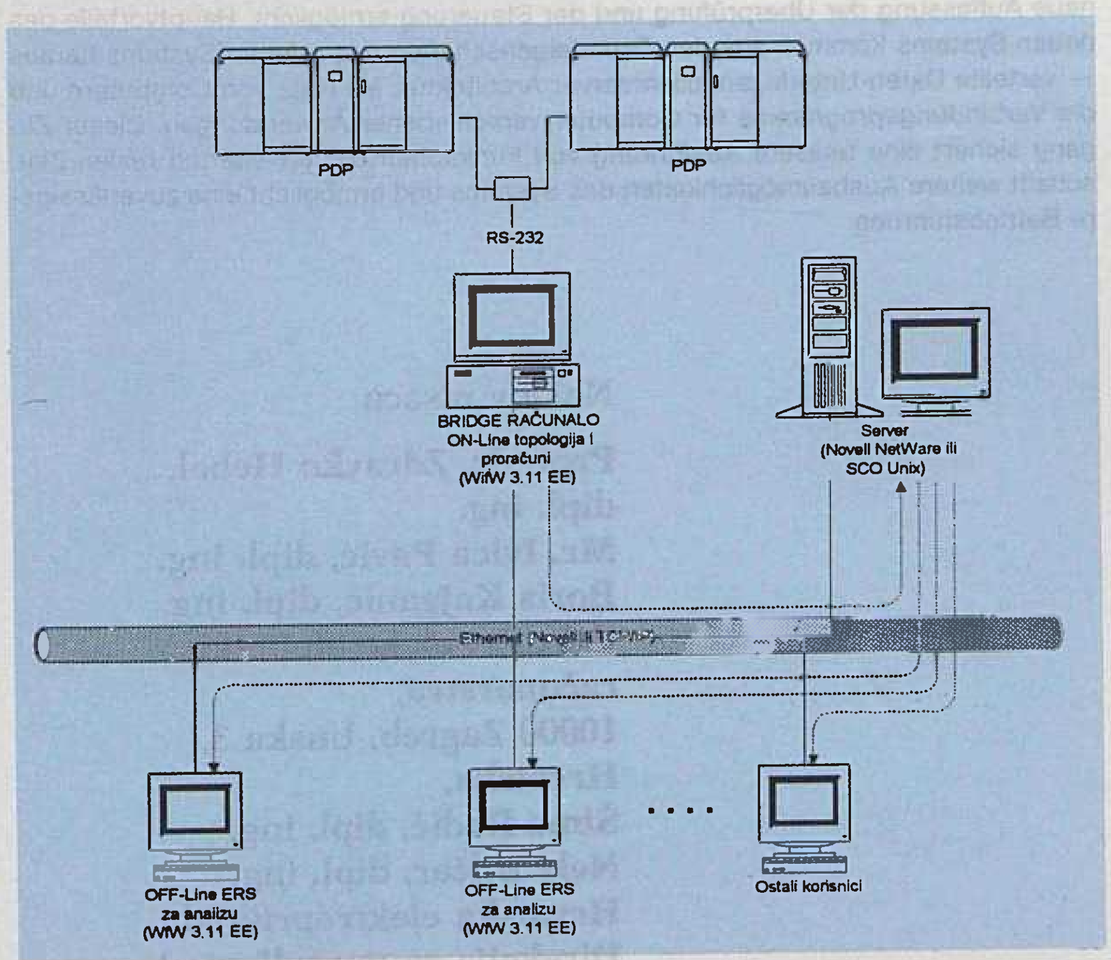
Na jednopolnoj shemi cijele mreže bit će prikazani samo osnovni elementi mreže i njezino trenutno topološko stanje, dok će shema stanice predstavljati detaljan prikaz svih elemenata stanice i njezino trenutno uklopno stanje. Osim mjerenja iz stvarnog sustava, na prikazu će se nalaziti i izračunate vrijednosti koje daje program estimacije stanja. Ciklički, nakon svakih 15 minuta izvodit će se program analize sigurnosti, i to za posljednje estimirano stanje mreže. U slučaju pojave bilo kakvog ograničenja prilikom proračuna nadzorni sustav će upozoriti operatera.

4. REALIZACIJA FUNKCIJA PROŠIRENOGA REALNOG VREMENA NA LAN-MREŽI

4.1. Prva faza projekta (jednokorisnički, »single-user« sustav)

Za realizaciju funkcija sustava obrade na LAN-mreži, koncepcijski prikazanog na slici 1, potrebno je definirati odgovarajuću hardversku i softversku podršku. U prvoj fazi projekta podaci »preslikani« iz PDP-a kompletno se obrađuju na BRIDGE-računalu. Shematski prikaz LAN-mreže za prvu fazu projekta prikazan je slikom 2. Iz slike je vidljivo da se na BRIDGE-računalu moraju realizirati sljedeće funkcije:

— *prijenos podataka realnog vremena iz PDP-a*
— *ON-LINE topologija, estimacija stanja i analiza sigurnosti*
— *ON-LINE prikaz.*

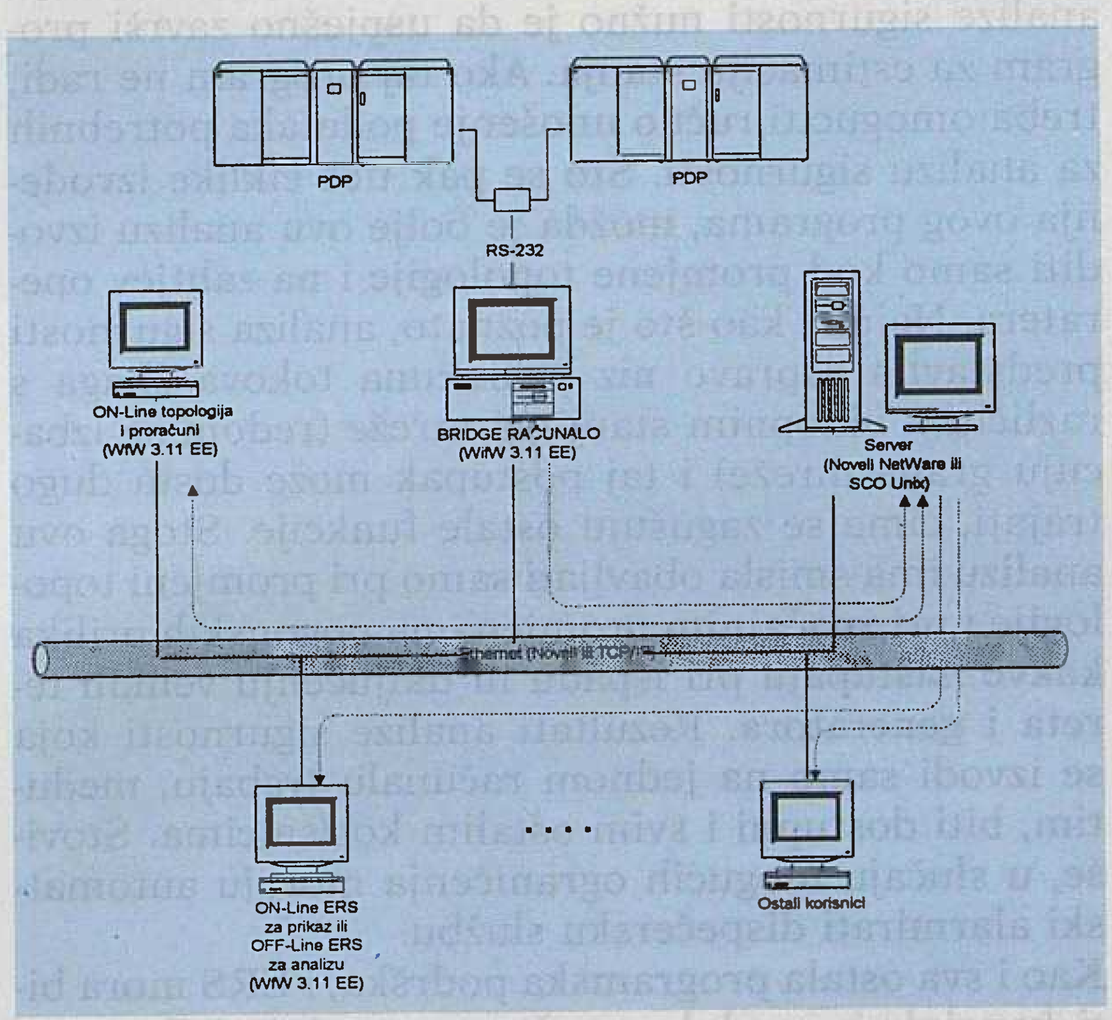


Slika 2. Shematski prikaz OPS-mreže za jednokorisnički ON-LINE rad

Osim BRIDGE-računala, koje radi u *on-line* modu, treba predvidjeti i računalo koje će obavljati funkciju SERVER-a. Na to računalo pohranjivat će se ulazni podaci (topologija) i rezultati (izračunate snage u čvorištima) nakon svake uspješno izvedene procjene stanja. Podaci koji se spremaju na SERVER bit će na taj način dostupni svim ostalim korisnicima. Na ovako koncipiranu LAN-mrežu treba priključiti i operatersku konzolu kako bi se mogla ostvariti komunikacija između nje i BRIDGE-a, čime je omogućeno slanje alarma operateru u slučaju ograničenja dobivenih analizom sigurnosti. S obzirom na značenje LAN-mreže, operacijski sustav i komunikacijski protokol koje treba instalirati na SERVER-u treba vrlo pomno odabrati kako bi pouzdanost i raspoloživost cjelokupnog sustava bila što veća.

4.2. Druga faza projekta (višekorisnički, »multi-user« sustav)

U sljedećoj fazi projekta prelazi se s jednokorisničkog sustava na višekorisnički sustav, čime se omogućuje praćenje rada EES-a u realnom vremenu na više računala. Za ostvarenje tog zadatka potrebno je dograditi postojeći sustav kako u hardverskom, tako i u softverskom dijelu. Shematski prikaz sustava obrade funkcija proširenoga realnog vremena na LAN-mreži u ovoj fazi prikazan je slikom 3.



Slika 3. Shematski prikaz OPS-mreže za višekorisnički ON-LINE rad

Iz slike je vidljivo da se na BRIDGE-računalu sada izvodi samo funkcija *prijenosa podataka realnog vremena iz PDP-a,* dok se funkcija *ON-LINE topologije i proračuna estimacije i analize sigurnosti* odvija na posebnom računalu. Funkcije *ON-LINE prezentacije* i *OFF-LINE analiza* mogu se izvoditi na više računala, s tom razlikom što se u slučaju *ON-LINE prezentacije* podaci uzimaju iz dijela baze podataka u kojem su smješteni *podaci realnog vremena,* dok se u slučaju *OFF-LINE analiza* programi koriste *arhivskim podacima.*

5. ANALIZA SIGURNOSTI NA LAN-MREŽI

Dosadašnja programska podrška za obavljanje funkcija iz područja proširenoga realnog vremena instalirana na procesnom PDP računalu naravno da ne zadovoljava vrlo visoke kriterije koje pred moderni softver postavljaju korisnici. Dio tih funkcija već je prerađen na PC-platformu i Windows-okruženje (programski paket ERS), ali zasada radi samo s arhivnim podacima u *OFF-LINE* modu. Za ostvarenje zadataka modernizacije rada Nacionalnoga dispečerskog centra potrebno je izvesti dodatnu prilagodbu programa ERS kako bi se on mogao koristiti i u *ON-LINE* modu. Novi programski paket ERS treba imati dva moda rada:

— *ON-LINE* (program će se izvoditi automatski s podacima iz realnog vremena)
— *OFF-LINE* (program će se izvoditi na zahtjev s arhivnim podacima).

Budući da je analiza sigurnosti (N-1 analiza) veoma bitna za sigurno i kvalitetno odvijanje pogona elektroenergetskog sistema, posebnu pozornost treba obratiti upravo ovoj funkciji proširenoga realnog vremena. Kako su rezultati estimacije stanja ujedno ulazni podaci za analizu sigurnosti (opterećenja u čvorištima i proizvodnja generatora), za izvođenje analize sigurnosti nužno je da uspješno završi program za estimaciju stanja. Ako taj program ne radi, treba omogućiti ručno unošenje podataka potrebnih za analizu sigurnosti. Što se pak tiče ciklike izvođenja ovog programa, možda je bolje ovu analizu izvoditi samo kod promjene topologije i na zahtjev operatera. Naime, kao što je poznato, analiza sigurnosti predstavlja zapravo niz proračuna tokova snaga s različitim uklopnim stanjima mreže (redom se izbacuju grane mreže) i taj postupak može dosta dugo trajati, čime se zagušuju ostale funkcije. Stoga ovu analizu ima smisla obavljati samo pri promjeni topologije i pri značajnim promjenama pogonskih prilika kakve nastupaju pri ispadu ili uključenju velikih tereta i generatora. Rezultati analize sigurnosti koja se izvodi samo na jednom računalu trebaju, međutim, biti dostupni i svim ostalim korisnicima. Štoviše, u slučaju mogućih ograničenja moraju automatski alarmirati dispečersku službu.

Kao i sva ostala programska podrška, i ERS mora biti koncipiran modularno, što omogućuje jednostavnu i brzu dogradnju s nekim novim analizama, npr. kratkim spojem, analizom stabilnosti, optimiranjem jalovih snaga i dr.

ZAKLJUČAK

Modernizacija rada sustava za nadzor i upravljanje elektroenergetskim sistemom u Nacionalnom dispečerskom centru treba se odvijati u skladu s današnjim tendencijama razvoja ovakvih sustava u svijetu. Zadržavanjem procesnog računala PDP (sučelje prema stvarnom EES-u), te odvajanjem funkcija proširenoga realnog vremena od SCADA-sistema, PDP računalo postaje nešto poput DAC-servera (Data Acquisition server) u modernoj konfiguraciji. Ostale funkcije se prenose na LAN-mrežu, čime se znatno rasterećuje PDP i ostvaruje se sigurniji i kvalitetniji rad dispečerske službe. Korištenjem grafičkog sučelja, kao i svih ostalih pogodnosti koje pruža rad u Windows-okruženju, jedan hardverski zastarjeli sustav za nadzor i upravljanje postupno prelazi u sustav sa svim značajkama današnjih modernih dispečerskih centara u svijetu.

LITERATURA

SODETEG — T.A-1.
— Funkcionalne specifikacije sistema obrade za RDC
— Struktura software-a
— Funkcija proširenog realnog vremena ETF — ZVNE Zagreb
— Programski paket ERS za analizu elektroenergetskih sistema

CROATIAN ELECTRIC POWER SYSTEM CONTINGENCY ANALYSIS IN EXTENDED REAL TIME

In the paper, the problems of the extended real time function transmission from the processing computer PDP 11/44, located in the National Dispatch Centre, to the local area network, are described. The obsoleted hardware can be relieved by separating the above mentioned functions from the SCADA system whereby the transition to the new concept system for monitoring and control is possible. Major advantages of the new system result from the open system's basic characteristics: distributed database, client-server architecture, computer network and communication software for connection of different function computers. This approach allows better extended real time function execution, future system expansion and safer operation management.

ÜBERPRÜFUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT DES KROATISCHEN VERBUNDBETRIEBES IN DER ERWEITERTEN REALEN ZEIT

Beschrieben werden die Fragen der Übertragung von Funktionen in der erweiterten realen Zeit vom Processrechner PDP 11/44 des Hauptlastverteilers an das Rechnernetz eines begrenzten Gebietes. Durch Abtrennung angeführter Funktionen vom SCADA-System werden überholte Gefüge entlastet und der Übergang auf eine völlig neue Auffassung der Überprüfung und der Steuerung ermöglicht. Hauptvorteile des neuen Systems kommen aus den Grundeigenschaften des offenen Systems heraus — verteilte Daten-Unterlagen, clientserver Architektur, ein Netz von Computern und die Verbindungsprogramme für Computer verschiedener Anwendungen. Dieser Zugang sichert eine bessere Ausführung von Funktionen der erweiterten realen Zeit, schafft weitere Ausbaumöglichkeiten des Systems und ermöglicht eine zuverlässigere Betriebsführung.

Naslov pisaca:

Prof. dr. Zdravko Hebel, dipl. ing.
Mr. Ivica Pavić, dipl. ing.
Boris Kajganić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva,
10000 Zagreb, Unska 3, Hrvatska,
Šime Radić, dipl. ing.
Nela Bilčar, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za upravljanje i prijenos,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-05-10-

KONFIGURACIJA SUSTAVA DALJINSKOG VOĐENJA DISTRIBUTIVNOG PODRUČJA

Mr. Vladimir Kavur, Zagreb

UDK 621.316.1:621.398
PREGLEDNI ČLANAK

Referat daje pregled mogućih konfiguracija sustava daljinskog vođenja (SDV) primjenom današnjih tehnoloških rješenja informatičkih sustava. Shodno tome diskutirana su određena rješenja primjerena potrebama distributivnog područja.
Prvi dio referata daje osnovne postavke upravljanja distributivnog područja (DP) s prikazom raspodjele nadležnosti između centra upravljanja pogona i dispečerskog centra distributivnog područja. Ukratko je provedena diskusija i o sadašnjim konfiguracijama prisutnim u eksploataciji.
U nastavku analiziraju se pretpostavljene konfiguracije SDV-a s aspekta pogodnosti primjene na organizaciju distributivnog područja kako za sam SDV, tako i u sklopu potpunog rješenja informatičkog sustava DP-a.
U zaključku dane su prednosti i mane pojedinih konfiguracija SDV-a primijenjenih za DP.

Ključne riječi:

DAS	**— daljinska stanica**	**(remote terminal unit; RTU)**
DUC	**— dispečerski centar distributivnog područja**	**(distribution dispatching centre)**
CUP	**— centar upravljanja pogona**	**(branch control centre)**
SDV	**— sustav daljinskog vođenja**	**(distribution management system; DMS)**
SCADA	**— sistem nadzora i prikupljanja podataka u realnom vremenu**	**(system control and data aquasation)**
EES	**— elektroenergetski sistem**	**(power system)**
IDN	**— integrirana digitalna mreža**	**(integrated digital network).**

1. UVOD

Sa stajališta vođenja elektroenergetskog sustava (EES) distributivnog područja (DP) poslovi upravljanja odnosno vođenja dijele se sukladno organizaciji. To znači da se za 35 kV i više napone organizira centralno vođenje na razini DP-a (služba za tehničke poslove), dok se za naponske razine 20 (10) kV i 0,4 KV vođenje organizira po pogonima. Prateći organizaciju i poslove nadzora i upravljanja visokonaponskom mrežom (110 kV, 35 kV) i srednjonaponskom mrežom (20 kV, 10 kV), sustav daljinskog vođenja (SDV) treba konfigurirati tako da omogući:

— optimalnu raspodjelu informacija
— maksimalnu propusnost informacijskih tokova
— odgovarajuće vrijeme odgovora na događaje u EES.

Da bismo rečeno osigurali, potrebno je sve podsustave SDV-a konfigurirati tako da sukladno današnjoj razini informatičke tehnologije najprikladnije odgovore postavljenim zahtjevima.
Kako SDV dijelimo po podsustavima:

— centri upravljanja (CU)
— komunikacijski podsustav
— daljinska stanica (DAS),

potrebno je ostvariti njihovu integraciju tako da se korištenjem svih mogućnosti informatičkih resursa definira konfiguracija SDV uz optimalne troškove i odzivnost za funkciju vođenja sustava.

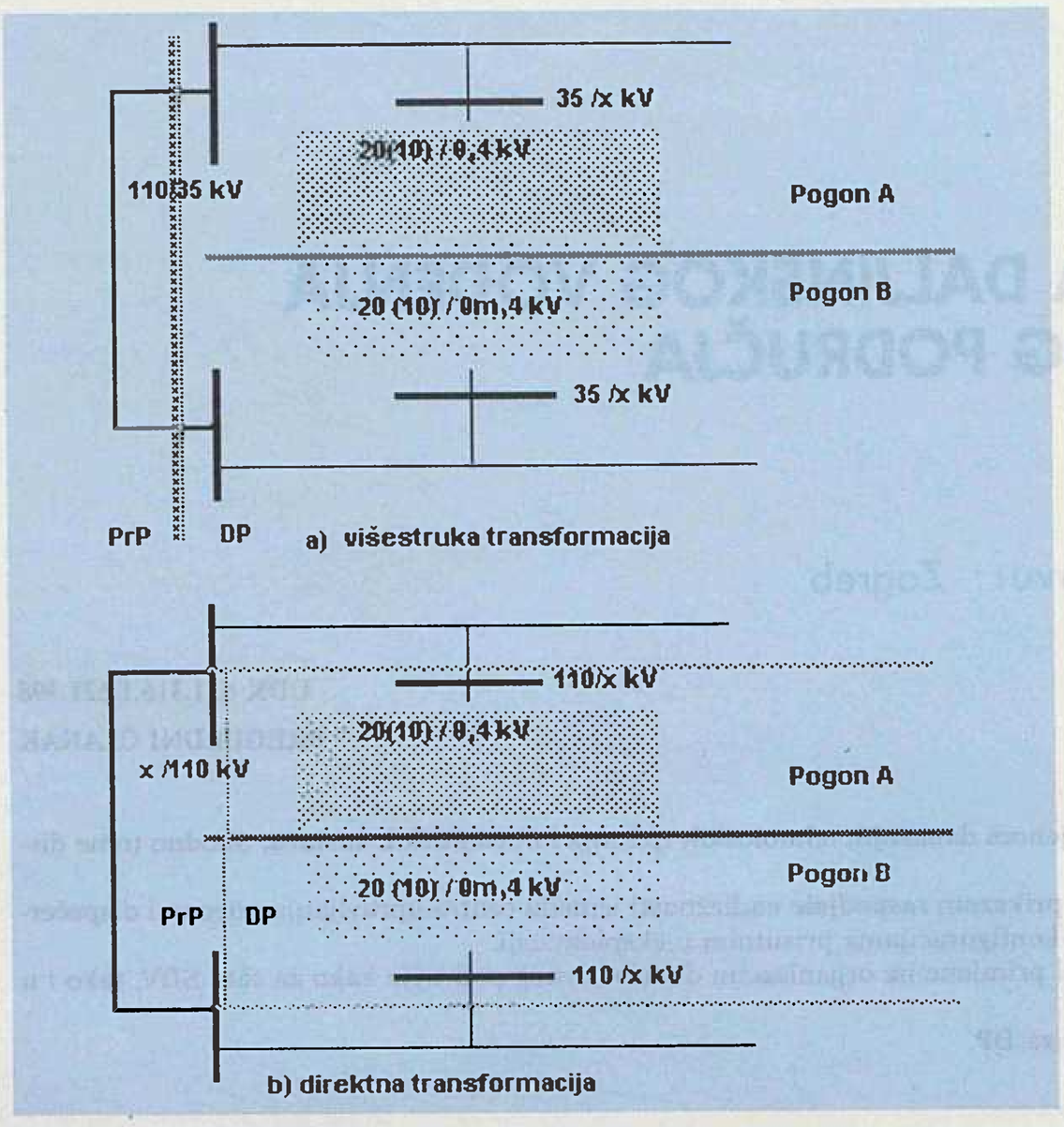
Također, treba uzeti u obzir i današnja načela vođenja EES-a u distribuciji koji redovito definiraju nadzor i upravljanje nad 110, 35 kV mrežom u realnom vremenu, a nad 20, 10 i 0,4 kV mrežom izvan realnog vremena. Promatrajući prema elektroenergetskim objektima, DUC je nadležan za objekte 35 / x kV, odnosno 110 / x kV. Izvodi iz tih objekata kao i cijela SN-mreža u nadležnosti je CUP-a.

2. DISTRIBUTIVNI ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

U pravilu razlikujemo dva tipa podjele nadležnosti unutar DP sa stajališta vođenja:

Prva varijanta (slika 1.a) prikazuje istodobno razgraničenje prijenosnog (PrP) i distributivnog područja (DP), te između DP i pogona unutar DP. U ovoj varijanti dispečerski centar distributivnog područja (DUC) vodi brigu o visokonaponskoj (VN) mreži u pogonima A i B, te o njihovom zajedničkom presjeku srednjonaponske (SN) mreže. Pogoni samostalno brinu o SN-mreži u njihovoj nadležnosti.

U **drugoj varijanti** (slika 1.b), slučaj direktne transformacije (110 / x kV) u pravilu o 110 kV mreži brine centar upravljanja PrP, dok DUC brine o ulazu energije (transformator) u energetsko područje pojedinog pogona, odnosno o njihovu zajedničkom presjeku u SN-mreži. Pogoni o SN-mreži brinu opet samostalno.



Slika 1. Podjela nadležnosti upravljanja unutar DP

Navedeno upućuje na činjenicu da je većina događaja iz EES-a vezana za centar upravljanja pogona (CUP), odnosno za SN-mrežu. Poseban je slučaj samo kada se DUC i CUP vezani za sjedište DP, kada se informacije fizički dovode u »istu točku«.

3. SUSTAV DALJINSKOG VOĐENJA DISTRIBUTIVNOG PODRUČJA

3.1. Konfiguracija postojećih SDV

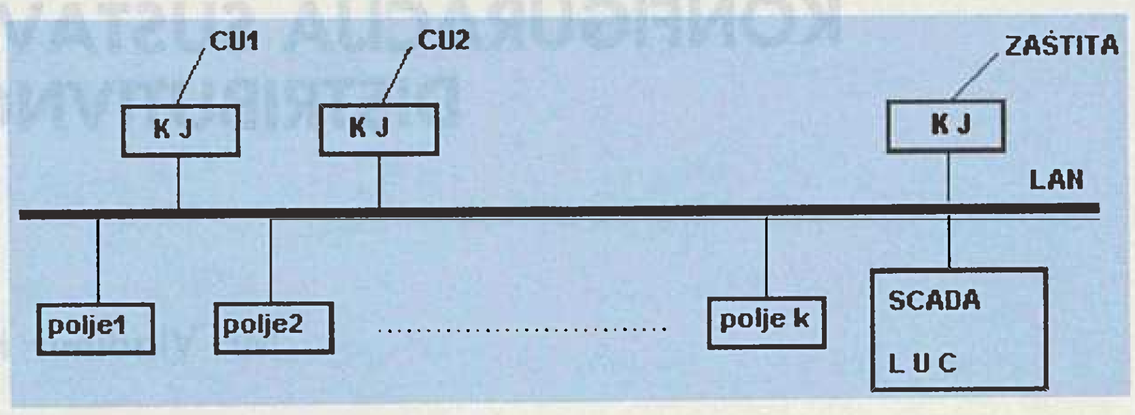
Konfiguracije danas primijenjenih SDV-a u distribuciji uvjetovane su uglavnom tehničkim mogućnostima ugrađene opreme. Osnovno načelo te konfiguracije jest centralno prikupljanje svih informacija, odnosno povezivanje daljinskih stanica na jedan komunikacijski čvor. Istodobno, nadzorno upravljačka mjesta distribuiraju se lokalno (u pravilu) i po pogonima (udaljena radna mjesta).

U odnosu na ovo načelo u zadnjem periodu eksploatacije SDV moguća su i neka druga rješenja unutar DP gdje je prije izgrađeno više odvojenih sustava. Ta rješenja svode se na povezivanje centralnih računala (komunikacijskih podsustava) asinkronom komunikacijom, odnosno preusmjeravanjem komunikacijskih tokova.

U oba slučaja osnovno što treba istaknuti jest asinkroni prijenos podataka u oba smjera uz brzine 200 do 9 600 bit/s, izuzetno 14 400 bit/s.

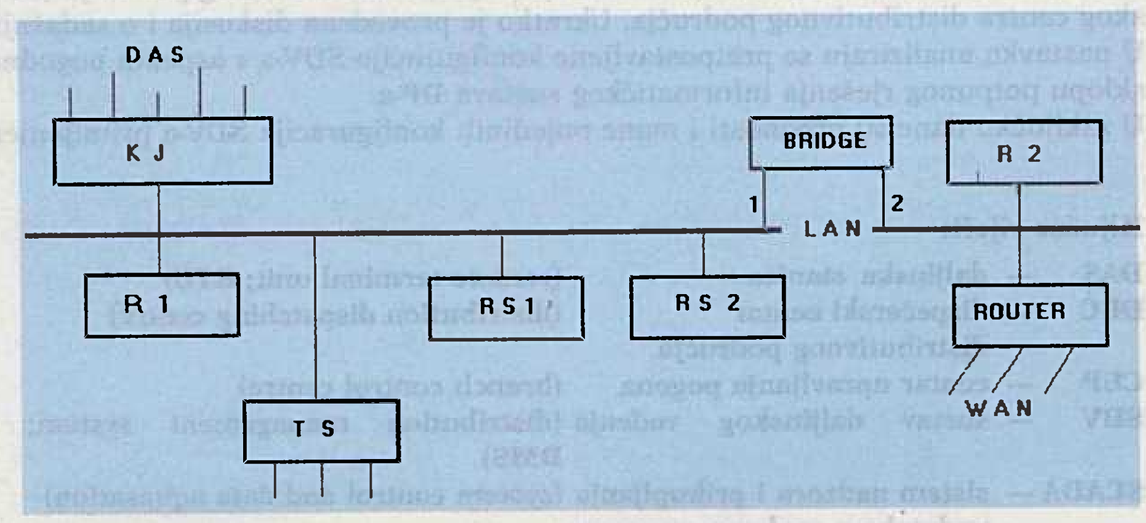
3.2. Mogućnosti novih SDV

Primjenom današnje informatičke tehnike u sustavima daljinskog vođenja omogućen je nov pristup u konfiguriranju svih njegovih podsustava. Pri tome su osnovne značajke primjena standardnih operativnih sustava i baza podataka, te standardnih međuračunarskih komunikacija za lokalne mreže (LAN) i područne računalske mreže (WAN). Načelo je prikazano slikama 2. i 3.



KJ — komunikacijska jedinica
CU — centar upravljanja
LUC — lokalno upravljanje TS
LAN — lokalna inform. sabirnica

Slika 2. Podsustav daljinskog vođenja u TS (DAS)



R x — računalo (server baze ili komunikacije)
RS — radna (grafička) stanica
KJ — komunikacijska jedinica
WAN — područna računalska mreža

Slika 3. Koncepcija mrežno orijentiranoga SDV distributivnog područja

Uz navedeni koncept moguća je fleksibilna izgradnja SDV-konfiguracije utemeljene na različitim odnosima:

— lokalnog centra upravljanja u trafostanici (LUC)
— upravljačkog centra u pogonu (CUP)
— upravljačkog centra distributivnog područja (DUC).

Pri tome osnove za definiranje željene konfiguracije SDV ovise o dva bitna elementa:

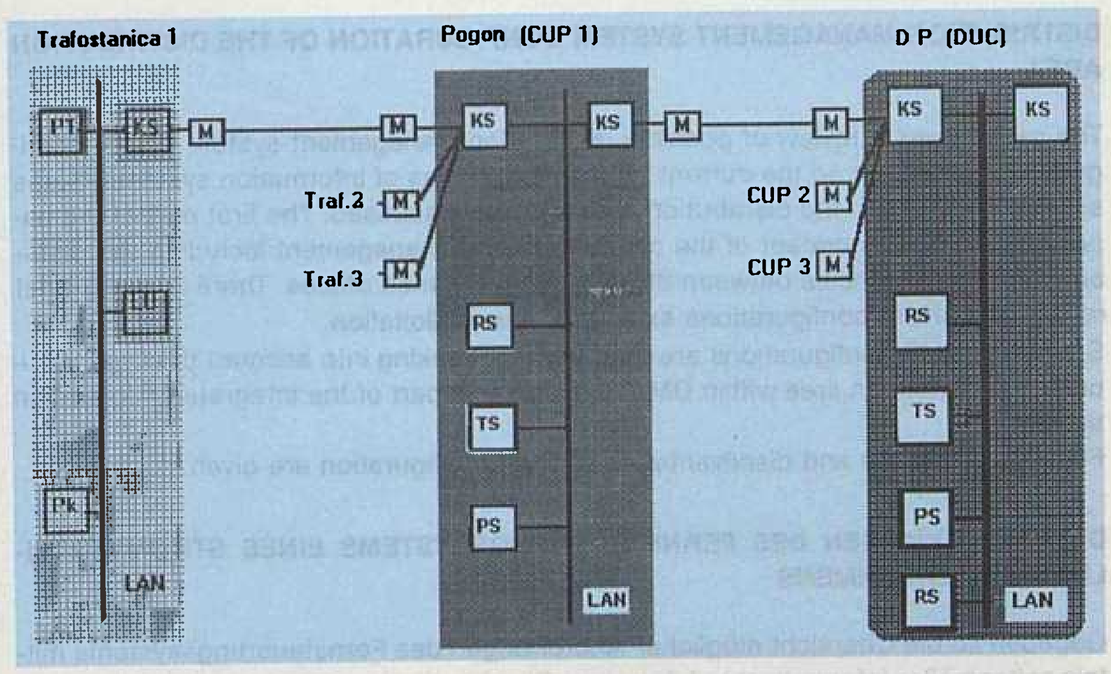
— raspoloživosti komunikacijskih putova
— organizaciji vođenja u DP.

Temeljem tih dvaju elemenata mogu se definirati dvije osnovne konfiguracije SDV distributivnog područja:

— hijerarhijska konfiguracija
— centralizirana konfiguracija.

3.2.1. *Hijerarhijska konfiguracija SDV distributivnog područja*

Temelj hijerarhijske konfiguracije SDV-a jest njegova sustavna izgradnja od elektroenergetskog objekta, preko pogona k centru vođenja DP (slika 4). U ovom tipu konfiguracije osnovno je načelo da se sve daljinske stanice (transformatorske stanice) određenoga pogona pridružuju komunikacijski pripadaju-

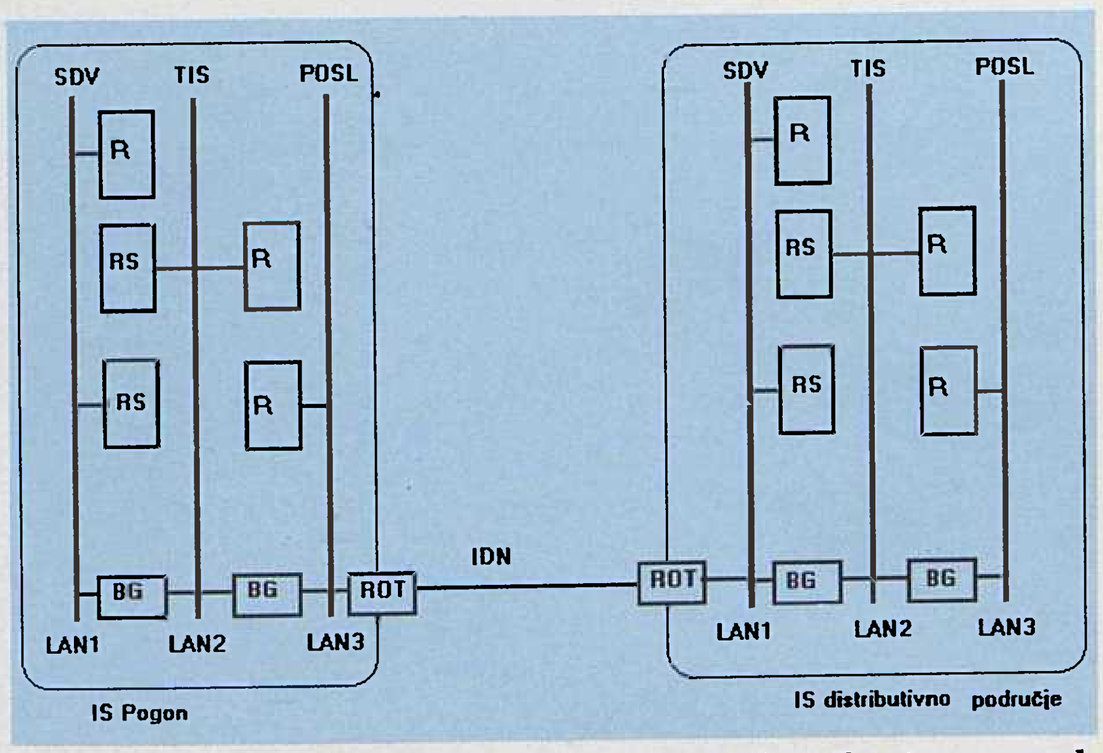


Px — integrirani sustav zaštite i SDV-polja
LU — lokalni centar upravljanja u TS
PS, TS — printer, terminal server
RS — radna stanica
KS — komunikacijski server
M — modem

Slika 4. Hijerarhijska konfiguracija SDV

ćem CUP-u, dok se informacije dijele između CUP-a i DUC-a. Kako temeljem nadležnosti upravljanja (točka 2) većina informacija »pripada« CUP-u, opterećenost komunikacijskog puta između pogona i DP-a bitno je manja u usporedbi s drugim tipom konfiguracije SDV-a.

Ta je konfiguracija i znatno fleksibilnija, jer omogućuje sve režime tokova informacija u svim načinima rada (dnevni, noćni, sve informacije u CUP-u, sve informacije u DUC-u i sl.). Istodobno se jednim »linkom« povezuje više funkcionalnih informatičkih mreža između pogona i DP-a (slika 5).



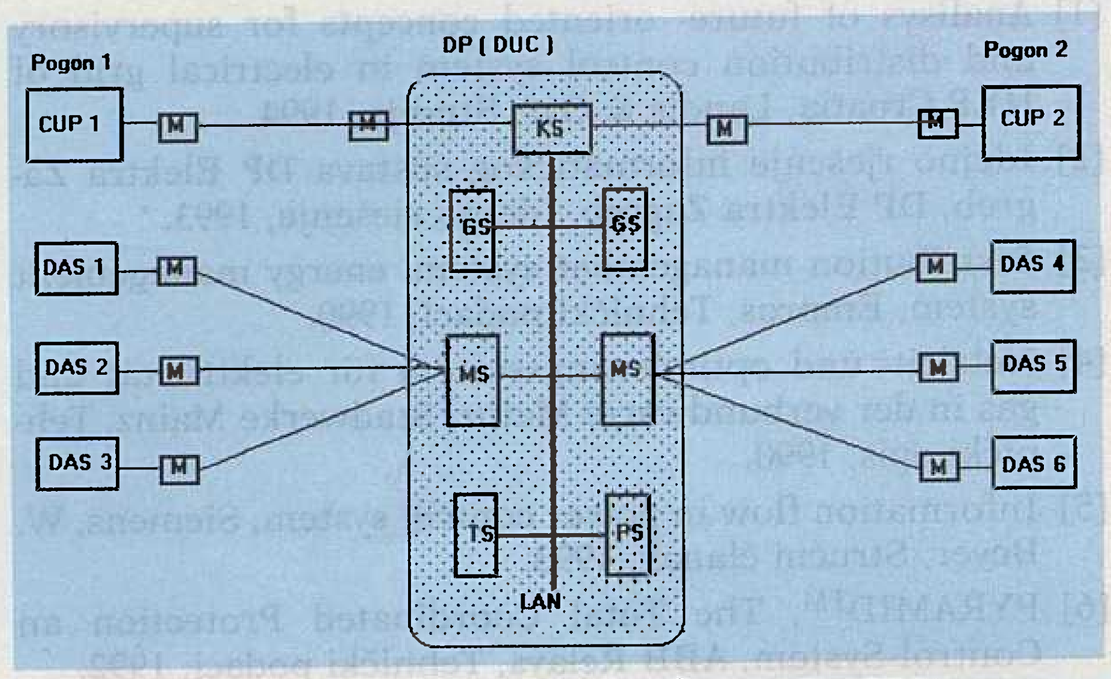
Slika 5. Integralni informatički sustav distributivnog područja

Prednosti:
— jedinstvenost komunikacije
— višestruka sigurnost
— autonomnost rada u slučaju prekida komunikacije
— veća zastupljenost vlastite komunikacijske mreže.

Mane:
— više baza podataka
— složenije administriranje mrežnim sustavom.

3.2.2. *Centralizirana konfiguracija SDV distributivnog područja*

Za razliku od hijerarhijske konfiguracije, centralizirana konfiguracija ima osnovno načelo povezivanja svih DAS-a (LUC) na jednu lokaciju. U ovoj varijanti (slika 6) sve DAS »šalju i primaju« sve informacije prema DUC-u. Definiranjem »mrežnog« rasporeda informacija one se prosljeđuju određenoj radnoj stanici koja može lokacijski biti u DUC-u ili CUP-u. Ta konfiguracija više je primjerena samom SDV-u, ali je manje transparentna na ostalu informatičku mrežu. Ta konstatacija posebno se odnosi na pogone. U sjedištu DP povezivanje više funkcionalnih LAN je lakše izvedivo.



Slika 6. Centralizirana konfiguracija SDV

Prednosti:
— jedna baza procesnih podataka
— jednostavnije administriranje informatičkom mrežom.

Mane:
— razgranata komunikacijska mreža
— veća zavisnost o iznajmljenim vezama
— višestruka komunikacija u oba smjera između DUC-a i CUP-a.

4. ZAKLJUČNO RAZMATRANJE

Konfiguracija SDV-a distribucijskog područja ovisna je o nizu elemenata, no sa stajališta njegove izgradnje, uz današnju tehnološku razinu informatičkih sustava, moguće su dvije varijante:
— **hijerarhijska konfiguracija**
— **centralizirana konfiguracija.**

Budući da obje konfiguracije SDV-a zadovoljavaju temeljne zahtjeve vođenja DP-a, potrebno je prije početka izgradnje pažljivo definirati konačne ciljeve. Naime, treba istaknuti da je uvijek moguć prijelaz iz jedne konfiguracije u drugu prestrukturiranjem komunikacijskog podsustava. No to dovodi do nepotrebnih dodatnih troškova, a moguće su i znatnije pogreške u eksploataciji.

Po mišljenju autora prednost bi trebalo dati varijanti hijerarhijskoj konfiguraciji SDV-a zbog nekoliko razloga:

— mogućnosti jeftinije izvedbe CUP (PC SCADA)
— jednostavnijeg sustava komunikacijske transmisije
— mogućnosti uključenja SDV-a u jedinstvenu IDN distributivnog područja
— mogućnosti postupne izgradnje SDV-a uz veću dinamičku finkcionalnost
— jedinstvenog nadzora nad informatičkim sustavom DP-a.

LITERATURA

[1] Analisys of future- oriented concepts for supervisory and distribution control system in electrical grid of HEP Croatia, Landis & Gyr, Studija, 1994.

[2] Idejno rješenje informatičkog sustava DP Elektra Zagreb, DP Elektra Zagreb, Idejno rješenje, 1993.

[3] Distribution management system, energy management system, Empros, Tehnički podaci, 1990.

[4] Netzleit- und optimierungssystem für elektrizitat und gas in der verbundwarte Mainz, Stadwerke Mainz, Tehnički opis, 1990.

[5] Information flow in power control system, Siemens, W. Beyer, Stručni članak, 1993.

[6] PYRAMID^{TM}, The Total Coordinated Protection an Control System, ABB Relays, Tehnički podaci, 1992.

[7] Computer — based Coordinated Protection & Control, ABB, Tehnički podaci, 1992.

DISTRIBUTION MANAGEMENT SYSTEM CONFIGURATION OF THE DISTRIBUTION AREA

The paper gives a review of possible distribution management system (DMS) configurations according to the current technical solutions of information systems. Some solutions applied to the distribution area are also discussed. The first part of the paper offers a basic concept of the distribution area management including the distribution of competencies between the central and branch offices. There is also a brief review on current configurations existing in the exploitation.
Supposed DMS configurations are then analysed, taking into account the organisation of the ditribution area within DMS and also as a part of the integrated information system.
Finally, advantages and disadvantages of each configuration are given.

DIE ANORDNUNGEN DES FERNSTEUERUNGSSYSTEMS EINES STROMVERTEILUNGSUNTERNEHMENS

Gegeben ist die Übersicht möglicher Anordnungen des Fernsteuerungssystems mittels zeitgemäßer informatischer Lösungen. Eine bestimmte dem Stromverteilungsgebiet angemessene Anzahl solcher Lösungen wurde erörtert.
Der erste Teil des Berichtes gibt Grundsätze für die Betriebsleitung des Stromverteilungsunternehmens, die angezeigte Kompetenzeinteilung zwischen Hauptlastverteiler und Gebietslastverteiler inbegriffen. Kurz erörtert wurden die jetzigen Betriebsleitungsanordnungen im Vertrieb.
Nachfolgend werden vorausgesetzte Lösungen des Fernsteuerungssystems eines Stromverteilungsgebietes vom Blickpunkt der Anwendungsvorteile, sowie für dieses Fernsteuerungssystem selbst, als auch im Rahmen des gesammten Lösung für das ganze Stromverteilungsunternehmen gegeben.
Aufschließend sind Vor- und Nachteile eizelner Anordnungen von Fernsteuerungssystemen in den Stromverteilungs-Unternehmen angezeigt.

Naslov pisca:

Mr. Vladimir Kavur, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Distribucijsko područje
»Elektra«,
10000 Zagreb, Gundulićeva 32,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-06-01

PRIJEDLOG RJEŠENJA AUTOMATSKE SEKUNDARNE REGULACIJE NAPONA I JALOVE SNAGE U EES-u HRVATSKE

Prof. dr. sc. Sejid Tešnjak — Igor Kuzle — Nenad Puljić, Zagreb

UDK 621.31:621.3.016.25
PREGLEDNI ČLANAK

U radu su opisani nužni postupci za ostvarenje automatske sekundarne regulacije napona i jalove snage u elektroenergetskom sustavu Hrvatske elektroprivrede. Težište je postavljeno na određivanje pilot-čvorišta, definiranje zona sekundarne regulacije i algoritma upravljanja te na nužne prilagodbe postojećih komponenta sustava uključenih u sekundarnu regulaciju napona te na nužne jalove snage. Objašnjen je i način definiranja granica regulacijskih zona prema električkim udaljenostima redukcijom cijelog sustava na dva čvorišta.

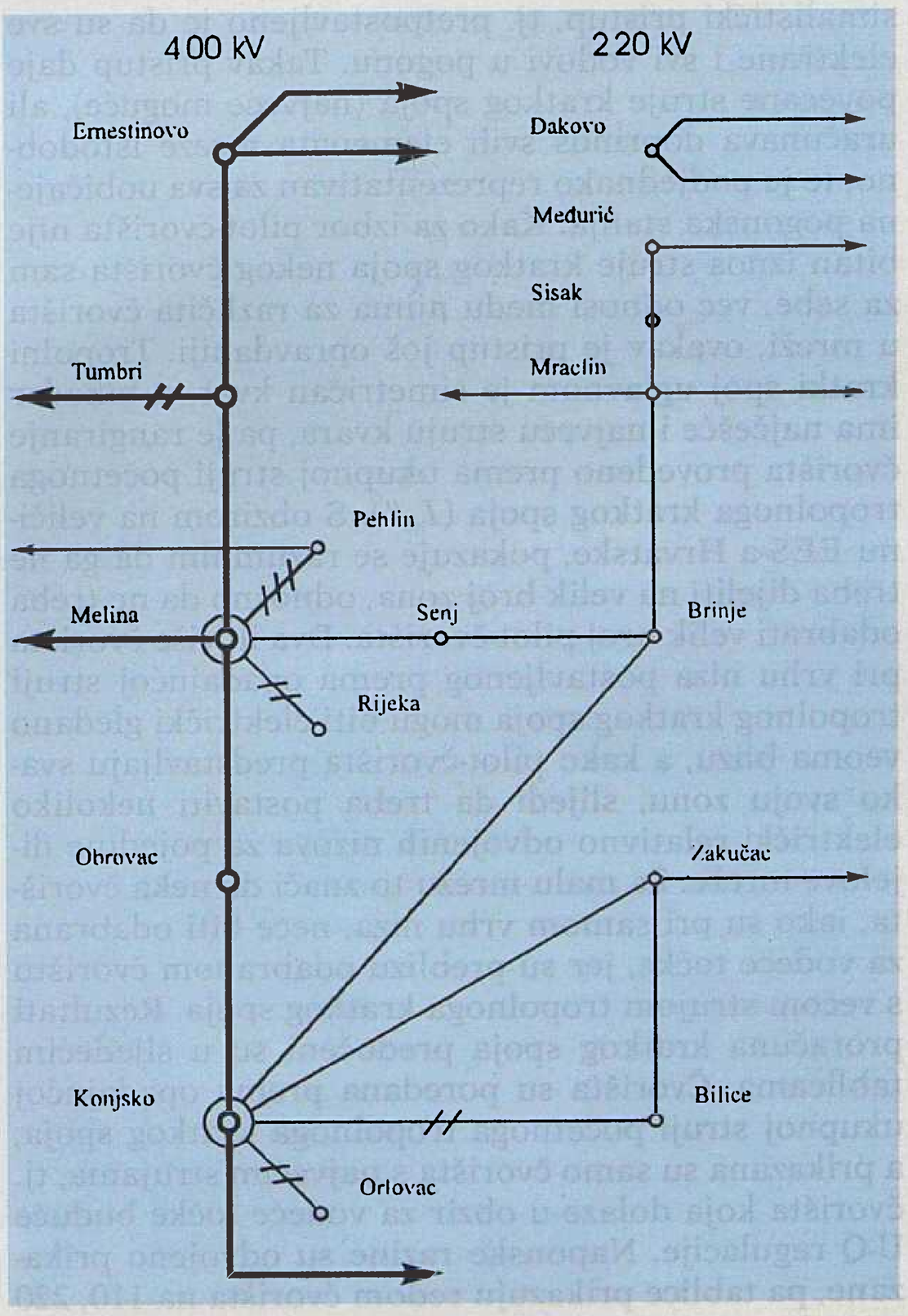
Ključne riječi: **napon, jalova snaga, sekundarna regulacija, pilot-čvorište, zona sekundarne regulacije, električna udaljenost, algoritam, mjerenja.**

1. UVOD

1.1. Značajke elektroenergetskog sustava Hrvatske elektroprivrede

Elektroenergetski sustav Hrvatske je prostorno dekomponiran i u normalnim okolnostima ovisan o prilikama u susjednim sustavima. Prijenosna mreža 400 kV samo je jedan potez kroz Hrvatsku vezan na susjedne sustave iz četiri čvorne točke. Petlje se realiziraju samo u zajedničkom radu sa susjednim elektroenergetskim sustavima. U sjevernom dijelu sustava nema neposredne veze između prijenosnih mreža 400 i 220 kV, već se povezanost ostvaruje preko mreže 110 kV, odnosno preko prijenosnih mreža susjednih sustava na koje se ne može utjecati. Glavnina proizvodnih jedinica priključena je na mrežu 110 kV, a i čvorišta s najvećom koncentracijom opterećenja jesu na naponu 110 kV. Opisane specifičnosti predočene su na sl. 1, koja prikazuje prijenosnu mrežu 400 i 220 kV Hrvatske elektroprivrede (stanje 1990. godine).

Te specifičnosti elektroenergetskog sustava Hrvatske treba svakako uzeti u obzir pri razmatranjima. Međusobna bliskost i shodno tome relativno velika ovisnost naponskih prilika između susjednih sabirnica 400 kV, uz već rečeno, upućuje na to da će se čvorišta koja mogu udovoljiti svim zahtjevima nalaziti na naponu 110 kV. Važno je napomenuti da Hrvatska za sada ne raspolaže dostatnim energetskim resursima za zadovoljavanje svojih potreba, pa je prisiljena uvoziti električnu energiju. Bez obzira na to radi li se o energiji iz elektrana u susjednim državama, građenim sredstvima Hrvatske elektroprivrede ili o čistom uvozu (kupnji ili razmjeni), za svu uvezenu električnu energiju potrebno je osigurati odgovarajuću podršku u jalovoj energiji kako se ne bi ugrozila sigurnost rada sustava. Nedostatak jalove energije posebno je naglašen u sjevernom dijelu EES-a Hrvatske. U vrijeme niske potrošnje (noći, vikendi i blagdani) pojavljuje se posve suprotan problem. Slabo



Slika 1. Prijenosna mreža 400 i 220 kV Hrvatske elektroprivrede (stanje 1990. godine)

opterećena 400 kV-na prijenosna mreža proizvodi jalovu energiju, što uzrokuje opći porast napona u cijeloj mreži. Nisu rijetke situacije kada je unatoč prijelazu svih elektrana u pogonu u kapacitivno područje rada i uključivanju prigušnica u pogon jedino rješenje za snižavanje napona u dopuštene granice isključivanje pojedinih dionica 400 kV iz pogona. Jasno je da do izbora između zaštite elemenata EES-a od previsokih napona (i preko 430 kV na mreži 400 kV) i globalne sigurnosti rada EES-a (prijenosna mreža 400 kV je temelj prijenosa električne energije) ne bi smjelo doći. Te probleme treba svakako imati na umu pri rješavanju problematike napona EES-a Hrvatske. Za potrebe provedenih proračuna sistematizirane su odgovarajuće baze podataka prema zahtjevima korištenih programa.

2. IZBOR PILOT-ČVORIŠTA U EES-u HEP-a

Temeljni kriterij za izbor pilot-čvorišta jest proračun kratkog spoja. Pomoću programskog paketa ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) proveden je proračun kratkog spoja u prijenosnoj mreži HEP-a. Proračun je proveden za stanje mreže 1990. godine, odnosno za zadnje normalno pogonsko stanje, a računate su struje kratkog spoja za neistodobne kvarove u svim čvorištima mreže. Primijenjen je tzv. maksimalistički pristup, tj. pretpostavljeno je da su sve elektrane i svi vodovi u pogonu. Takav pristup daje povećane struje kratkog spoja (najveće moguće), ali uračunava doprinos svih elemenata mreže istodobno, te je podjednako reprezentativan za sva uobičajena pogonska stanja. Kako za izbor pilot-čvorišta nije bitan iznos struje kratkog spoja nekog čvorišta sam za sebe, već odnosi među njima za različita čvorišta u mreži, ovakav je pristup još opravdaniji. Tropolni kratki spoj uglavnom je simetričan kvar, a također ima najčešće i najveću struju kvara, pa je rangiranje čvorišta provedeno prema ukupnoj struji početnoga tropolnoga kratkog spoja (I_{k3}''). S obzirom na veličinu EES-a Hrvatske, pokazuje se razumnim da ga ne treba dijeliti na velik broj zona, odnosno da ne treba odabrati velik broj pilot-čvorišta. Dva ili više čvorišta pri vrhu niza postavljenog prema opadajućoj struji tropolnog kratkog spoja mogu biti električki gledano veoma blizu, a kako pilot-čvorišta predstavljaju svako svoju zonu, slijedi da treba postaviti nekoliko električki relativno odvojenih nizova za pojedine dijelove mreže. Za malu mrežu to znači da neka čvorišta, iako su pri samom vrhu niza, neće biti odabrana za vodeće točke, jer su preblizu odabranom čvorištu s većom strujom tropolnoga kratkog spoja. Rezultati proračuna kratkog spoja predočeni su u sljedećim tablicama. Čvorišta su poredana prema opadajućoj ukupnoj struji početnoga tropolnoga kratkog spoja, a prikazana su samo čvorišta s najvećim strujama, tj. čvorišta koja dolaze u obzir za vodeće točke buduće U-Q regulacije. Naponske razine su odvojeno prikazane, pa tablice prikazuju redom čvorišta na 110, 220 i 400 kV razini. Nekoliko čvorišta na razini 110 kV s područja Zagreba nisu prikazana iako su po iznosu struje u gornjoj skupini, jer imaju znatno manju struju kratkog spoja od TS Tumbri i TS Mraclin, a kako su im relativno blizu, ne dolaze u obzir kao pilot-čvorišta.

Tablica 1. Čvorišta na 110 kV razini

Postrojenje 110 kV	I_{k3}'' (kA)
TS Tumbri	32,3
TS Mraclin	31,8
TS Ernestinovo	28,4
TS Rakitje	25,5
TS Melina	22,3
TS Pehlin	20,7
TS Konjsko	20,6

Tablica 2. Čvorišta na 220 kV razini

Postrojenje 220 kV	I_{k3}'' (kA)
TS Melina	22,7
TE Rijeka	20,5
TS Pehlin	18,8
TS Konjsko	17,3
HE Zakučac	13,0
TS Mraclin	12,9
TE Sisak	10,6

Tablica 3. Čvorišta na 400 kV razini

Postrojenje 400 kV	I_{k3}'' (kA)
TS Tumbri	13,5
TS Melina	12,8
TS Ernestinovo	11,1
TS Konjsko	9,5
RHE Obrovac	8,1

U skladu sa svim spomenutim činjenicama, te veličinom i ostalim značajkama hrvatskoga elektroenergetskog sustava, iz rezultata provedenog proračuna proizlaze četiri vodeće točke. Svaka u svom dijelu mreže ima najveću ukupnu struju početnoga tropolnoga kratkog spoja, a međusobno su dovoljno električki udaljene, te stoga međusobno naponski dovoljno neovisne. Iskustva iz prakse u upravljanju EES-om također potvrđuju da izabrana čvorišta najbolje predstavljaju svako svoju okolinu u mreži. Zbog gospodarskih razloga važno je napomenuti da u bližoj budućnosti neće biti potrebno revidiranje izbora, što bi izazvalo dodatne troškove. Naime, postojeće studije očekivanih kratkih spojeva u EES-u Hrvatske za sljedeća razdoblja potvrđuju ovaj izbor. Elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede treba podijeliti na četiri regulacijske zone, a četiri odabrana pilot-čvorišta su: sabirnice **110 kV u TS Tumbri,** sabirnice **110 kV u TS Ernestinovo,** sabirnice **110 kV u TS Melina,** sabirnice **110 kV u TS Konjsko.**

3. DEFINIRANJE REGULACIJSKIH ZONA

Nakon izbora pilot-čvorišta potrebno je definirati pripadne regulacijske zone. Jasno je da su granice EES-a Hrvatske ujedno i granice regulacijskih zona, a da se zone moraju razgraničiti samo unutar susta-

va. Potrebno je provesti analizu električnih udaljenosti od vodećih točaka i tako utvrditi granicu svake zone. Ideja je da se svi izvori i potrošači odspoje, odnosno ulazne i izlazne snage proglase nula vrijednostima, tj. pasivizira sama mreža, a u odabrana pilot-čvorišta redom se priključuje jedinični izvor. Zatim se promatraju padovi napona po mreži počevši od svih pilot-čvorišta pojedinačno. Primijenjen je postupak pomoću matrice admitancija koja je po svojoj definiciji prilagođena ovom postupku. Čvorišta bez ulaznih i izlaznih struja mogu se eliminirati na prethodno prikladno presloženoj matrici admitancija sustava. Velika je prednost ove metode u tome da se za svako pilot-čvorište ne mora računati električna udaljenost prema svim čvorištima u mreži. Koristeći se iskustvom, mogu se odrediti relativno uska područja u mreži između pilot-čvorišta, u kojima treba tražiti granice zona. Presjecišta krivulja padova napona, odnosno padova admitancija (porasta impedancija), po spojnim potezima u prijenosnoj mreži od jednog pilot-čvorišta prema drugom i obratno daju spojne elemente mreže među zonama. Određivanjem spojnih elemenata (vodova) određene su granice regulacijskih zona. Proračuni su rađeni korištenjem računala IBM AIX RISC System/6000, a svi potrebni programi napisani su u programskom jeziku XL FORTRAN. Iz podataka o elektroenergetskom sustavu Hrvatske izračunati su elementi i napisana je matrica vlastitih i međusobnih admitancija u pravokutnim koordinatama $[Y]$. Jednadžbe **I.** Kirchhoffova zakona uz nepoznate napone čvorišta napisane u matričnom obliku jesu:

$$[I] = [Y]\,[V] \tag{1}$$

Ako su od interesa samo određeni naponi, pri rješavanju se mogu eliminirati sva čvorišta bez ulaznih i izlaznih struja. Kao što je već rečeno, treba izračunati padove napona samo između dva čvorišta odjednom, odnosno razliku između napona u pilot-čvorištu i napona u potencijalnom graničnom čvorištu. Razdvajanjem matrica u matričnoj jednadžbi (1) na podmatrice slijedi:

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_A & Y_C \\ Y_C^T & Y_B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \end{bmatrix} \tag{2}$$

gdje su podmatrice redom: I_A struje dva promatrana čvorišta; I_B struje ostalih čvorišta su nule; V_A naponi dvaju promatranih čvorišta; V_B naponi ostalih čvorišta koja će biti uklonjena; Y_A podmatrica matrice Y, admitancije promatranih čvorišta; Y_B podmatrica matrice Y, admitancije ostalih čvorišta; Y_C podmatrica matrice Y, međusobne admitancije ostalih prema promatranim čvorištima i Y_C^T podmatrica matrice Y, transponirana matrica Y_C. Rješavajući jednadžbu (2) po I_A, slijedi:

$$\begin{aligned} I_A &= Y_A V_A + Y_C V_B \\ Y_B^{-1} \cdot \mid I_B &= Y_C^T V_A + Y_B V_B \xrightarrow{\text{slijedi}} V_B \\ &= -Y_B^{-1} Y_C^T V_A. \end{aligned}$$

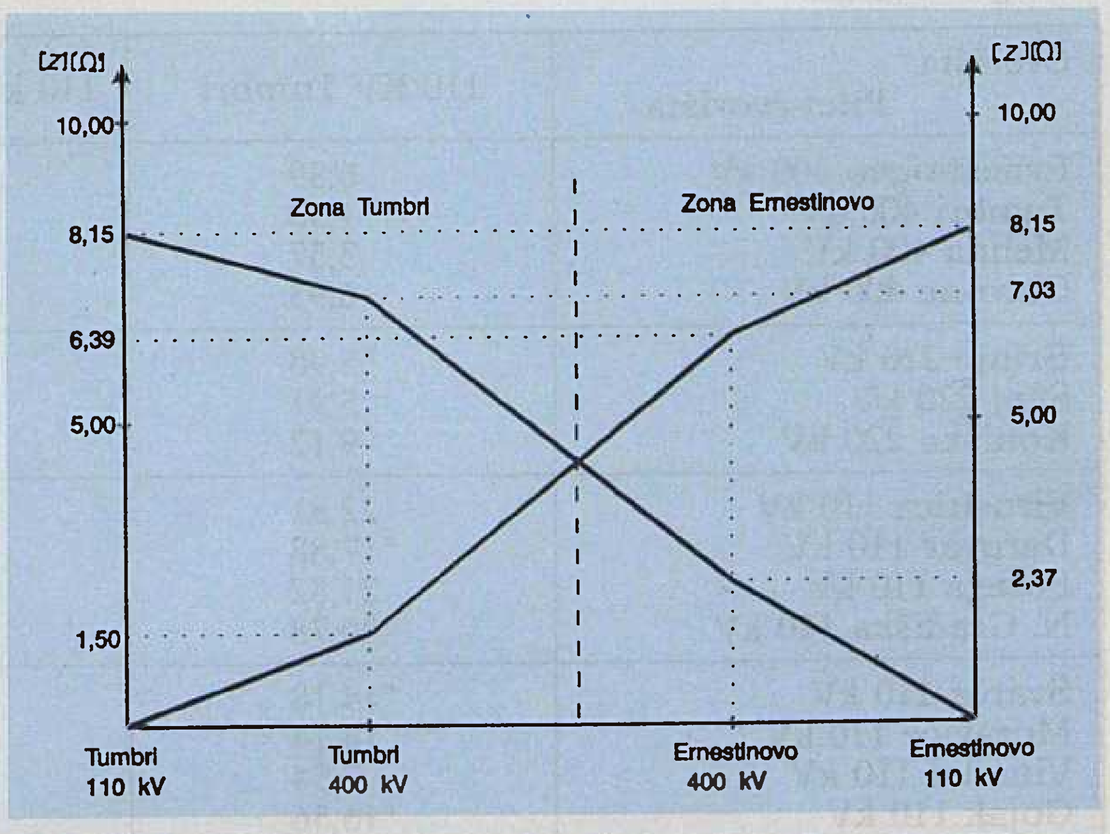
Uvrštanjem donjeg izraza u gornji slijedi:

$$\begin{aligned} I_A &= [Y_A - Y_C Y_B^{-1} Y_C^T]\, V_A \\ &= Y^{(R)} V_A, \end{aligned} \tag{3}$$

odnosno nova matrica je:

$$Y^{(R)} = Y_A - Y_C Y_B^{-1} Y_C^T. \tag{4}$$

Matrica $Y^{(R)}$ jest reda 2 x 2, a njezin vandijagonalan element pomnožen s -1 predstavlja admitanciju između dva odabrana čvorišta i obrnuto je razmjeran padu napona među njima za slučaj pasivizacije ostatka mreže. Programi su temeljito parcijalno testirani na test-podacima, a zatim i kao cjelina na prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede. Provjerene su sve impedancije između čvorišta koja povezuju samo radijalni vodovi te očigledni padovi i porasti impedancija kroz mrežu. Nakon testiranja, proveden je proračun električnih udaljenosti u dijelovima prijenosne mreže između prethodno izabranih pilot-čvorišta. Proračun je, kao i proračun kratkog spoja, proveden za zadnje normalno pogonsko stanje prijenosne mreže, odnosno za stanje 1990. godine. Pri računanju impedancija elemenata mreže i matrice admitancija sustava primijenjena je metoda otpora. Sve vrijednosti su svedene na jedinstven bazni napon 110 kV (U_B = 110 kV). Rezultati proračuna predočeni su u tablici 4, koja prikazuje apsolutne vrijednosti (module) impedancija u omima između pilot-čvorišta i računom dobivenih graničnih čvorišta. Kako je međusobna impedancija neposredno razmjerna ukupnom padu napona među čvorištima za pasiviziranu mrežu, svako čvorište pripada regulacijskoj zoni onog pilot-čvorišta do kojeg ima manju impedanciju, odnosno električki mu je bliže. Pripadnost regulacijskoj zoni je u tablici označena zvjezdicom. Kvalitativno i kvantitativno je porast/pad impedancija kroz mrežu predočen na sl. 2. na primjeru električnog puta između dva pilot-čvorišta Tumbri 110 kV i Ernestinovo 110 kV preko transformacija 400/110 kV i DV 400 kV među njima. Izračunate vrijednosti impedancija prema pilot-čvorištima na sl. 2. nešto su, dakako, niže od impedancija samih elemenata mreže koji ih neposredno povezuju zbog doprinosa ostatka mreže u proračunu. Pogledaju li se krivulje porasta/pada



Slika 2. Impedancije prema krajnjim čvorištima za električni put preko transformacija i dalekovoda 400 kV između pilot-čvorišta 110 kV Tumbri i 110 kV Ernestinovo

impedancija, očigledno je da čvorište 400 kV Tumbri pripada regulacijskoj zoni Tumbri, a čvorište 400 kV Ernestinovo regulacijskoj zoni Ernestinovo, kao što je na slici i označeno. Iz izračunanih svih potrebnih apsolutnih vrijednosti međusobnih impedancija složenih u tablici 4, proizlaze sva granična čvorišta za sve četiri regulacijske zone. Može se uočiti mala nedosljednost pri stavljanju čvorišta 400 kV Melina u regulacijsku zonu Melina, a ne u regulacijsku zonu Tumbri, iako je električki nešto bliže pilot-čvorištu Tumbri 110 kV. Izračunane vrijednosti pretpostavljaju da su svi transformatori u TS Tumbri i TS Melina u pogonu. Kako je u TS Melina veza između sabirnica 110 i 400 kV preko sabirnica 220 kV, a u TS Tumbri neposredno, impedancija preko dvije razine transformacija u TS Melina je nešto veća nego impedancija triju paralelnih transformatora u TS Tumbri i relativno kratkoga dalekovoda 400 kV (127,7 km) među njima. Međutim, čvrsta naponska ovisnost između sabirnica 110 i 400 kV u TS Melina, uz uzimanje u obzir utjecaja 400 kV mreže Slovenije na naponske prilike promatranoga dijela EES-a, važnija je od male razlike u impedancijama. To je još jedna specifičnost prijenosne mreže Hrvatske koja je uzeta u obzir pri određivanju regulacijskih zona. Ako se sve četiri regulacijske zone nazovu imenima pripadnih pilot-čvorišta, slijedi konačna podjela EES-a na regulacijske zone sa sljedećim granicama:

- **Regulacijska zona Ernestinovo** obuhvaća sjeveroistočni dio EES-a, a orijentirana je na sabirnice 110 kV u TS Ernestinovu. Na 400 kV razini graniči u TS Ernestinovu, a na naponu 110 kV granica je u TS Virovitica i TS Požega. Zona Ernestinovo graniči unutar EES-a samo sa zonom Tumbri.
- **Regulacijska zona Tumbri** okružuje sabirnice 110 kV u TS Tumbri te obuhvaća sjeverozapadni dio EES-a. Granica na naponu 400 kV je u TS Tumbri prema zonama Ernestinovo i Melina, a na naponu 220 kV u RP Brinje prema zonama Melina i Konjsko. Na razini 110 kV granica je u TS Daruvar i TS Nova Gradiška prema zoni Ernestinovo te u HE Gojak i TS Švarča prema zoni Melina.
- **Regulacijska zona Melina** okružuje 110 kV sabirnice u TS Melina, odnosno obuhvaća jugozapadni dio EES-a. Granica na razini 400 kV je u TS Melina prema zonama Tumbri i Konjsko, a na 220 kV u HE Senj prema zoni Tumbri. Na 110 kV razini graniči u EVP Moravice i HE Vinodol sa zonom Tumbri i u TS Lički Osik sa zonom Konjsko.
- **Regulacijska zona Konjsko** obuhvaća jugoistočni dio EES-a. Orijentirana je na sabirnice 110 kV u TS Konjsko. Na naponu 400 kV granica je u RHE Obrovac prema zoni Melina, a na 220 kV u TS Konjsko prema zoni Tumbri. Na razini 110 kV granica je u TS Gračac prema zoni Melina. Podjela elektroenergetskog sustava Hrvatske na regulacijske zone shematski je prikazana na sl. 3.

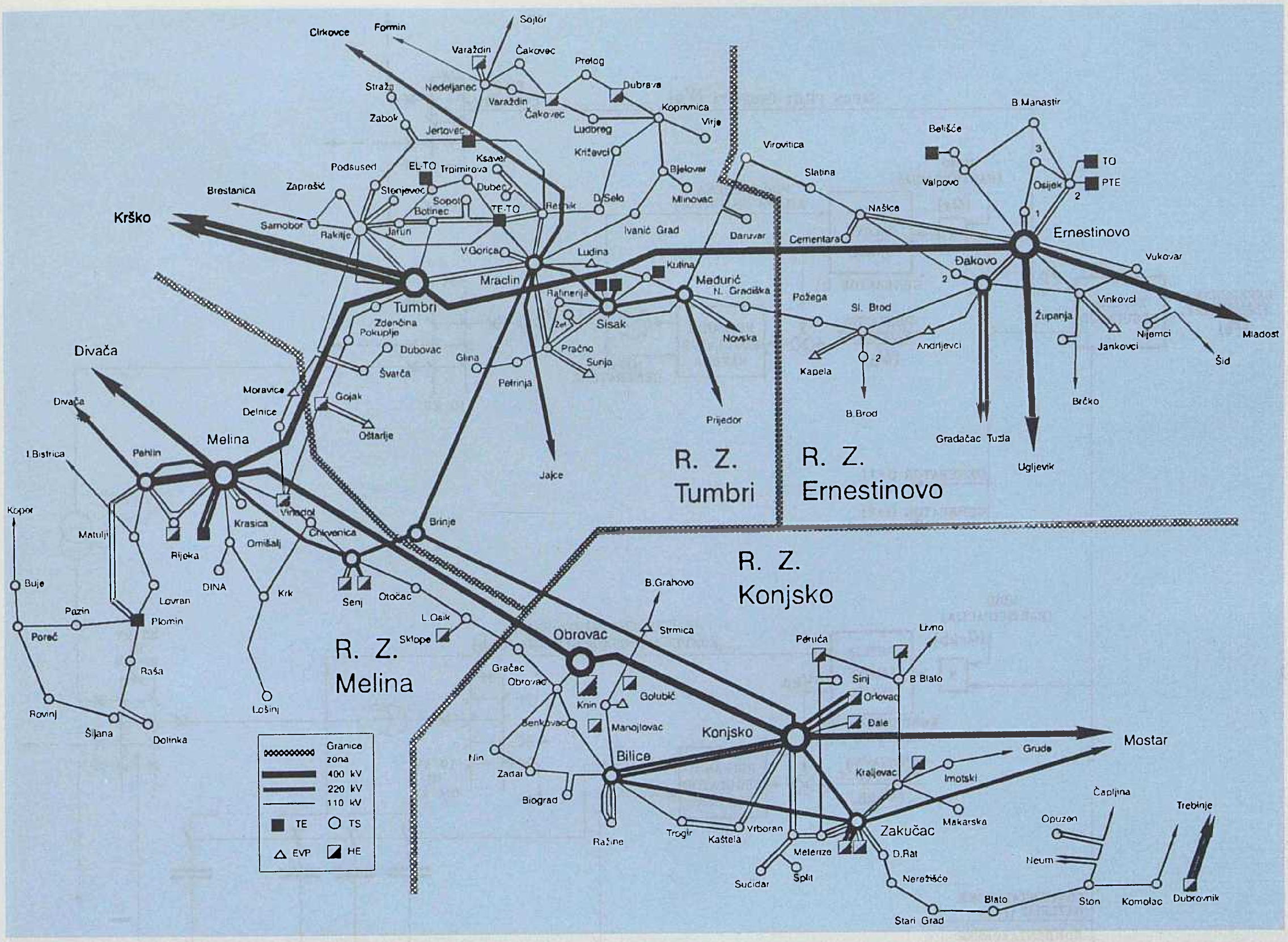
4. PRIKAZ PREDVIDIVOG RJEŠENJA REALIZIRANJA SUSTAVA AUTOMATSKE SEKUNDARNE U-Q REGULACIJE U EES-u HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

4.1. Princip regulacije

U EES-u HEP-a određena su četiri pilot-čvorišta s pripadajućim zonama. Za svaku bi zonu trebalo izraditi proračune tokova snaga za razne slučajeve proizvodnje i potrošnje uz različite konfiguracije mreže. Na osnovi dobivenih rezultata uvidjelo bi se je li pojedina zona deficitarna u proizvodnji jalove snage ili nije, a temeljem toga trebalo bi predvidjeti lokacije na kojima bi se trebale ugraditi VN kondenzatorske baterije, te veličina potrebnih baterija. Ako na nekim mjestima već postoje ugrađene baterije, ispitalo bi se jesu li dostatnoga kapaciteta i po potrebi predvidjela bi se ugradnja dodatnih članaka. U svim zonama trebao bi postojati centar iz kojeg bi se izvodila automatska sekundarna *U-Q* regulacija. Budući da je EES HEP-a podijeljen na četiri prijenosna područja

Tablica 4. Apsolutne vrijednosti međusobnih impedancija (Ω) između pilot i graničnih čvorišta u prijenosnoj mreži Hrvatske uz U_B = 110 kV

Čvorišta / Pilot-čvorišta	110 KV Tumbri	110 kV Ernestinovo	110 kV Melina	110 kV Konjsko
Ernestinovo 400 kV	6,39	*2,37	–	–
Tumbri 400 kV	*1,50	7,03	5,59	–
Melina 400 kV	3,57	–	*3,83	8,55
Obrovac 400 kV	6,93	–	7,11	*5,65
Brinje 220 kV	*5,98	–	6,26	10,59
Senj 220 kV	5,91	–	*5,54	–
Konjsko 220 kV	9,12	–	9,30	*2,37
Virovitica 110 kV	22,81	*21,42	–	–
Daruvar 110 kV	*17,88	19,66	–	–
Požega 110 kV	21,82	*19,03	–	–
N. Gradiška 110 kV	*20,78	21,18	–	–
Švarča 110 kV	*14,18	–	14,76	–
Moravice 110 kV	14,14	–	*13,68	–
Vinodol 110 kV	7,54	–	*3,68	–
Gojak 110 kV	*16,56	–	17,11	–
L. Osik 110 kV	–	–	*21,19	23,35
Gračac 110 kV	–	–	16,57	*15,70



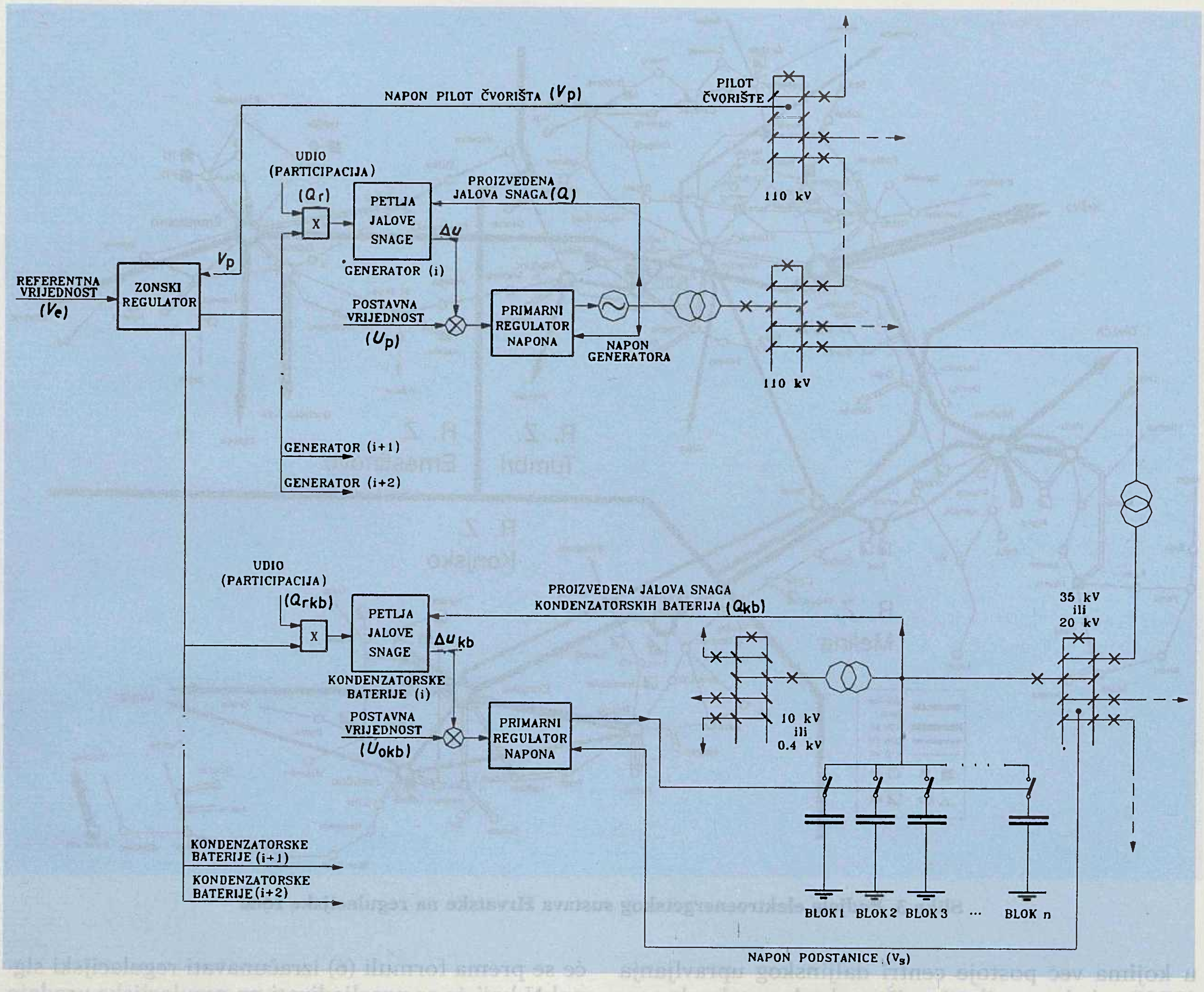
Slika 3. Podjela elektroenergetskog sustava Hrvatske na regulacijske zone

u kojima već postoje centri daljinskog upravljanja (CDU), a kako su pilot-čvorišta određena tako da se u svakom od tih prijenosnih područja nalazi po jedno pilot-čvorište, za potrebe automatske *U-Q* regulacije mogu se iskoristiti već postojeći objekti s pripadajućom infrastrukturom. Potrebna je samo ugradnja dodatne opreme kojom će se ostvariti *U-Q* regulacija. To bi znatnije pojeftinilo ukupnu investiciju. Predviđeno je da se u automatsku sekundarnu *U-Q* regulaciju uključe generatorske jedinice te VN kondenzatorske baterije. Automatska sekundarna *U-Q* regulacija djeluje zasebno na dijelove EES-a (tzv. regulacijske zone) reguliranjem napona pilot-čvorišta podešavanjem automatskih regulatora napona (AVR) izvora uključenih u regulaciju promatrane zone. Iznos podešavanja određen je razlikom između udešene postavne vrijednosti napona i mjerenog napona pilot-čvorišta. Da bi se osigurala dobra regulacija, moraju biti ispunjena sljedeća dva uvjeta: **1.** u zoni mora biti na raspolaganju dovoljno jalove snage, **2.** električna udaljenost između pilot-čvorišta i najbliže susjedne zone mora biti dovoljno velika da bi se spriječio neželjen utjecaj između različitih zona.

Na sl. 4. prikazan je algoritam po kojemu bi trebala biti izvedena regulacija. U pilot-čvorištu mjerit će se napon (V_p), izmjerena vrijednost će se prosljeđivati do sekundarnoga zonskog regulatora. U regulatoru će se prema formuli (6) izračunavati regulacijski signal N koji će se prosljeđivati na regulacijske uređaje (kondenzatorske baterije i generatore) [3]. Svaki uređaj koji je uključen u sekundarnu automatsku *U-Q* regulaciju ima primarni regulator jalove snage. Mjerenjem napona na sabirnicama podstanice (V_s) u kojoj su smještene kondenzatorske baterije i na sabirnicama generatora (V_g) osigurava se djelovanje primarne regulacije jalove snage. Mjeri se i proizvedena jalova snaga kondenzatorskih baterija (Q_{kb}) i generatora (Q). Ta se snaga kao povratni signal vraća u petlju jalove snage gdje se uspoređuje s umnoškom regulacijskog signala N i participacije (udjela) svakoga generatora (Q_r) ili participacije (udjela) kondenzatorskih baterija (Q_{rkb}) u regulaciji jalove snage. Tim uspoređivanjem nastaje signal Δu (kod generatora) ili Δu_{kb} (kod kondenzatorskih baterija) koji djeluje na postavnu vrijednost primarnih regulatora napona. Pri tomu treba naglasiti da u algoritam treba ugraditi da se regulacija u maksimalnoj mjeri koristi kondenzatorskim baterijama.

$$N = \alpha \cdot \int_0^t \frac{V_c - V_p}{V_n} \, dt + \beta \cdot \frac{V_c - V_p}{V_n} \qquad (6)$$

Ta posredna regulacija, izvedena pomoću petlje jalove snage, omogućuje jednostavnu koordinaciju izlaza jalove snage različitih regulacijskih izvora. Ipak u određenim uvjetima to može dovesti do neželjenih



Slika 4. Algoritam upravljanja automatskom sekundarnom *U-Q* regulacijom

prijelaznih pojava nakon iznenadnih poremećaja. Razlog tome je djelovanje vremenskih konstanti različitih regulacijskih petlji (uglavnom uzrokovano kašnjenjem komunikacijskih signala između generatora, kondenzatorskih baterija i CDU-a). Budući da VN kondenzatori također imaju važnu ulogu u *U-Q* regulaciji, a s obzirom na to da su generatori u EES-u HEP-a maksimalno opterećeni proizvodnjom djelatne snage, nužno je uključivanje i isključivanje tih kondenzatora. Bitno je da se te radnje koordiniraju sa sekundarnom *U-Q* regulacijom zbog izbjegavanja neželjenog međudjelovanja između regulatorskih jedinica i kondenzatora. U EES-u HEP-a postoji mogućnost uključivanja i isključivanja VN kondenzatora ručno kao i djelovanjem lokalne automatike. Za kvalitetnu koordinaciju sa sekundarnom *U-Q* regulacijom nužno je ostvariti mogućnost daljinskog upravljanja VN kondenzatorima iz CDU-a, uz prethodno ugrađivanje lokalne automatike koja bi neovisno djelovala, koristeći se lokalnim kriterijima poput: **1.** napona podstanice na koju su priključeni VN kondenzatori, **2.** gubitaka jalove snage u VN sustavu i u VN vodovima koji napajaju podstanicu.

To će prouzročiti da se prije mijenjanja proizvodnje jalove snage generatora preklope VN kondenzatori u zoni. Tako se osigurava velik iznos rezerve u proizvodnji jalove snage generatora, kada promjena napona pilot-čvorišta zahtijeva povećanje proizvodnje jalove snage. Na taj način osigurana dodatna količina jalove snage poboljšava ponašanje sustava pri poremećajima koji bi mogli dovesti do sloma napona kada generatori dostignu maksimalnu proizvodnju jalove snage. Na tercijarnoj bi razini u regulaciju trebalo uključiti transformatore koji imaju mogućnost promjene prijenosnog omjera pod opterećenjem te prigušnice. Za cijeli sustav trebalo bi napraviti velik broj proračuna tokova snaga, pa na taj način, uz iskustva dispečera, odrediti čvorišta u sustavu u kojima postoje problemi s naponom. Ako u tim čvorištima postoje transformatori koji imaju sklopke za promjenu prijenosnog omjera pod opterećenjem, trebalo bi omogućiti daljinsko upravljanje tim sklopkama. Ova regulacija, kojoj je cilj promjena tokova i djelatnih i jalovih snaga u sustavu (zbog smanjenja gubitaka i preopterećenja prijenosnih putova), izvodila bi se nekoliko puta tijekom dana na osnovi proračuna

tokova snaga koje bi »off-line« izvodio dežurni dispečer. U cjelokupni sustav regulacije obvezno moraju biti uključene i prigušnice u 400 kV-nim TS. Njihova je svrha smanjenje prenapona u slučajevima podopterećene mreže (noću, vikendom ili blagdanom).

Poznato je da su 400 kV-ni vodovi te kabeli veliki proizvođači jalove snage. Zbog toga u svim 400 kV-nim TS treba ugraditi prigušnice odgovarajuće snage da bi se izbjeglo nasilno isključivanje 400 kV-ne mreže pri niskom opterećenju, te treba osigurati mogućnost daljinskog uključivanja i isključivanja prigušnica iz CDU-a. Kabeli su manji problem zbog proizvodnje jalove snage zato što su većinom smješteni blizu potrošača koji proizvedenu jalovu snagu i potroše (smanjuju i potrebu za ugradnjom kondenzatorskih baterija na otocima). Nešto je veći problem pri spojevima kabelske i dalekovodne mreže (naponski val, prenaponi ...), ali se ti problemi uspješno rješavaju pri samoj izgradnji mreže. Na području zone Konjsko nalazi se reverzibilna HE Obrovac koju bi također trebalo više uključiti u sustav regulacije jalove snage i napona. Kako će se EES stalno razvijati, rast će potrebe za jalovom snagom, kao i za njezinom kontinuiranom regulacijom. Zbog toga će se u obzir trebati uzeti i promjenljivi statički izvori jalove snage. Ti su izvori vrlo pogodni za regulaciju jer imaju mogućnost fine kontinuirane regulacije (poput sinkronih kompenzatora, ali bez njihovih nedostataka). Glavni nedostatak im je cijena, relativno su skupi u usporedbi s kondenzatorskim baterijama. No u budućnosti će sigurno postojati potreba za ugradnjom takvih izvora, pa bi u automatskoj sekundarnoj *U-Q* regulaciji trebalo ostaviti mogućnost za njihovu uporabu.

4.2. Praćenje rada regulacije i informacijski sustav

Dispečer može pratiti rad regulacije na razne načine. O nekim događajima automatski će biti obaviješten putem alarma. Postoji i mogućnost da se dispečer povremeno obavještava o stanju regulacije. U tu će se svrhu iz zonskih regulatora ažurno dostavljati niz podataka koji se odnose na regulaciju, na temelju kojih dispečer može donositi odluke (tercijarna regulacija). Da bi se funkcija automatske sekundarne *U-Q* regulacije ostvarila na zadovoljavajući način, potrebno je ukupan sustav podijeliti na dva tipa podsustava, i to na: **1.** podsustave za upravljanje kondenzatorskim baterijama u podstanicama u kojima su kondenzatorske baterije ugrađene, **2.** podsustave za regulaciju napona generatora. Rad tih podsustava koordinira glavni zonski sustav za *U-Q* regulaciju. Tako će se postići distribuiranost upravljačkih funkcija, što će olakšati razradu upravljačkih algoritama. Sinkroniziran rad i sprega svih podsustava postići će se međusobnim povezivanjem upravljačkih podsustava na razini informacijskih sabirnica za razmjenu podataka. To bi trebale biti serijske asinkrone sabirnice s velikom brzinom prijenosa podataka. Koncepcija daljinskog upravljanja temelji se na dobro definiranom skupu informacija koje se putem telekomunikacijskih linija izmjenjuju između CDU-a i daljinskih stanica (DAS) pojedinih objekata. Količina podataka koji iz nekog objekta stižu u CDU mora biti dostatna da se dobije potpun uvid u stanje objekta, a ne smije biti preopširna da se ne opterete prijenosni putovi i operatersko osoblje. Iz navedenog slijedi da se učinkovit nadzor i upravljanje postiže dobro odabranim skupom informacija, tj. kvalitetom, a ne kvantitetom informacija.

4.3. Automatika i sustav mjerenja

Potrebno je ugraditi lokalnu automatiku i uređaje za upravljanje tom lokalnom automatikom (PLC ili DAS) u svim podstanicama u kojima su ugrađeni VN kondenzatori te osigurati povezanost PLC-a ili DAS-a sa zonskim CDU-om. Ugradnjom PLC-a ili DAS-a objekt upravljanja (kondenzatorske baterije) sposoban je za ostvarivanje zadane funkcije u raznim pogonskim uvjetima uz relativno mali broj komandi iz nadređenog centra (CDU). Također je potrebno u tim podstanicama osigurati mjerenje napona na sabirnicama (što je više-manje u većini stanica i osigurano, pogotovo ako već postoje ugrađeni DAS-ovi), te tu mjerenu vrijednost napona dovesti do PLC-a ili DAS-a koja bi je uspoređivala s postavnom vrijednosti napona (koja bi se namještala iz zonskog CDU-a u ovisnosti o stanju u mreži). Na taj bi se način održavao napon podstanice, unutar postavljenih granica, uključivanjem i isključivanjem VN kondenzatora. VN kondenzatori postali bi dio cijelog sustava sekundarne *U-Q* regulacije. PLC ili DAS također bi u CDU slala povratne informacije o mjerenom naponu podstanice i o broju uključenih i isključenih VN kondenzatora. Kada se iz zonskog CDU-a pošalje signal za promjenu na više referentne vrijednosti napona u pojedinoj podstanici, razlika između referentnog i mjerenog napona bit će tolika da će PLC ili DAS dati nalog za uključenje VN kondenzatora. Poslije vremenskog pomaka (3 minute u EES-u EDF-a), po potrebi se, prateći logiku regulacije, mogu uključiti i drugi kondenzatori u podstanici. PLC ili DAS lokalno »nadgleda« takva pogonska djelovanja, a radi sprečavanja pogrešaka pri regulaciji, kondenzatore bi trebalo nadzirati i naponskim (nadnaponskim i podnaponskim) relejima. Upotreba PLC-a ima dosta prednosti zbog toga što je PLC autonomna jedinica. Pri nestanku komunikacije između PLC i CDU, PLC dalje nastavlja nesmetano rad, kao i pri nestanku napona (zbog baterije koja mu omogućuje nesmetan rad određeno vrijeme). Osim toga, kod PLC-a je velika prednost modularnost izrade, što znači da će se moći koristiti isti tip PLC-a samo s različitim brojem ulaza i izlaza (u ovisnosti o broju kondenzatorskih baterija u pojedinoj podstanici). Ista svojstva ima i DAS, uz dodatnu prednost da u EES-u postoji već ugrađeno dosta DAS-a. Zbog bolje kompatibilnosti upravljačkih sustava preporučuje se unificiranje opreme, tj. korištenje istorodnih mikroprocesorskih sustava (isti tip PLC-a ili DAS-a, itd.). Na taj se način ostvaruje prednost u: **1.** korištenju iste sistemske programske podrške za realizaciju različitih upravljačkih algoritama, **2.** jednostavnijem održavanju, **3.** smanjenom broju rezervnih dijelova i komponenata.

Za automatsku sekundarnu *U-Q* regulaciju potrebno je u elektranama koje bi sudjelovale u regulaciji na AVR-ove generatora, a kojima se referentni napon podešava lokalno ručno (potenciometrom), ugraditi mogućnost postavljanja referentnog napona daljinski. To bi se izvelo tako da se na postojeći AVR ugradi preklopka (relej) kojom bi se mogao birati način rada ručno/automatski, a da se signal za promjenu vrijednosti referentnog napona dovede izravno, zaobilazeći potenciometar. Tako bi ostala mogućnost ručnog podešavanja, a omogućilo bi se i daljinsko podešavanje. Druga je mogućnost da se na postojeće potenciometre ugrade servomotori preko kojih bi se omogućilo daljinsko upravljanje. U zonskom CDU-u nalazilo bi se računalo u koje bi se dovodila sva mjerenja napona u podstanicama s VN kondenzatorskim baterijama, stanje uklopa/isklopa pojedinih baterija, mjerenja napona na sabirnicama elektrana, vrijednost referentne veličine AVR-ova generatora, proizvodnja jalove snage generatora, te najbitnije mjerenje iznosa napona u pilot-čvorištu (kojim se opisuje naponsko stanje cijele zone). Svi bi se ti signali u njemu obrađivali po određenim algoritmima i na osnovi te obrade prosljeđivali bi se natrag signali prema podstanicama i elektranama gdje bi se poduzimala određena upravljačka djelovanja. Svi ti sustavi moraju sadržavati i opremu za prilagođenje signala jer ta oprema predstavlja spregu između procesa i upravljačke elektroničke opreme.

Najvažnije mjerenje za automatsku sekundarnu *U-Q* regulaciju jesu mjerenja napona pilot-čvorišta. Na osnovi tih mjerenja poduzimaju se sva ostala regulacijska djelovanja. Ako mjerenje napona u nekom pilot-čvorištu zakaže, cijela bi zona ostala bez sekundarne regulacije, no s obzirom na to da je predviđeno ugrađivanje dodatnih mjerenja u svim podstanicama s VN kondenzatorskim baterijama, sustav ne bi ostao u potpunosti bez *U-Q* regulacije. Pogotovo zato što je predviđeno da se sva mjerenja koja dolaze u zonski CDU prosljeđuju do RDC-a koji bi bio nadređen i zonskim sekundarnim regulatorima i u kojem bi se izvodila ručna koordinacija djelovanja zonskih regulatora. Zbog koordinatorske uloge RDC-a u njega bi se dovodila i dodatna mjerenja o razmjeni jalove snage između zona. Kao posebno rješenje za zonu Tumbri, koja je izuzetno važna jer sadrži najviše industrijskih potrošača u Hrvatskoj, moglo bi se predvidjeti dodatno pilot-čvorište u TS Mraclin na 110 kV. Iz tog čvorišta također bi se dovodio signal do zonskog *U-Q* regulatora, ali se ne bi razmatrao dok signal iz pilot-čvorišta Tumbri nesmetano dolazi. Tek pri prekidu ovog signala obrađivao bi se signal iz TS Mraclin.

5. ETAPNOST IZGRADNJE SUSTAVA AUTOMATSKE SEKUNDARNE *U-Q* REGULACIJE U EES-u HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Izgradnja sustava za automatsku sekundarnu *U-Q* regulaciju trebala bi se odvijati postupno. Kao prvi korak regulacija bi se trebala ugraditi u jednu zonu i tek nakon određenog iskustva u eksploataciji trebala bi se primijeniti za cijeli EES HEP-a. Potrebno je ugraditi određen broj kondenzatorskih baterija da bi se osigurala dovoljna količina jalove snage za regulaciju. Lokacije i veličine potrebnih kondenzatorskih baterija odredit će se naknadno. U svim podstanicama u koje će ugraditi kondenzatorske baterije bit će potrebno ugraditi i automatiku koja će omogućiti daljinsko upravljanje. Također će biti potrebno osigurati telekomunikacijske veze od svih kondenzatorskih baterija koje će se ugraditi u sustav do CDU-a, u kojem će se nalaziti sekundarni regulator jalove snage. Od elektrana do CDU-a možda će se moći iskoristiti već postojeće komunikacije. U elektranama će se morati napraviti potrebne prilagodbe na primarnim regulatorima kojima će se omogućiti automatska sekundarna *U-Q* regulacija. Kao najpogodnija zona koja bi se trebala uključiti u sekundarnu *U-Q* regulaciju predlaže se zona Konjsko. U ovoj zoni postoji dosta HE i kao prvi korak trebalo bi odrediti koje će od njih biti uključene u sekundarnu *U-Q* regulaciju. Nakon toga bilo bi potrebno ugraditi u njih dodatnu potrebnu opremu te osigurati komunikacije do CDU-a u kojem bi bio smješten regulator jalove snage. U ovoj zoni postoje i statički izvori jalove snage. Uz njih bi trebalo ugraditi i dodatne kondenzatorske baterije na već postojećim i/ili novim lokacijama. Dakako da je uz njih potrebna i automatika za daljinsko upravljanje te komunikacije do CDU-a. Osim niskog napona u ovoj su se zoni pri niskom opterećenju (u cjelovitom EES-u) pojavljivali i prenaponi. Zbog toga bi trebalo ugraditi i prigušnice u TS Konjsko te i njih uključiti u *U-Q* regulaciju. Zadnja zona koju bi trebalo uključiti u automatsku sekundarnu *U-Q* regulaciju jest zona Tumbri. To je kudikamo najsloženija zona s dosta i TE i HE, te statičkih izvora jalove snage. Zbog toga bi ovu zonu trebalo uključiti u regulaciju tek nakon kvalitetnog rada automatske sekundarne *U-Q* regulacije u svim ostalim zonama.

6. ZAKLJUČAK

Opisanom metodologijom i provedenim proračunima određena su četiri pilot-čvorišta u EES-u Hrvatske. Za svako pilot-čvorište određena je njegova pripadna zona i definirane su granice prema susjednim zonama. Opisani postupci vrlo su jednostavni i lako primjenljivi na bilo koji EES. Uštede u vremenu za proračun električnih udaljenosti su znatne, a i sam postupak definiranja zona je pojednostavljen time što nije potrebno računanje električnih udaljenosti između pilot-čvorišta i svih ostalih čvorišta. Predloženi su i algoritmi za automatsku sekundarnu regulaciju napona i jalove snage, a opisane su i nužne prilagodbe postojećeg EES-a za sekundarnu regulaciju. Razrađen je sustav lokalne automatike, telekomandi, telekomunikacija i potrebnih mjerenja. Realizirane su potrebne podloge za realizaciju sustava automatske sekundarne regulacije napona i jalove snage. S obzirom na pretpostavljani razvoj EES-a HEP-a, do-

biveno rješenje bi zadovoljavalo dugo vremena. Mora se naglasiti da se svi proračuni temelje na stanju sustava u 1990. godini. Posljedice ratnih razaranja nisu uzete u obzir, ali se može naglasiti da će dobivena rješenja vrijediti već i uz minimalnu normalizaciju sustava (uspostavljanje cjelovitog EES-a na 400 i 220 kV-noj razini).

LITERATURA

[1] P. LAGONOTTE, J. C, SABONNADIERE, J. Y. LEOST, J. P. PAUL, »Structural analysis of the electrical system: Application to secondary voltage control in France«, IEEE PAS, Vol. 4, No. 2, May 1989, 479 – 486.

[2] J. P. PAUL, J. Y. LEOST, J. M. TESSERON, »Survey of the secondary voltage control in France: Present realization and investigations«, IEEE PWRS, Vol. 2, No. 2, May 1987, 505 – 511.

[3] S. TEŠNJAK, I. KUZLE, N. PULJIĆ, »Logika izbora pilot čvorišta u elektroenergetskom sustavu Hrvatske«, Prvo savjetovanje hrvatskog komiteta CIGRE, Zagreb, 10—13 Listopad 1993, R 39.06

[4] S. TEŠNJAK, »Daljinsko upravljanje regulacijom napona i jalove snage — Sekundarna regulacija napona i jalovih snaga«, studija ZVNE, 1991.

AUTOMATIC SECONDARY VAR CONTROL PROPOSAL SOLUTION IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF CROATIA

The paper presents necessary procedures for the realisation of automatic secondary var control in the electric power system of the Croatian National Electricity. The emphasis is put on pilot node selection, definition of secondary control zones and appropriate selection of control algorithm and as much as on necessary adaptations for devices which take part in secondary var regulation. The method for control zone borders defining is explained according to the electrical distances by reduction of the electrical power network on two nodes.

EIN VORSCHLAG DER AUTOMATISCHEN SEKUNDÄRREGELUNG DER SPANNUNG UND DER BLINDLEISTUNG IM VERBUNDNETZ KROATIENS

Beschrieben sind für die Errichtung der automatischen Sekundärregelung der Spannung und der Blindleistung im Verbundnetz Kroatiens unentbehrliche Verfahren. Die Hauptpunkte dieser Arbeit liegen in der Bestimmung des Schlüsselknotens, der Sekundärregelungs-Bereiche, und des Steuerungsgrundregelsatzes, sowie auf die unumgänglichen Anpassungen bestehender, in der Sekundärregelung der Spannung mitwirkender, Bestandteile des Regelungssystems, als auch auf die nicht zu umgehenden Blindleistungen. Gegeben ist die Erklärung der Bestimmungsweise der Sekundärregelungs-Bereiche auf Grund elektrischer Entfernungen, und der Schrumpfung des ganzen Verbundnetzes auf zwei Knotenpunkte.

Naslov pisaca:

Prof. dr. sc. Sejid Tešnjak, dipl. ing.
Igor Kuzle, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za visoki napon i energetiku,
10000 Zagreb, Unska 3, Hrvatska
Nenad Puljić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za upravljanje i prijenos,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-04-28

DIJAGNOSTIKA STANJA VISOKONAPONSKIH SF6 PREKIDAČA

Mr. Krešimir Meštrović, Zagreb

UDK 621.316.542
PREGLEDNI ČLANAK

Konačni cilj održavanja visokonaponskih prekidača, uključujući u to djelatnosti kao što su pregled, dijagnostička ispitivanja i tehnike nadgledanja, jest postizanje i/ili povećanje pouzdanosti i raspoloživosti prekidača uz što je moguće niže ukupne troškove.
Filozofiju održavanja, pa prema tome i dijagnostičke metode, treba odabrati na osnovi stvarnih i nužnih doprinosa pouzdanosti odnosno raspoloživosti prekidača.
U članku su predložene definicije najčešće korištenih pojmova na polju dijagnostike, obrađene najčešće upotrebljavane dijagnostičke metode i analiziran njihov utjecaj na pouzdanost rada visokonaponskih prekidača.

Ključne riječi: dijagnostičke metode, nadgledanje, pouzdanost, visokonaponski prekidač, održavanje.

1. UVOD

Visokonaponski SF6 prekidač krajnje je sofisticiran uređaj koji zahtijeva minimalno održavanje. Revizije na prekidaču obavljuju se periodički nakon određenoga, točno propisanoga vremenskog intervala ili nakon određenoga broja sklopnih ciklusa.

Iz rezultata ankete [1] koju je provela radna grupa WG 13.06 međunarodne CIGRÉ, a koja je obuhvatila 70 708 visokonaponskih SF6 prekidača u razdoblju od 1. siječnja 1988. do 31. prosinca 1991, vidi se da prosječni vremenski interval između revizija iznosi 8,3 godine, prosječni troškovi održavanja iznose 23,8 čovjek-sati u godini, a prosječni troškovi rezervnih dijelova iznose 38,1 čovjek-sati u godini.

Pravilnim izborom i upotrebom odgovarajućih dijagnostičkih metoda aktivnosti održavanja mogu se prilagoditi stvarnom stanju prekidača. Ako je prekidač u ispravnom stanju, intervali između revizija mogu se još više produžiti, dok uočene nepravilnosti upućuju na potrebu intervencije i prije propisanoga vremenskog intervala kako bi se izbjegli veći kvarovi tijekom pogona. Time se neposredno utječe na povećanje pouzdanosti prekidača i na smanjenje ukupnih troškova održavanja.

Osnovni zadaci koji se postavljaju pred dijagnostičke metode jesu:

— otkrivanje kvara još u začetku
— određivanje prirode i opsega kvara
— predviđanje potrebe za odgovarajućim radovima i
— mogućnost uporabe ovih metoda i od neprofesionalnog osoblja.

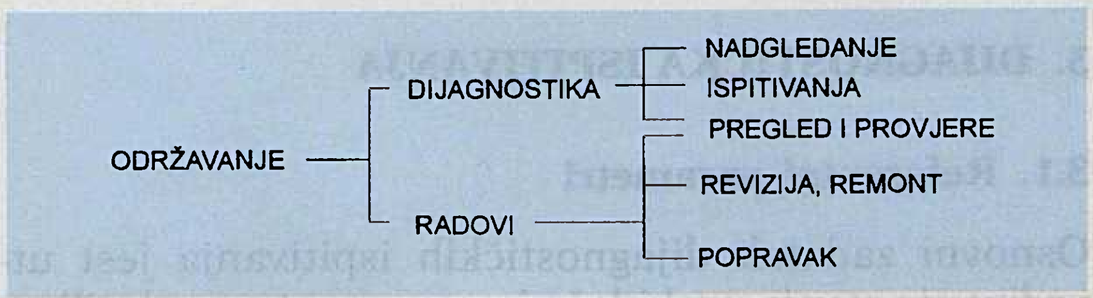
Ovim referatom nastojalo se:

— upozoriti na važnost razumijevanja i razlikovanja pojmova kao što su pregled, dijagnostička ispitivanja, nadgledanje, odnosno kontinuirano nadgledanje
— dati pregled najčešće korištenih dijagnostičkih metoda i pregled parametara koji se najčešće provjeravaju dijagnostičkim metodama i
— upozoriti na utjecaj dijagnostike na pouzdanost rada visokonaponskih prekidača.

2. DEFINICIJE

Definicije koje se odnose na poslove održavanja do sada nisu bile uključene u IEC-norme. Međutim, studije postojećih i novih dijagnostičkih tehnika potvrdile su izuzetnu važnost razlikovanja pojmova kao što su pregled, nadgledanje i dijagnostička ispitivanja. Zbog toga je radna grupa WG 13.06 međunarodne CIGRÉ predložila osnovne definicije [2], koje su usvojene i u IEC tehničkoj publikaciji [3], odnosno uključene u prijedlog nove IEC 694 norme [4].

Održavanje (engl. maintenance) visokonaponskih prekidača skup je tehničkih i administrativnih djelatnosti s namjerom da se prekidač održi ili ponovno vrati u stanje u kojem može obavljati svoju normalnu funkciju, [3]. Te djelatnosti možemo podijeliti na *dijagnostiku* i na *radove* (slika 1).



Slika 1. Djelatnosti održavanja visokonaponskih prekidača

Dijagnostika (engl. diagnostics) prekidača jest pravovremeno ili periodičko određivanje stanja prekidača (i njegovih sastavnih dijelova) radi procjene pouzdanosti daljnjeg pogona i/ili predlaganja načina i opsega servisiranja.

Energija, god. 44 (1995) 3, 143 – 148

Pregled i provjere (engl. inspection) obuhvaćaju periodična vizualna ispitivanja osnovnih osobina prekidača, te provjera funkcionalnosti, podešenosti i točnosti. Vrše se za vrijeme pogona, bez otvaranja prekidača. Te se aktivnosti obično odnose na provjeru tlakova, razina pogonskih tekućina, nepropusnosti, položaja releja, zagađenosti izolacijskih dijelova, ali i na radove koji se mogu obavljati za vrijeme normalnog pogona, kao što su podmazivanje, čišćenje, pranje i sl. [3].

Nadgledanje (engl. monitoring, supervision) obuhvaća aktivnosti koje se obavljaju ručno ili automatski (očitavanjem mjernih instrumenata i signalizacije), a radi promatranja stanja prekidača. Provodi se dok je prekidač u pogonu. Ako se vrši kontinuirano praćenje mjernih instrumenata govorimo o **kontinuiranom nadgledanju** (engl. continuos monitoring), [3].

Dijagnostička ispitivanja (engl. diagnostic tests) jesu uporedna ispitivanja karakterističnih parametara prekidača kako bi se potvrdila njihova funkcionalnost. Izmjerene veličine uspoređuju se sa specificiranim ili prethodno izmjerenim veličinama (npr. veličinama izmjerenim tijekom rutinskih ispitivanja ili ispitivanja prilikom puštanja u pogon). Dijagnostička ispitivanja obično se provode na prekidaču izvan pogona (engl. off-line tests), no postoji mogućnost da se neka ispitivanja obavljaju i za vrijeme pogona (engl. on-line tests), [3].

Radovi na prekidaču mogu se obavljati tijekom pogona (*pregled* i *provjere*), odnosno kada je prekidač izvan pogona (*revizije, remont* i *popravci*).

Revizija (engl. examination) sadrži radove koji se obavljaju na prekidaču prema unaprijed definiranom redoslijedu i terminu. Uz pregled i provjere koje se ne mogu obaviti tijekom pogona, obavljaju se mjerenja i nerazorna ispitivanja na djelomično razmontiranom prekidaču kako bi se pouzdano odredilo njegovo stanje, te se čiste, podmazivaju i zamjenjuju istrošeni dijelovi, [3].

Remont (engl. overnaul) sadrži složenije radove na prekidaču radi popravka ili zamjene elemenata za koje je pregledom, ispitivanjem ili mjerenjem pokazano da odstupaju od uobičajenih vrijednosti, [3].

Popravak se poduzima nakon kvara prekidača radi ponovnog uspostavljanja njegovih normalnih funkcionalnih svojstava.

3. DIJAGNOSTIČKA ISPITIVANJA

3.1. Referentni parametri

Osnovni zadatak dijagnostičkih ispitivanja jest utvrđivanje stanja prekidača i na osnovi toga određivanje optimalnog programa održavanja. U tu svrhu potrebno se koristiti vrijednostima parametara specificiranih u pogonskim uputama proizvođača, odnosno vrijednostima izmjerenima za vrijeme rutinskih ispitivanja i/ili ispitivanja na terenu nakon montaže.

U [3] predlažu se za visokonaponske prekidače sljedeći referentni parametri:

— otpor glavnih strujnih krugova
— pogonska vremena
— gibanje kontakata i
— upravljačka vremena.

Tablica 1. Parametri koji se provjeravaju dijagnostičkim metodama

	Pregled	Dijagn. ispit.	Nadgledanje
Glavne funkcije			
otvoren ili zatvoren prekidač			+ + +
kvaliteta izolacije	●	+ +	●
el. otpor glavnih strujnih krugova		+ + +	
zagrijanje	+ +		
nesinkronizam polova		+	+ +
pogonska vremena prekidača		+ + +	●
broj sklopnih ciklusa	+ + +		●
akumulirana prekidna struja			●
Izolacijski ili medij za gašenje			
tlak plina	+		+
gustoća plina			+ + +
kvaliteta plina SF6		+ + +	
kvaliteta komprimiranog zraka	●	+	
razina tekućina	+ + +		
kvaliteta tekućina		+ +	
propusnost	+	+ +	●
Pogonski mehanizam			
tlak	●		+ + +
akumulirana energija		+	●
razina tekućine	+ + +		+
propusnost	+ + +		
pogonska brzina, put		+	●
pogonska sila		●	
prigušenje		●	
pad tlaka za vrijeme djelovanja		+ +	
broj ciklusa motora	+		●
vrijeme napinjanja motora		+	+
ukupno vrijeme rada motora	+		●
Pomoćni i upravljački uređaji			
uključivanje pomoćnih krugova		+	+ +
pregled elektromagnetskog okidača		+	+
blokiranje uklapanja		+	+ +
blokiranje automatskoga ponovnog uklopa		●	+ +
generalno blokiranje		●	+
signali upozorenja, alarmi		+	+
krugovi za grijanje	+ +	+	
kvaliteta izolacije		+	
Ostalo			
korozija	+ + +		
zagađenje	+ + +		
obojenost	+		

● jedan korisnik
\+ nekoliko korisnika
\+ + većina korisnika
\+ + + svi korisnici

Energija, god. 44 (1995) 3, 143 – 148

Osim toga, za visokonaponske SF6 prekidače predlažu se i sljedeća dodatna ispitivanja:

— provjera kvalitete plina SF6, [5] i
— ispitivanje kvalitete krute izolacije.

U tablici 1. dan je pregled parametara koji se danas provjeravaju najčešće dijagnostičkim metodama, [2].

3.2. Dijagnostičke metode

Dijagnostičke metode moraju biti jednostavne pri uporabi i pri interpretaciji rezultata, ekonomične glede početnih troškova nabave i troškova ugradnje, te prije svega pouzdane u radu. Upravo zbog toga većina korisnika u svijetu upotrebljava samo jednostavne i provjerene metode.

Pregled najčešće korištenih dijagnostičkih metoda, zajedno sa njihovim područjem primjene, statusom i efikasnošću dan je u tablici 2, [6].

Male nepravilnosti unutar prekidača, npr. metalne čestice, vodljivi slojevi i sl. mogu biti otkrivene mjerenjem parcijalnih izbijanja, no to je izvedivo samo kod metalom oklopljenih prekidača.

Za vrijeme preuzimanja, na mjestu ugradnje, mjerenje parcijalnih izbijanja nije uvijek uspješno jer pozadinska buka znatno smanjuje osjetljivost. Za detekciju parcijalnih izbijanja u pogonu postoje razni tipovi senzora. Oni otkrivaju visokofrekventne signale parcijalnih izbijanja ili pomoću strujnih mjerenja ili pomoću naponskih mjerenja preko kapacitivnih djelitelja.

Izravna mjerenja karakteristika plina SF6 (npr. određivanje probojnog napona ili jakosti polja) predstavljaju vrijednu kontrolu kvalitete dielektrika. Analiza plina pomoću kromatografije ili infracrvene spektroskopije daje vrlo točne rezultate, ali je vrlo komplicirana i skupa. Nasuprot tome naprave i procedure za određivanje sadržaja zraka u plinu pristupačne su i jednostavne za uporabu. Mjerenje sadržaja vlage u plinu također je moguće na bazi uzoraka.

Slabljenje izolacijskih svojstava zbog preniskog tlaka plina može se otkriti nadgledanjem gustoće. To je vrlo jednostavna i ujedno jedna od osnovnih metoda nadgledanja.

Trošenje kontakata u prekidnoj komori vrlo je teško mjeriti. Mjerenje položaja pogonske motke koji odgovara momentu zatvaranja daje vrlo neprecizne podatke jer trošenje kontaktne površine ne mora biti jednoliko. Isto tako ni koncentracija nusprodukata ne pokazuje trošenje kontakata, jer ih ugrađeni filtar obično neutralizira ili barem reducira.

Kumulativni efekt struja koje se prekidaju može poslužiti za određivanje životnog vijeka prekidača. Intervali između revizija prekidača određeni su električkim (a ne dielektričkim) starenjem, odnosno smanjenjem sklopnih sposobnosti.

Danas postoji nekoliko dijagnostičkih metoda za mjerenje nenormalnih mehaničkih operacija. Kretanje kontakata sporije od normalnoga i kontakti koji nisu potpuno razdvojeni u otvorenom položaju može se otkriti pomoću dijagrama položaj – vrijeme po-

Tablica 2. Dijagnostičke metode

Problemi	Dijagnostičke metode	Pogonski status opreme	Status dijagn. metode	Dokazana uspješnost dijagn. metode
defekti na izolaciji	Mjerenje:			
	— gustoće plina	ON	A	V
	— parcijalnih izbijanja	ON	B	S/V
	— VF strujna proba	ON	B	S
	— VF kapacitivna proba	ON	B	S
	— ultrazvučna	ON	B	S/V
dielektrička kvaliteta plina	Kontrola kvalitete SF6:			
	— dielektrička kontrola	ON	B	N
	— analiza plina:			
	— kromatografija	ON	C	N
	— IC spektografija	ON	C	N
	— detektor boja	ON	B	N
	— sadržaj zraka	ON	A	N
	— sadržaj vlage	ON	A	N
trošenje elemenata prekidača	Mjerenja:			
	— položaj pogon. motke	OFF	B	N
	— trošenje kontakata	ON	A	S
	— sadržaj prašine i prljavštine	ON	B	N
nenormalne mehaničke operacije	Mjerenja:			
	— na potenciometru pomič. kont.	OFF	A	V
	— optičke oznake na pomič. kont.	OFF	A	V
	— trenje pomičnih elemenata	OFF	A	V
	— vrijeme okidanja	ON	A	V
pregrijavanje	Mjerenje:			
	— IC kamera	ON	B	N/S
	— kontaktnog otpora	OFF	A	S

IC – infracrveno
VF – visokofrekventno

ON – oprema u pogonu
OFF – oprema izvan pogona

A – široko u uporabi
B – razvojna faza
C – faza istraživanja

V – visoka uspješnost
S – srednja uspješnost
N – niska uspješnost

mičnoga kontakta. Pogonska vremena pomoćnih kontakata mogu se lako mjeriti pomoću okidačkih signala. Nenormalno trenje, koje može prouzročiti manju brzinu kontakata, obično se otkriva pomoću otporskih senzora. Sve ove dijagnostičke metode obično se koriste tijekom razvojnih ispitivanja u laboratorijima, ali se isto tako mogu primijeniti i na terenu. Mjerenja se obično provode na prekidaču izvan pogona, ali je moguća općenito i uporaba na prekidaču za vrijeme pogona.

Pregrijavanje prekidača može se pratiti u pogonu pomoću infracrvene kamere (termovizija) koja može uočiti nenormalnu temperaturu izvan prekidača, čime se dobiva indirektna informacija o temperaturi u unutrašnjosti.

3.3. Rezultati međunarodne ankete o kvarovima na SF6 prekidačima

Rezultati međunarodne ankete o kvarovima na visokonaponskim SF6 prekidačima dani su u tablicama 3, 4, 5. i 6. [1]. Anketu je provela radna grupa WG 13.06 međunarodne CIGRÉ, a obuhvatila je 70 708 SF6 prekidača nazivnog napona većeg od 63 kV iz 22 zemlje u vremenu od 1. siječnja 1988. do 31. prosinca 1991.

U tablici 3. prikazani su veći i manji kvarovi na pojedinim podsklopovima prekidača, u tablici 4. prikazane su najčešće vrste kvarova, a u tablici 5. najčešći uzroci kvarova.

Anketom su također obuhvaćeni i vremenski intervali između revizija, odnosno troškovi rada i troškovi rezervnih dijelova, tablica 6.

Tablica 3. Kvarovi na visokonaponskim SF6 prekidačima

Komponenta odgovorna za kvar	Broj većih kvarova	Broj manjih kvarova
komponente kod pogonskog napona:	99	
— prekidna komora	66 (14,0%)	310 (9,4%)
— pomoćna komora, paral. otpornik	6 (1,3%)	20 (0,6%)
— glavna izolacija prema zemlji	27 (5,7%)	689 (20,9%)
kontrolni i upravljački krugovi:	137	
— elektromagnetski okidači	47 (10,0%)	49 (1,5%)
— pomoćne sklopke	35 (7,4%)	69 (2,1%)
— sklopnici, grijači itd.	36 (7,6%)	178 (5,4%)
— kontrolnik gustoće	19 (4,0%)	354 (10,7%)
pogonski mehanizam:	204	
— kompresori, pumpe itd.	64 (13,6%)	615 (18,7%)
— akumulator energije	36 (7,6%)	238 (7,2%)
— kontrolni elementi	44 (9,3%)	383 (11,6%)
— usporivači, prigušnici	42 (8,9%)	168 (5,1%)
— polužje	18 (3,8%)	45 (1,4%)
ostalo	32 (6,8%)	178 (5,4%)
ukupno	472 (100%)	3296 (100%)

Tablica 4. Najčešće vrste kvarova na visokonaponskim SF6 prekidačima

Vrsta kvara	Br. većih kvarova na 100 prekidač-godina		Br. manjih kvarova na 100 prekidač-godina	
ne uklapa na komandu	0,164	(24,6%)	—	
ne isklapa na komandu	0,055	(8,3%)	—	
uklapa bez komande	0,007	(1,0%)	—	
isklapa bez komande	0,047	(7,0%)	—	
ne uklapa struju	0,011	(1,7%)	—	
ne prekida struju	0,020	(2,9%)	—	
ne vodi struju	0,010	(1,5%)	—	
preskok prema zemlji	0,021	(3,2%)	—	
preskok između polova	0,010	(1,5%)	—	
unutrašnji preskok na otvorenom polu	0,024	(3,6%)	—	
vanjski preskok na otvorenom polu	0,010	(1,5%)	—	
blokiran u otvorenom/zatvorenom polož.	0,190	(28,5%)	—	
curenje zraka ili ulja u pogon. mehaniz.	0,098	(14,6%)	—	
malo curenje SF6 zbog korozije	—		1,4	(30%)
malo curenje SF6 zbog drugih razloga	—		0,7	(15%)
promjena u funkcionalnim karakterist.	—		1,1	(23%)
ostalo	—		0,8	(17%)
ukupno	0,67	(100%)	4,7	(100%)

Energija, god. 44 (1995) 3, 143 – 148

Tablica 5. Najčešći uzroci kvarova na visokonaponskim SF6 prekidačima

Uzrok	Veći kvar %	Manji kvar %
konstrukcija	25,4	24,7
izradba	28,7	39,1
neadekvatne pogonske upute	1,1	1,7
nepravilna montaža	8,2	7,1
nepravilan pogon	6,0	4,5
nepravilno održavanje	2,8	2,6
naprezanja veća od specificiranih	3,4	1,8
ostali vanjski uzroci	5,4	6,6
ostalo	19,0	11,9

Tablica 6. Troškovi programiranog održavanja visokonaponskih SF6 prekidača

Napon (V)	Procijenjen interval između propisanih revizija (godina)				Troškovi izvršenih radova (čovjek-sati po prekidač-godina)				Troškovi upotrijebljenih rezervnih dijelova (čovjek-sati po prekidač-godina)			
	10%	50%	90%	Prosj.	10%	50%	90%	Prosj.	10%	50%	90%	Prosj.
$63 \leq V < 100$	4,0	6,0	12,0	7,6	5	15	30	15,3	2	24	61	25,4
$100 \leq V < 200$	5,0	8,5	15,0	8,8	3	12	43	17,4	2	8	48	20,7
$100 \leq V < 300$	4,0	7,9	12,0	8,2	5	15	50	24,8	1	12	74	31,6
$300 \leq V < 500$	4,0	7,0	12,0	8,2	5	18	56	31,0	2	8	48	17,7

Na osnovi rezultata prikazanih u tablicama 3, 4, 5. i 6. može se zaključiti:

- postotak većih kvarova na modernim SF6 prekidačima jest 0,0067 kvarova po prekidač-godina i oko 60% je niži u usporedbi s kvarovima na ostalim tipovima prekidača, [1]
- postotak manjih kvarova je 0.0475 po prekidač-godina i oko 30% je viši u usporedbi s ostalim tehnologijama (jedan od razloga je najvjerojatnije i problem curenja plina SF6)
- pogonski mehanizam je podsklop prekidača na kojem se događa najviše kvarova
- najčešći kvar je »nije isklopio ili uklopio na komandu« i »ostao je blokiran u otvorenom ili zatvorenom položaju«
- prosječni vremenski interval između revizija iznosi 8,3 godina i po mišljenju većine stručnjaka može se još više produžiti
- revizija nije efikasan način otkrivanja uzroka kvarova; naime samo 6,1% uzroka većih kvarova, odnosno 13,7% uzroka manjih kvarova otkriveno je za vrijeme revizija
- 2,8% većih kvarova i 2,6% manjih kvarova uzrokovano je nepravilnom revizijom.

4. UTJECAJ DIJAGNOSTIKE NA POUZDANOST PREKIDAČA

Kad se govori o utjecaju dijagnostike na pouzdanost prekidača, treba razlikovati: povećanje pouzdanosti prekidača zbog uporabe dijagnostičkih metoda i pouzdanost same dijagnostičke metode.

4.1. Povećanje pouzdanosti prekidača

Ako se radi o starijim izvedbama prekidača, danas postoje tri moguća načina povećanja pouzdanosti:

1. ugradnja novog, modernog prekidača,
2. provođenje generalnog remonta na postojećem, starom prekidaču,
3. odgađanje jedne od ovih akcija ugradnjom nekog od sistema dijagnostike.

U ovom trenutku ne može se sa sigurnošću tvrditi koji od ta tri načina najviše utječe na povećanje pouzdanosti.

U slučaju novog, modernog SF6 prekidača najbolji način povećanja pouzdanosti jesu tipska i rutinska ispitivanja kojima se potvrđuje funkcionalnost konstrukcije i kvaliteta izradbe. Dijagnostičkim metodama treba se koristiti samo kao dopunom postignute kvalitete prekidača.

4.2. Pouzdanost dijagnostičke metode

U slučaju primjene dijagnostičkih metoda osobito je važno postići razinu pouzdanosti koja je veća od razine pouzdanosti samog prekidača. Pri tome je vrlo važno uočiti da su način rada i okolina u kojoj dijagnostički uređaji rade potpuno drugačiji nego za vrijeme laboratorijskih ispitivanja. Zbog toga je potrebno pouzdanost dijagnostičke opreme u najmanju ruku dokazati istim ispitivanjima kojima se podvrgava i prekidač:

- dielektričkim ispitivanjem
- mehaničkim ispitivanjem
- ispitivanjem uklopne i prekidne moći
- ispitivanjem sklapanja kapacitivnih struja
- ispitivanjem sklapanja malih induktivnih struja.

Posebna se pozornost mora pridati i elektromagnetskim utjecajima. Upravo je zbog toga potrebno dijagnostičku opremu tretirati kao sastavni dio prekidača i ispitivati je zajedno s prekidačem. Međutim, tu treba naglasiti da je životni vijek elektroničke opreme, uključujući tu i potreban softver mnogo kraći od životnog vijeka prekidača.

LITERATURA

[1] A. L. J. JANSSEN at all.: »A summary of the final results and conclusions of the second interenational enquiry on the reliability of high voltage circuit-breakers«, CIGRÉ Lession 1994, 13 – 202.

[2] A. L. J. JANSSEN, at all.: »Aplication of diagnostic techniques for high voltage circult-breakers«, CIGRÉ Session 1992, 13 – 101.

[3] IEC Technical Report 1208 (1992): High voltage alternating current circuit-breakers. Guide for maintenance.

[4] 17A/17C (Secretariat) 422/148 — Revision of IEC 694: Common specifications for High Voltage switchgear and controlgear standards.

[5] 17A/10/17C (Sec) 433/334/155: The use of Sulphur hexafluoride (SF6) in high-voltage switchgear and controlgear.

[6] WG 33/15.08: Dielectric diagnosis of electrical equipment for AC applications and its effects on insulation coordination — State of the art Report, CIGRÉ Session 1990.

HIGH VOLTAGE SF6 CIRCUIT-BREAKER DIAGNOSTICS

The ultimate goal of maintenance, including actions like inspection, diagnostics testing and the application of monitoring techniques, is to establish or to improve the reliability and availability of the circuit-breaker. High reliability and availability have to be achieved at the lowest overall costs.

The maintenance philosophy and therefore the diagnostic techniques should be chosen on the basis of a real and necessary contribution to the reliability and availability of the circuit-breaker.

In this report the definitions in the field of diagnostics techniques are proposed, the most often used diagnostic methods are elaborated and their impact on circuit-breaker reliability is analysed.

ZUSTANDSDIAGNOSEN VON SF_6 HOCHSPANNUNGS-LEISTUNGSSCHALTERN

Der Endziel von Instandsetzungsarbeiten an Hochspannugs-Leistungsschaltern ist die Erhöhung oder Erhaltung von Zuverlässigkeit und Ferfügbarkeit — Sichtkontrolle, Fehlersuche und Fehlerdiagnose, sowie Überwachungstechnik u. ä. eingeschlossen.

Die Instandsetzungsüberlegungen, demnach auch diagnostische Verfahren, sollen sich nach den sächlichen, unentbehrlichen Beiträgen der Zuverlässigkeit und der Ferfügbarkeit von Hochspannugs-Leistungsschaltern richten.

Im Artikel werden die häufigst vorkommenden Begriffsbestimmungen vorgeschlagen, die meist verwendeten diagnostischen Verfahren bearbeitet, und deren Einfluss auf die Zuverlässigkeit von Hochspannugs-Leistungsschaltern analysiert.

Naslov pisca:

Mr. Krešimir Meštrović, dipl. ing.
Končar — Institut za elektrotehniku,
10000 Zagreb, Baštijanova b.b., Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-04-06

ZAŠTITNE IZOLACIJSKE PLOČE KAO ZAŠTITA PRI RADU U BLIZINI NAPONA U SREDNJONAPONSKIM SKLOPNIM BLOKOVIMA

Dr. Vladimir Firinger — Ante Pavić, Zagreb

UDK 621.316.9
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazani su zahtjevi, konstrukcija, korištenje i održavanje zaštitnih izolacijskih ploča koje se koriste kao zaštita pri radu u blizini napona u srednjonaponskim sklopnim blokovima.

Ključne riječi: srednjonaponski sklopni blokovi, zaštitne izolacijske ploče, izolacijski materijali.

1. UVOD

Prema odredbama »Pravilnika o zaštiti na radu pri korištenju električne energije« (Narodne novine broj 9/87) radovi u električnim postrojenjima mogu se svrstati u sljedeće kategorije:

— radovi u beznaponskom stanju
— radovi u blizini napona.

Korištenje zaštitne izolacijske ploče vezano je za radove u blizini napona. Definicija radova u blizini napona je da su to takvi radovi koji se obavljaju na određenom propisanom razmaku od dijelova električnog postrojenja koji su pod naponom ako zbog određenih razloga nije moguće osigurati beznaponsko stanje susjednih dijelova postrojenja pod naponom, a radovi predstavljaju povećanu opasnost za radnike i postrojenje. Radovima u blizini napona smatraju se svi radovi kod kojih postoji opasnost, jer postoji mogućnost da radnik svojim tijelom, alatom ili vodljivim predmetom dođe u izravnu vezu s dijelovima električnog postrojenja pod niskim naponom ili dosegne propisani sigurnosni razmak kod visokonaponskih postrojenja.

Prije početka izvođenja radova u blizini napona potrebno je susjedne dijelove pod naponom osigurati od izravnog ili neizravnoga dodira pomoću dovoljno čvrstih i pouzdano postavljenih zaštitnih izolacijskih ploča (JUS N.B4.050), pregrada (JUS N.B4.051) i sl. postavljenih na odgovarajući razmak.

Radovi u blizini napona mogu se izuzetno izvoditi bez primjene zaštitnih izolacijskih ploča ili pregrada ako ne postoji mogućnost njihove primjene. U tom slučaju najbliži dijelovi pod naponom moraju biti izvan dohvata rukom uvećanom za sigurnosni razmak [1], a prije početka radova treba pažljivo razmotriti sve okolnosti i poduzeti sve mjere sigurnosti, osobito s obzirom na prostor dohvata rukom definiran prema JUS N.B2.741.

Problem razdvajanja sabirnica pod naponom od ostaloga dijela sklopnoga bloka u kojem se obavljaju radovi rješava se zaštitnim izolacijskim pločama. Zaštitne izolacijske ploče razdvajaju nepokretne dijelove rastavljača ili rastavne sklopke koji su pod naponom od pokretnih koje nisu pod naponom. S obzirom na napon, dopušteno je samo kratkotrajno dodirivanje zaštitne izolacijske ploče s dijelovima koji su pod naponom prilikom postavljanja zaštitne izolacijske ploče. Trajan dodir ploče s dijelovima pod naponom nije dopušten.

Vrlo visoki zahtjevi u propisima o tehničkim svojstvima materijala za izradbu zaštitnih izolacijskih ploča i odgovarajuće konstrukcije ploča trebaju osigurati visok stupanj sigurnosti i pouzdanosti osoblja, te im optimalno omogućiti radne uvjete u inače skučenom prostoru ćelije sklopnoga bloka.

Zaštitne izolacijske ploče koriste se u sklopnim blokovima samo za privremeno odvajanje sabirnica pod naponom od donjega dijela ćelija u kojoj se vrše radovi, obično uz istodobno blokiranje rastavljača u otvorenom položaju. Zbog sigurnosnih razloga korištenje ploča ograničeno je samo na uređaje za unutrašnju montažu, koji su potpuno suhi. Prema JUS-u korištenje zaštitne izolacijske ploče dopušteno je u rasponu temperatura od −25 do 40 °C, pri najvišoj relativnoj vlažnosti 80% i najvišoj nadmorskoj visini 1 000 m. Zahtjevi kvalitativnih svojstava zaštitne izolacijske ploče, kao i materijala za izradbu ploča rangirani su naponskim redom a regulirani nacionalnim standardima. Korištenje zaštitne izolacijske ploče predviđeno je u blokovima do 36 kV prema VDE, odnosno do 38 kV prema JUS-u.

Najmanja debljina osnovnog materijala ploče iznosi 4 mm prema VDE-u a 3 mm prema JUS-u.

U radu su prikazane predradnje na izradbi domaćih zaštitnih izolacijskih ploča namijenjenih za korištenje u blokovima do 38 kV. Kao osnovni materijal za izradbu ploča izabran je jedan od najkvalitetnijih

materijala od tvrdoga staklenog tkiva na bazi epoksidnih staklenih laminata visoke toplinske klase H (180 °C), a bez halogenih sastojaka. Materijal ima vrlo visoka dielektrička i mehanička svojstva na normalnim, povišenim i niskim temperaturama, i to kako kratkotrajno, tako i dugotrajno, pa gotovo ne stari, praktički ne upija vlagu i vodu, krut je i otporan na udarce, habanje i kalanje, nezapaljiv je, a njegovi produkti gorenja nisu toksični jer u svom sastavu nema halogenih elemenata niti fosfora, sumpora, spojeva s dušikom i antimonom.

2. IZVEDBE ZAŠTITNIH IZOLACIJSKIH PLOČA

Izvedbe suvremenih zaštitnih izolacijskih ploča ovise o naponskom redu, konfiguraciji i tipu postrojenja i njegovoj geometriji.

Najmanji razmaci između dijelova pod naponom i površine ploče, kao i najmanji razmaci između dijelova pod naponom i rubova, ureza, rupa i otvora u ploči definirani su zaštitnim razmacima prema naponskom redu. Također, ako na ploči postoje električki vodljivi dijelovi (pojačanja, spojni elementi, vijci, ručice, prihvatni elementi, vodilice i sl.), propisani su zaštitni razmaci ovisno o naponskom redu. Rupe, urezi i otvori u ploči ili moraju biti širine manje od 10 milimetara ili u slučaju prolaza probnog prsta moraju osiguravati odgovarajuće minimalne zaštitne distantne razmake između dijelova pod naponom i provučenog prsta, tj. postići stupanj zaštite IP2X.

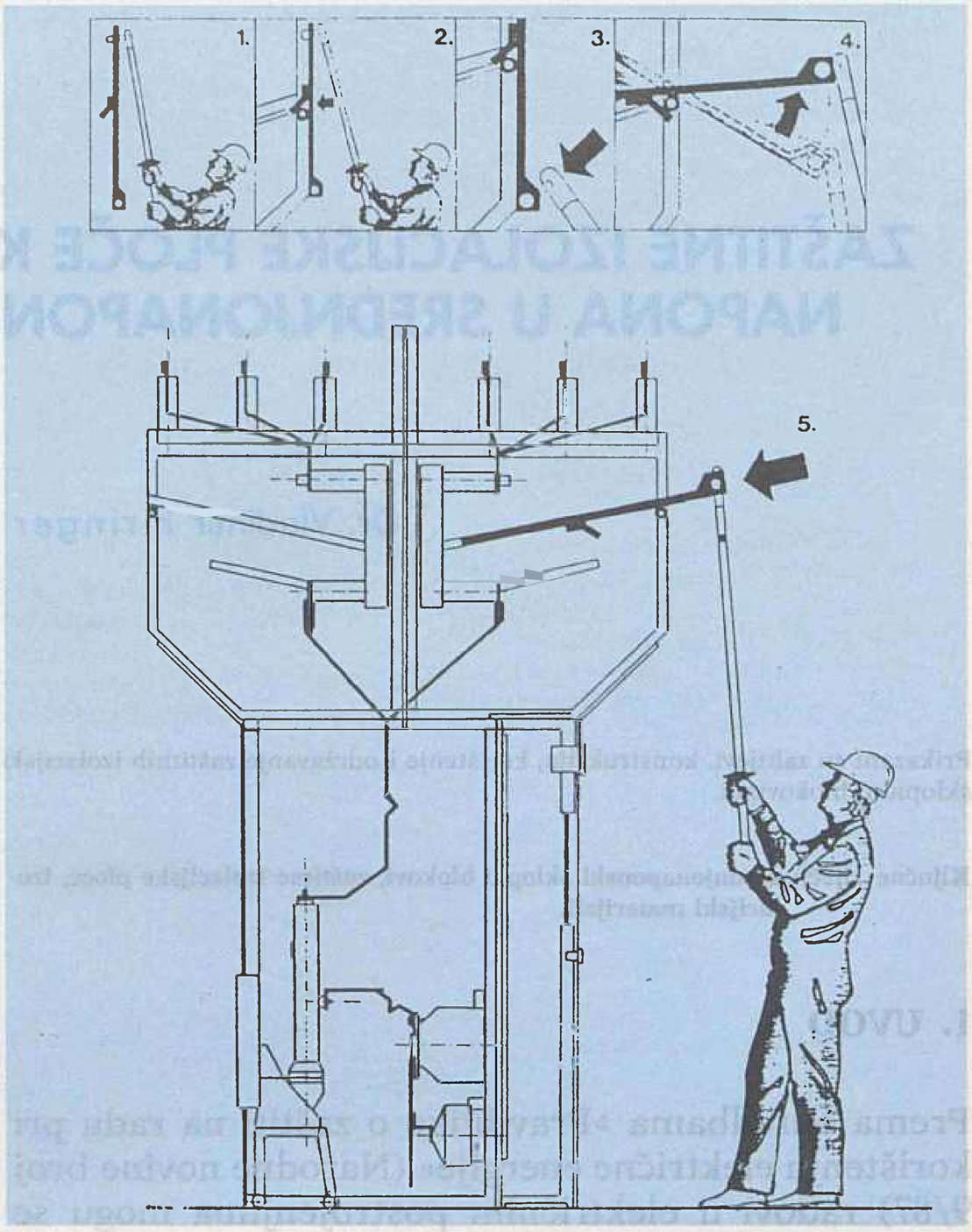
O konfiguraciji i tipu postrojenja ovise dimenzije, oblik, način stavljanja i vađenja zaštitnih izolacijskih ploča s potrebnim detaljima, moguća potrebna ojačanja, ručice, rukohvati, vodilice, elementi za vješanje i zakretanje ploče i dr. Širina razmaka polja, koju zaštitna izolacijska ploča treba nadsvoditi uz odabranu debljinu i krutost ploče diktira jesu li potrebna ojačanja ploče.

Prema visini na koju se postavlja ploča u ćeliji odabiru se elementi za prihvaćanje, dizanje, eventualno ovješenje i zakretanje ploče.

Najjednostavniji način umetanja ploče jest uguravanjem na način poput ladice s vođenjem rubova ploče u utorima U-profila učvršćenim na bočne strane ćelije. Složeniji je način umetanja ploče kada je potrebno ploču ubaciti na većoj visini. U tom slučaju potrebni su elementi za prihvaćanje i podizanje ploče pomoću izolacijske motke, kojom se ploča podiže i vješa na prednju stranu ćelije. Zatim se izolacijskom motkom zahvaća ploča s donje strane i zakreće u položaj da po vodilicama ploča može uklizati u ćeliju.

Težina, dimenzije i oblik ploče diktirat će potrebni broj i vrstu prihvatnih elemenata ovisno o tome je li za dizanje ploče potreban jedan poslužitelj ili dva.

Zaštitne izolacijske ploče imaju natpisnu pločicu s podacima o proizvođaču, tipu, seriji i broju, s oznakom standarda, stupnjem izolacije, godinom proizvodnje, datumom prvog ispitivanja, s datumom predviđenoga sljedećeg ispitivanja i mjesta za upisivanje najmanje četiri sljedeća kontrolna ispitivanja.



Slika 1. Postavljanje zaštitne izolacijske ploče pomoću izolacijske motke vješanjem na odgovarajuće držače te zatim zakretanjem i uvlačenjem po vodilicama u ćeliju

Propisane su trajne oznake upozorenja na ploči, pogotovo za ploče koje se postavljaju između kontakata otvorenog rastavljača ili rastavne sklopke.

Fiksni pomoćni pribor za pridržavanje ploče u ćeliji smije biti i od metala, a prenosivi mora biti od izolacijskog materijala. Vodilice po kojima skliže ploča u svoje ležište u ćeliji, kao i kuke za ovješenje ploče prije zakretanja, pri postavljanju ili vađenju ploče, moraju osigurati siguran položaj ploče prilikom svih tih operacija postavljanja, vađenja i zaštitnog položaja ploče.

Tehničke upute za zaštitne izolacijske ploče, kao i pripadne elemente i alat trebaju davati upute za način namještanja, čuvanja, održavanja, uporabe te za periodična ispitivanja i ispitivanja pri korištenju.

Kontrolno ispitivanje ploča treba provoditi najmanje svake treće godine.

Problem provođenja radova u blizini napona na siguran način, u skladu sa sigurnosnim kriterijima, započeo se prije 8 godina u Elektri Zagreb rješavati izradbom domaćih zaštitnih izolacijskih ploča za trafostanice 30/10 kV i 110/x kV. Tada je riješen problem u trafostanicama za električna postrojenja napona 10 kV i 20 kV.

U prvoj fazi bio je riješen problem tipskih ispitivanja, odabira materijala i potrebnog pribora, odabiranje optimalnog položaja ploče u odnosu na tip i vrstu rastavljača uz rješavanje dodatnih zahtjeva za neke sklopne blokove, dodavanjem izolacijskih pregrada na bočnim stijenkama u nivou rastavljača, ug-

radnjom izolacijskih vodilica i dr. Tom prilikom kao osnovni materijal izolacijskih ploča korišten je materijal na bazi tvrdog PVC-a.

Kako za sljedeću fazu treba rješavati zaštitne izolacijske ploče za više napone od 30 kV, pa do maksimalno predviđenog napona za zaštitne izolacijske ploče 38 kV, to je tražen električki i mehanički kvalitetniji materijal, postojan na starenje, te posebno postojan s obzirom na deformacije, krtost i lomljivost. Trenutno su u tijeku tipska ispitivanja zaštitne izolacijske ploče na realnom modelu ćelije 30 kV.

Koncepcija nove domaće zaštitne izolacijske ploče temelji se na kvalitetnim izolacijskim materijalima bez ikakvih električno vodljivih ili metalnih dijelova. Ploča, eventualne ručice, prihvatni elementi za ovješenje i dizanje ploče, dio ploče koji ulazi u vodilice sastojat će se od kvalitetnih izolacijskih materijala koji su međusobno povezani isključivo ljepilima na bazi sintetskih smola, koje su također prvorazredni dielektrici-sirovine u proizvodnji izolacijskih materijala. Na taj su način konstruktivno i ispitivački pojednostavnjeni mnogobrojni problemi i zahtjevi u vezi eventualno vodljivih ili metalnih dijelova koji se nalaze na izolacijskoj zaštitnoj ploči.

U sadašnjem momentu razmatraju se ploče debljine 5 i 6 mm. Vjerojatno će se kasnije prijeći samo na jednu. Pretpostavljamo da će ploče debljine 5 mm moći zadovoljiti sve zahtjeve s obzirom na to da je riječ o materijalu velike mehaničke i električne čvrstoće, velike postojanosti s obzirom na temperaturne razlike i mogućnost habanja. Kako se radi o relativno krutom a lakom materijalu, može se smatrati da će takve ploče moći sigurno nadsvoditi sve širine normalnih ćelija bez ikakvih pojačanja ploče. Kako je E-modul savijanja oko 20 000 MPa, a specifična masa materijala ploče iznosi oko 1,95 g/cm^3, može se očekivati da će ploče dužine do 1,5 m zadovoljiti bez ikakvih pojačanja najveći dopušteni progib 60 mm.

Materijal nije termoplast, praktički se ne savija s povišenom temperaturom i vremenom, nije krt ni lomljiv na udarce, tako da je kvalitativno po najvažnijim svojstvima mnogo bolji od tvrdog PVC-a.

Rješavanjem ploča najvišeg napona (38 kV) automatski će se istim materijalom i vrlo vjerojatno i istom debljinom ploča rješavati i ploče za korištenje u postrojenjima nižeg napona.

3. ZAHTJEVI I SVOJSTVA MATERIJALA

Veoma visoki zahtjevi za svojstva materijala od kojih se izrađuju izolacijske zaštitne ploče, kao i za konstrukciju samih ploča obuhvaćeni su njemačkim propisima VDE 0681, Teil 8/Mai 1988, kao i ponešto zastarjelim JUS N.B4.050 iz 1986, koji je bio izrađen na bazi starijeg izdanja VDE.

Zahtjevi obuhvaćaju potrebne elemente koji osiguravaju siguran i pouzdan rad osoblja koje radi u ćeliji gdje je dio pod naponom, tako da je onemogućen slučajni dodir dijelova pod naponom, a sama konstrukcija ploča treba biti što jednostavnija i lakša, za što jednostavniji, ali ipak pouzdani način postavljanja ploče u ćeliju.

Kao materijal za izradbu ploča izabran je višeslojni prešani materijal na bazi staklenih vlakana i epoksidnih smola koji je otporan na plamen, a visokih je električnih, mehaničkih i toplinskih svojstava. Materijal zadovoljava zahtjeve međunarodnih i nacionalnih propisa kao što su: ISO 1642 za EPGC 2, DIN 7735 za Hgw 2372.1, NEMA LI 1: za FR-4, BS 3953 za EP-4 te JIS K 6912 za EL-GEF.

Analiziranjem svojstava ploča od tvrdoga staklenog tkiva u odnosu na ploče od PVC-a može se reći da su mnogo bolje po najvažnijim mehaničkim i električnim svojstvima u dostavnom stanju, a pogotovo nakon svih starenja pri povišenoj ili sniženoj temperaturi te insolaciji. Novopredviđeni materijal ima i bolja klizna svojstva koje je važno svojstvo prilikom ulaganja ploče. Također je mnogo bolji po otpornosti prema plamenu, a njegovi produkti gorenja nisu otrovni. Zbog efekta armiranja staklenim vlaknima novi materijal je mnogo otporniji na udarce, manje se ugiba i manje je sklon lomu na rubovima. Odličan je izolacijski materijal i nakon 24 sata ležanja u vodi (više od 5 x 10^{10} Ohma), a isto tako i s obzirom na klizne struje (više od KC 200).

4. ZAKLJUČAK

Suvremene zaštitne izolacijske ploče danas su nužna pomoćna zaštitna oprema pri izvođenju radova u blizini napona u srednjonaponskim ćelijama u kojima sabirnice ostaju pod naponom. Ploča osim što razdvaja dio koji je pod naponom od onog u kojem se vrše radovi, većinom blokira i otvoreni rastavljač.

Koncepcija domaće zaštitne izolacijske ploče temelji se na najkvalitetnijim materijalima, tako da se očekuje da će se s debljinom 5 mm moći zadovoljiti svi zahtjevi s obzirom na konfiguracije ćelija, a isto tako i za sve napone do 38 kV. Uz to predviđa se da će svi materijali, sastavni dijelovi zaštitne izolacijske ploče, biti također prvorazredni dielektrici. Na taj su način konstruktivno i ispitivački pojednostavnjeni mnogobrojni problemi i zahtjevi u vezi s vodljivim ili metalnim dijelovima na izolacijskoj zaštitnoj ploči.

Kako se radi o materijalu armiranom staklenim nitima, očekuje se da će se praktički jednom debljinom ploča moći zadovoljiti sve širine ćelija sklopnih blokova s obzirom na dopušteni maksimalni progib ploče.

LITERATURA

[1] LESAN B., PAVIĆ A.: »Zaštitna izolacijska ploča — propisi, ispitivanja, primjena, Stručna konzultacija: Normativi za reviziju, održavanje i remont elektrodistributivnih objekata«, JUKO CIGRE, Šibenik, 1990.

[2] H. G. DOHMEN, H. von DREELE, H. KEHLER: »Einsatz isolierende Schutzplatten in Mittelspannungsanlagen«, Elektrizitätswirtschaft 85 (1986) 25, 987—995.

Energija, god. 44 (1995) 3, 149 – 152

[3] K. W. BAER: »Isolierende Schutzplatten — Schutzmittel beim Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile«, Elektrizitätswirtschaft 83 (1984) 20, 871—874.

[4] DIN-VDE 0681 Teil 8/ Mai 1988: Geräte zum Betätigen, Prüfen und Abschranken unter Spannung stehender Teile mit Nennspannungen über 1 kV Isolierende Schutzplatten

[5] JUS N. B4. 050/1986: Izolacijske zaštitne ploče, Opći tehnički zahtjevi i ispitivanja

PROTECTIVE INSULATING SHUTTERS AS PROTECTION IN LIVE-LINE WORKING IN THE MEDIUM-VOLTAGE SWITCHGEAR

The requirements, design, usage and maintenance of protective insulating shutters that serve as protection in live-line working in the medium voltage switchgears are presented in the paper.

ISOLATIONSSCHUTZPLATTEN, ALS ARBEITSSCHUTZMASSNAHME IN DER NÄHE DER SPANNUNGSFÜHRENDEN TEILE DER MITTELSPANNUNGS-SCHALTBLÖCKE

Dargestellt werden die Forderungen an die, als Arbeitsschutz in der Nähe von spannungsführenden Teilen der Mittelspannungs-Schaltblöcke dienenden, Isolationsschutzplatten, sowie deren Aufbau, Verwendung und Instandhaltung.

Naslov pisaca:

Dr. Vladimir Firinger, dipl. ing.
Končar — Institut za elektrotehniku
10000 Zagreb, Baštijanova b. b., Hrvatska
Ante Pavić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Distribucijsko područje »Elektra«
10000 Zagreb, Gundulićeva 32, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-07-04

POBOLJŠANJE KVALITETE PRIJELAZNOG OTPORA UZEMLJENJA UGRAĐENIH U LOŠE VODLJIVOM TLU

Ljubomir Božiković, Zagreb

UDK 621.316.99
PREGLEDNI ČLANAK

Za poboljšanje kvalitete prijelaznog otpora uzemljenja bitno je postići kvalitetni električni kontakt uzemljila i okolnog tla. Posebno kvalitetan kontakt postiže se oblaganjem uzemljila kontakt-oblogom od boksitnoga taloga, što je posebno važno na zemljištima s lošom električnom vodljivošću.

Ključne riječi: prijelazni otpor uzemljenja, uzemljilo, kontaktna obloga, boksitni talog

1. UVOD

Zaštita telekomunikacijskih instalacija, uređaja i korisnika od štetnog prenapona temelji se na ugradnji primjerne zaštitne opreme kao jednog od vidova zaštite. Potreba izradbe niza kvalitetnih uzemljenja, kao osnovnoga dijela ugrađenog sklopa zaštite od prenapona, pojavljuje se najčešće u područjima koja se odlikuju lošom električnom vodljivošću tla. Pored kvalitetnih konstrukcija zaštitne opreme glede dimenzija, izdržljivosti i brzini djelovanja. Njihova zaštitna uloga najčešće je uvjetovana kvalitetom ugrađenog uzemljenja na koje su priključena. Izgraditi kvalitetno uzemljenje u područjima s lošom električnom vodljivošću tla, ekonomski i tehnički je zahtjevno. Kako nije moguće utjecati na poboljšanje električne vodljivosti tla u globalnom smislu, moguće je utjecati na poboljšanje kvalitete »prijelaznog otpora«, uzemljenja ugrađenog u tom tlu. Navedeno poboljšanje prijelaznog otpora uzemljenja postiže se izradbom što je moguće kvalitetnijeg električnog kontakta uzemljila uzemljenja s okolnim tlom. Po navedenoj osnovi postizanja kvalitetnog kontakta primjerno je umjesto »otpor uzemljenja« rabiti izraz »prijelazni otpor uzemljenja«. Opis koji slijedi temelji se na određenim praktičnim iskustvima. U praktičnoj izvedbi postignuta poboljšanja prijelaznog otpora uzemljenja odlikuje ekonomičnost i tehnička jednostavnost izvedbe te povoljnije vrijednosti projektiranog uzemljenja.

2. UZEMLJENJA

Izgraditi kvalitetno uzemljenje u danim uvjetima tla znači izgraditi takvo uzemljenje koje iskazuje što je moguće nižu vrijednost prijelaznog otpora uzemljenja uz određenu optimalnu ekonomičnost. Praktično iskustvo utemeljeno je na izgradnji uzemljenja s različitim tipovima uzemljila uz korištenje materijala kao kontaktne obloge uzemljila i okolnog tla. Pritom se imalo na umu da u električnom smislu bitnu ulogu ima loša električna vodljivost tla.

2.1. Uzemljila

Pri izgradnji niza uzemljenja ugrađena su uzemljila različitog tipa. U obzir je prije svega uzeta ekonomičnost izgradnje u odnosu na moguća poboljšanja, dakle niže vrijednosti prijelaznog otpora uzemljenja. Korištena uzemljila su tipa »L« jednokrako tračno, »T« dvokrako tračno, »Z« trokrako tračno te »H« kombinirano tračno – pločasto uzemljilo. Materijal uzemljila jest željezna pocinčana traka i bakar. Temeljem ekonomsko-tehničkih značajki i dobivenih praktičnih rezultata posebno značenje dano je dvokrakom tračnom uzemljilu tipa »T« (prikaz sl. 3).

Izračun duljine tračnog uzemljila (L) izveden je iz ustaljenoga empirijskog izraza (1), za prijelazni otpor uzemljenja (R_E).

$$R_E = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{Hd} \qquad (1)$$

pri čemu je:

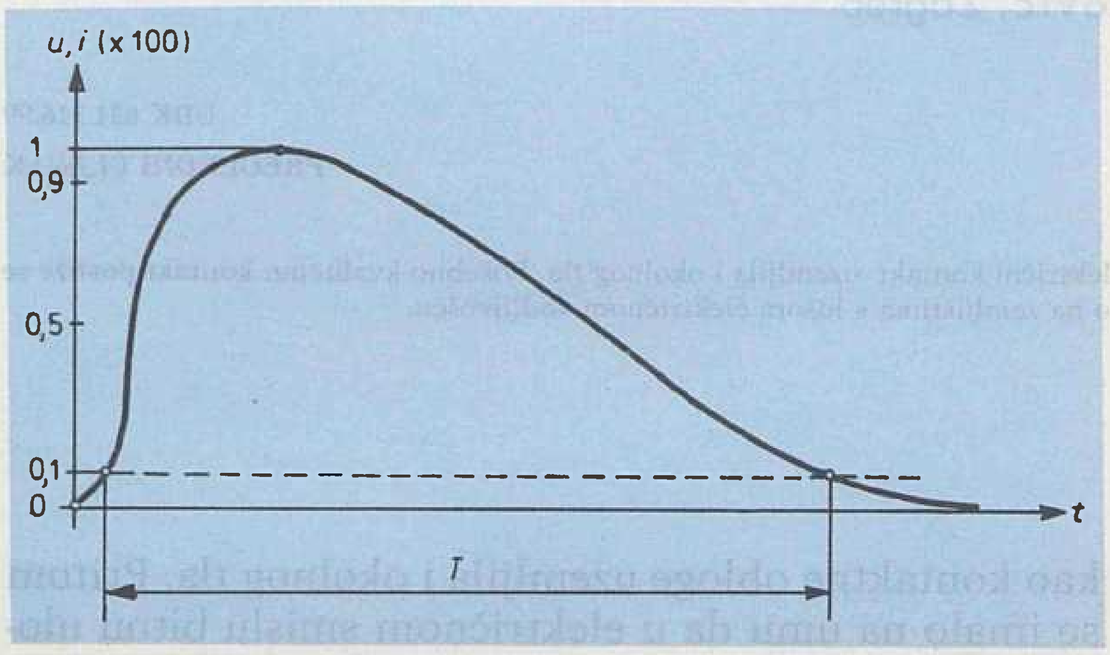
R_E — zahtijevana vrijednost prijelaznog otpora uzemljenja [Ohm]
L — potrebna duljina tračnog uzemljila [m]
ρ — specifični otpor tla [Ohm]
H — dubina ukopa uzemljila [m]
d — polovična širina uzemljila — trake [m]

Za zahtijevanu vrijednost prijelaznog otpora uzemljenja i danim uvjetima deduktivnom metodom izračunava se potrebna duljina tračnog uzemljila.

Promatranjem ugrađenog uzemljila kao dugi vodič duljine (L) koji pri naglom prenaponskom udaru iskazuje karakter valnog otpora, a time i frekvencijsku ovisnost. U početnom trenutku udara, dakle u trenu nagle promjene, samo uzemljenje iskazuje veći prije-

lazni otpor (R_{EO}) u odnosu prema vrijednosti u stacionarnom stanju ($RE_{O\infty}$).

Odnos vrijednosti prijelaznog otpora u početnom trenutku prenaponskog udara i vrijednosti u stacionarnom stanju usko je povezana s vremenom (T) u kojem se ostvare (90%) promjene (prikaz sl. 1). Shodno navedenom, osjetno povoljnije vrijednosti postižu se s ugrađenim dvokrakim tračnim uzemljilom tipa »T« (prikaz sl. 2) u odnosu na ostale tipove iste duljine (L).



Slika 1.

T.I

	L	L/2 L/2
$\frac{R_E=0}{R_{E\infty}}$	16	8
T (10^{-6} sek)	8	4

Slika 2.

2.2. Kontaktna obloga uzemljila

Stvaranje kontinuiranoga i kvalitetnoga kontakta između uzemljila i zemlje, tla, znatno pridonosi poboljšanju kvalitete uzemljenja, dakle smanjenju prijelaznog otpora uzemljenja. Kvalitetan kontakt može se ostvariti ugradnjom kontaktne obloge uzemljila prema okolnom tlu.

Materijal korišten kao kontaktna obloga jest »boksitni talog«. Taj materijal poznat je i pod imenom »crveni talog«. Boksitni talog je obilni otpadni materijal koji nastaje u procesu proizvodnje aluminijske glinice (Al_2O_3) iz boksitne rude postupkom »Bajer«. Na tonu proizvedenog aluminata izdvaja se i do dvije tone boksitnog taloga.

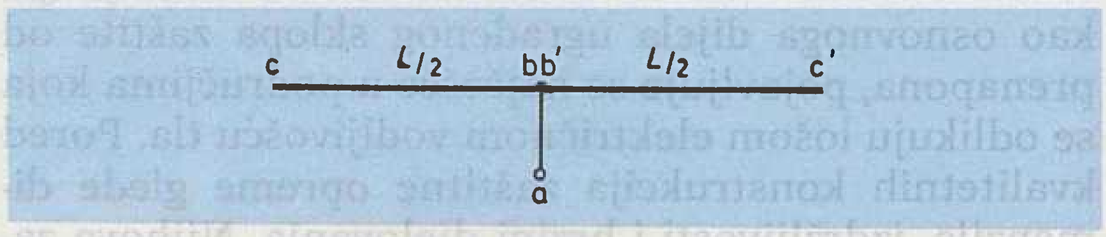
Svojstva boksitnog taloga veoma pogoduju korištenju ovog materijala kao kontaktne obloge uzemljila. Struktura boksitnog taloga je sitnozrnata, prašnjava, dugo zadržava vlagu, dobre je električne vodljivosti. U svom sastavu boksitni talog sadrži osim niza nekovinskih oksida i niz kovinskih oksida kao što su aluminij, mangan, nikal, titan te željezo do 28% (crvena boja). Kao kontaktna obloga može se koristiti u rasutom stanju. Prešanjem i isušivanjem oblikuje se u ploče ili opeke pogodne za transport i oblaganje uzemljila u rovu.

2.2.1. *Vlažnost kontaktne obloge*

Oscilacije vrijednosti prijelaznog otpora uzemljenja u sušnom ljetnom razdoblju znatno se ublažavaju utjecajem vlažnosti kontaktne obloge. Usporavanje apsorpcije vlage okolnog tla iz kontaktne obloge može se izvesti posrednim dodavanjem vlage u materijal kontaktne obloge, boksitni talog. Posredno dodavanje vlage izvodi se ugradnjom dodatnog sloja oblozi od mješavine boksitnog taloga i granulata polimera-absorbera, na kojem je prethodno dovršen postupak apsorpcije vode ili pogodne tekućine. Polimer-apsorber ima ulogu minijaturnog vodospremnika koju obnavlja.

2.3. Jednakodijelnost

Dodatno poboljšanje prijelaznog otpora uzemljenja postiže se i boljom jednakodijelnosti uzemljenja s ugrađenim »T« uzemljilom. Jednakodijelnost uzemljenja predstavlja visok stupanj geometrijske i električne simetričnosti ugrađenog »T« uzemljila s kontaktnom oblogom. Postignuta jednakodijelnost uzemljenja provjerava se i ispravlja kontrolnim mjerenjem vrijednosti prijelaznog otpora uzemljenja za oba kraka (a, b, c) i (a, b′, c′) (prikaz sl. 3), uzemljila prema istim mjernim točkama okolnog tla. Zamjetne razlike mjernih vrijednosti, nejednakodijelnost.



Slika 3.

Korekciju nejednakodijelnosti najjednostavnije se korigira preko kontaktne obloge dodatkom sloja obloge, te postizanjem veće kompaktnosti kontaktne obloge na kraku s lošijom vrijednošću.

3. ZAKLJUČAK

U područjima s lošom električnom vodljivošću tla praktično je moguće ostvariti znatna poboljšanja kvalitete prijelaznog otpora uzemljenja uz povoljnu ekonomičnost. Ugradnja uzemljenja u navedenom području zahtijeva optimalan ekonomsko-tehnički odabir tipa uzemljila, korištenje kontaktne obloge od boksitnog taloga te dosezanje višeg stupnja jednakodijelnosti ugrađenog uzemljenja.

4. PITANJA

(1) Iskustva primjene boksitnog taloga kao kontaktne obloge, drugdje.

(2) Mogućnosti preporuke i tipizacije uzemljila s kontakt-oblogom od boksitnog taloga za terene loše vodljivosti.

Energija, god. 44 (1995) 3, 153 – 155

LITERATURA

[1] G. RIELLO, »Uređaji za uzemljenje«, Zg. 1969.
[2] C.C.I.T.T. Green book, vol. IX protection
[3] VDE propisi 0228

TRANSITIVE RESISTANCE EARTHING QUALITY IMPROVEMENTS IN CASE OF BAD ELECTRICAL SOIL CONDUCTIVITY

To improve the quality of the earthing transitive resistance, it is essential to obtain a good electrical contact between earthing tape and roundabove earth. Particurarly good contact can be obtained by laying the earthing tape with boxite sediment, which is very important for the soil with bad conductivity.

DIE ERREICHUNG DES AUSREICHEND KLEINEN ÜBERGANGSWIDERSTANDES DER ERDUNGSSONDEN IM BODEN SCHLECHTER LEITUNGSEIGENSCHAFTEN

Um einen ausreichend kleinen Übergangswiderstand der Erdungssonden zum Boden zu erreichen ist ein guter elektrischer Kontakt zwischen der Sonde und des umgebenden Bodens von wesentlicher Bedeutung. Ein besonders guter Kontakt ist durch die Umlegung der Sonde mit dem Bauxit-Schlamm zu erreichen. Das ist in den Böden schlechter Leitfähigkeit besonders wichtig.

Naslov pisca:

Ljubomir Božiković, dipl. ing.
HPT — TKC, 58 000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-07-10

POMOĆ MEĐUNARODNE AGENCIJE ZA ATOMSKU ENERGIJU (IAEA) U UNAPREĐENJU ENERGETSKOG SEKTORA ZEMALJA U RAZVOJU

Goran Slipac — mr. Mladen Zeljko — Boris Makšijan, Zagreb

UDK 621.039.52:620.9
PREGLEDNI ČLANAK

U članku su opisane aktivnosti Međunarodne agencije za atomsku energiju vezane za izgradnju i unapređenje energetskog sektora zemalja u razvoju. Osim toga opisan je programski paket ENPEP koji je jedan od najšire prihvaćenih programa takvog tipa u svijetu. To je programski paket koji analizira cjelokupni energetski sustav: od energetskih resursa (strana opskrbe) do krajnjih potrošača (strana potrošnje). ENPEP je modularnog tipa i u članku su ukratko prikazani svi pojedinačni moduli ENPEP-a.

Ključne riječi: Međunarodna agencija za atomsku energiju, energetski sustav, elektroenergetski sustav, ENPEP.

1. UVOD

U naporima da pomogne zemljama u razvoju u miroljubivoj primjeni nuklearne energije, Međunarodna agencija za atomsku energiju razvila je vrlo složen program aktivnosti s naglaskom na transferu znanja i tehnologije. Kada je riječ o području nuklearnih elektrana, program tehničke pomoći sastoji se od niza aktivnosti koje uglavnom pokrivaju fazu analiziranja isplativosti i mogućnosti izgradnje nuklearnih elektrana kao alternative za zemlje koje tek uvode nuklearnu tehnologiju odnosno pomoć pri pogonu i vođenju procesa za zemlje koje već imaju nuklearnu tehnologiju.

Tehnička suradnja ili pomoć na polju analiziranja problema planiranja energetike i elektroenergetike odvija se u tri glavna vida: a) razvojem računalskih programa ili alata te analitičkih modela prilagođenih specifičnim potrebama pojedine zemlje, b) organizacijom tečajeva o primjeni takvih modela i c) pomoći u izvođenju studija o planiranju energetskog sustava na zahtjev pojedine zemlje.

Kako je Agencija gotovo od svoga osnivanja uključena u vođenje velikoga broja studija analiza i planiranja razvoja energetike i elektroenergetike različitih zemalja, tako je trebala za svoje, a i za potrebe zemalja članica razviti odgovarajuće programe i modele kojima se mogu analizirati i na optimalan način planirati energetski sustavi zemalja u kojima se vode takve studije. Tako je nakon dugog niza godina stvoren ENPEP, integralni programski paket kojim se analizira energetski sustav u cjelini. Iako su pojedini njegovi dijelovi napravljeni u različitim razdobljima i u različitim istraživačkim institucijama u različitim zemljama, on je jedinstven i primjenljiv na cijeli energetski sustav. ENPEP je zamišljen kao program koji će se distribuirati u zemlje koje trebaju alat za planiranje energetskog sektora. Distribucija programskog paketa pod nadzorom je Međunarodne agencije za atomsku energiju sa sjedištem u Beču. ENPEP je također distribuiran i u zemlje članice Međunarodne agencije za atomsku energiju kao dio pomoći koja se ostvaruje tehničkom suradnjom. ENPEP je besplatan i koristi se u više od 50 zemalja širom svijeta. Jedini uvjeti da se dobije ovaj programski paket jest da u zemlji postoje stručnjaci koji su prošli tečajeve Agencije o primjeni ovoga programskog paketa i da se ENPEP ne prodaje i ne koristi u komercijalne svrhe, odnosno da se na njemu ili pomoću njega ne ostvaruje zarada.

O tom programskom paketu odnosno njegovim dijelovima bit će više govora u sljedećim nastavcima ovoga članka.

Agencija je predvidjela ukupno tri tečaja na kojima se po dijelovima predstavlja programski paket ENPEP. Prvi od njih je tečaj o predviđanju potrošnje energije i električne energije u budućnosti. Prema tome, svrha ovoga tečaja bilo bi predstavljanje metoda i modela kojima se projiciraju buduće potrebe za finalnim oblicima energije, a posebno za električnom energijom kao njezinim sastavnim dijelom, što predstavlja prvi korak u studiji energetskog planiranja. Osnovni model koji se predstavlja jest MAED (Model for Analysis of Energy Demand), dio ENPEP-a, a tijekom tečaja predstavljaju se i neki drugi modeli koji su u uporabi u drugim zemljama. Drugi tečaj kojim se predstavlja programski paket ENPEP jest tečaj planiranja razvoja elektroenergetskog sustava odnosno planiranje optimalne strukture proizvodnih postrojenja primjenom modula WASP (Wien Automatic System Planning Package). Na tečaju se daje naglasak na probleme koji se pojavljuju pri planiranju razvoja elektroenergetskog sustava kao podsustava energetskog sustava. Na trećem tečaju predstavljaju se moduli ENPEP-a kojima se analizira cijeli energetski sustav počevši od energetskih resursa

(npr. ugljena u zemlji) preko postrojenja za preradu do finalnog potrošača te utjecaja cijena na količine potrebne energije (modul BALANCE). Na tečaju se zatim analiziraju problemi vezani za utjecaj na okoliš pretpostavljenoga energetskog sustava (modul IMPACTS). Međunarodna agencija za atomsku energiju i Svjetska banka u suradnji s Ministarstvom za energetiku američke vlade organizirale su brojne tečajeve upotrebe ENPEP-a. Tečajevi traju od 6 do 8 tjedana ovisno o kojem je modulu riječ. Od 1978. godine više od 400 stručnjaka iz 59 zemalja pohađalo je tečaj primjene ENPEP-a u »Argonne National Laboratory«, Illinois, USA.

Na poseban zahtjev zemlje Agencija pruža određenu tehničku i stručnu pomoć pri analizi i planiranju energetskog sustava primjenom programskog paketa ENPEP na cijeli energetski sustav ili jedan njegov dio.

2. ENPEP

»The **EN**ergy and **P**ower **E**valuation **P**rogram« skup je potprograma ili modula koji su kreirani tako da omogućuju svaki za sebe analizu jednoga dijela energetskog sustava, a koji su međusobno tako povezani da omogućuju integralnu analizu i planiranje energetskog sustava. ENPEP počinje s makroekonomskom analizom procjenjujući buduću potrošnju energije temeljenu na takvim pretpostavkama, računa analize proizvodnje i potražnje energije za cijeli energetski sustav, analizira komponente elektroenergetskog sustava kao dio ukupnog energetskog sustava te određuje utjecaje različitih konfiguracija na okoliš. Također se posebno analizira elektroenergetski sustav kao cjelina integralnoga energetskog sustava.

ENPEP je skup različitih programa razvijen u »Argonne National Laboratory«, Illinois, SAD pod sponzorstvom Ministarstva za energiju američke vlade. Moduli odnosno programi koji čine ENPEP razvijeni su u različitim zemljama od različitih organizacija i napravljeni su tako da mogu raditi samostalno izvan ENPEP-a ili u sklopu ENPEP-a.

Ovaj članak daje pregled i kratki opis modula ENPEP-a, kao i njihovu moguću primjenu kao alata za energetsko planiranje.

2.1. Struktura ENPEP-a

ENPEP se sastoji od devet modula od kojih se većina odnosi na različita područja planiranja u energetici. Svaki modul je preko ulaznih i izlaznih datoteka povezan s ostalima, kako je to prikazano na slici 1. Osnovne funkcije modula u ENPEP-u jesu kako slijedi:

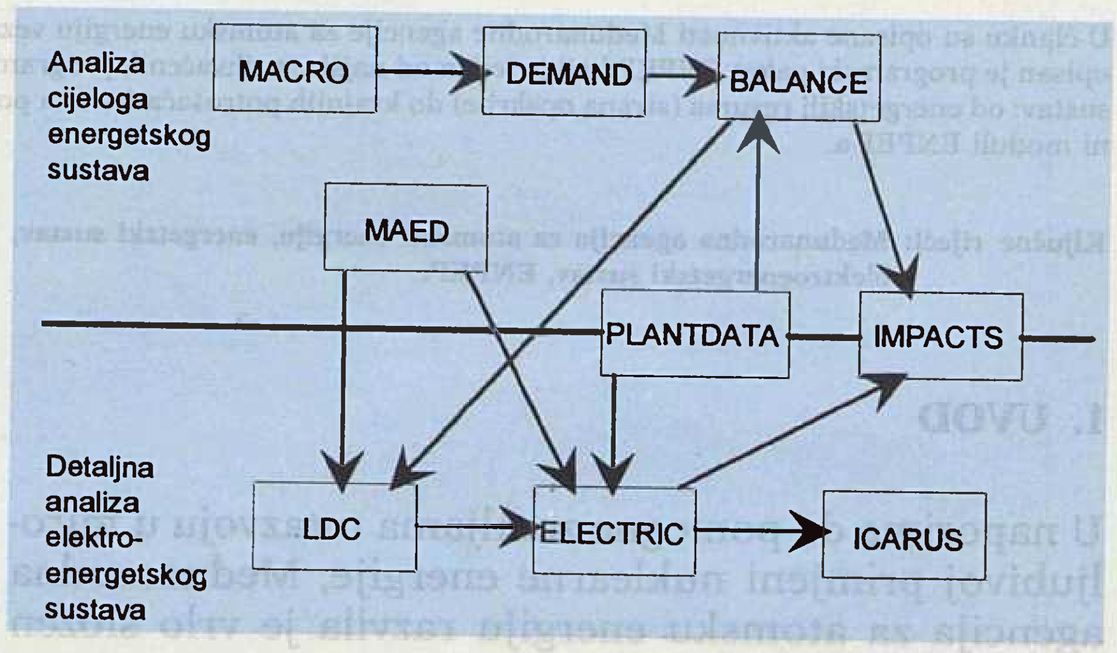
Moduli koji se odnose na planiranje energetskog sustava:

MACRO — omogućuje unošenje makroekonomskih varijabli (globalnih, za ukupnu energetsku potrošnju ili po sektorima potrošnje energije).

DEMAND — projicira potrošnju energije po sektorima ili ukupno temeljenu na makroekonomskim varijablama unesenim u MACRO-modulu.

BALANCE — računa ravnotežno stanje između proizvodnje i potrošnje energije prema količinama i cijenama raznih oblika energija na svih razinama energetskog sustava.

IMPACTS — procjenjuje utjecaj na okoliš s kontrolnim uređajima ili bez njih te nastale troškove za cijeli energetski sustav ili neki njegov dio određen BALANCE-modulom odnosno elektroenergetski određen ELECTRIC-modulom.



Slika 1. Prikaz modula ENPEP-a i njihove međusobne povezanosti

Moduli koji se odnose na planiranje elektroenergetskog sustava:

PLANTDATA — sadržava banku podataka o elektranama elektroenergetskog sustava koji se upotrebljavaju u BALANCE-modulu i ELECTRIC-modulu.

MAED — provodi detaljnu analizu finalne potrošnje električne i drugih.

LDC — formira krivulje trajanja opterećenja koji se kao ulazni podaci koriste u ELECTRIC-modulu.

ELECTRIC — PC verzija WASP III Plus (Wien Automatic System Planning Package) metodom dinamičkog optimiranja pronalazi optimalnu strukturu proizvodnih postrojenja elektroenergetskog sustava, odnosno strukturu koja ima minimalne troškove pod uvjetom zadovoljenja potrošnje električne energije uz zadanu sigurnost opskrbe.

ICARUS — detaljno analizira proizvodne troškove elektroenergetskog sustava i sigurnost opskrbe potrošača.

2.1.1. *MACRO-modul*

Modul za makroekonomske analize startna je točka ENPEP programskog paketa. Kreiran je tako da omogućuje unošenje parametara projekcija društve-

nog rasta za svaki sektor i podsektor gospodarske aktivnosti. Ove projekcije koriste se u sljedećem modulu za određivanje buduće finalne potrošnje energije (npr. goriva, el. energije) ili potrošnje korisnog vida energije iz unesenih stopa porasta društvenog proizvoda.

Makroekonomska analiza odnosi se na sve sektore gospodarske aktivnosti, uključujući industriju, poljoprivredu, transport i usluge. Moguće je unijeti različite stope ekonomskog rasta iz različitih scenarija porasta društvenog proizvoda koji se temelje na različitim pretpostavkama. Uobičajeni podaci potrebni za analize u ovom modulu jesu procjene ekonomskog porasta (GDP) izražene u lokalnoj valuti ili USD te razložene na sektore i podsektore gospodarske aktivnosti. Analiza može uključiti projekciju demografskog rasta ili neke druge parametre kao zaposlenost, broj stanova itd.

Makroekonomska analiza provedena u nekoj zemlji ovisi o raspoloživosti i kvaliteti podataka, analitičkom modelu te preferencijama lokalnih ekonomista. Među najčešće upotrebljavanim tehnikama jesu ekstrapolacija, »time series« analize, »input/output« analize te ekonometrijske projekcije. Nije svrha ENPEP-a da razvije ili preporuči samo jednu makroekonomsku analizu, nego da razvije jedan struktuirani format u koji se mogu unositi makroekonomske varijable koje mogu biti potpuno neovisne ili dobivene na različite načine iz različitih analiza, u svakom slučaju provedenih izvan ENPEP-a. U različitim zemljama takve se analize provode na različite načine, pa zapravo glavna namjena ovoga modula nije planiranje, nego tek unošenje i priprema podataka koji se koriste u ostalim modulima.

2.1.2. *DEMAND-modul*

Modul za prognozu potrošnje energije izravno je povezan s MACRO-modulom, iz kojega dobiva podatke o makroekonomskom porastu, i s BALANCE-modulom, koji iz DEMAND-modula dobiva podatke o projekciji potrošnje energije, bilo da se radi o projekciji finalne potrošnje energije ili korisnih oblika energije. Glavna je namjena ovog modula da na osnovi procjene ekonomskog porasta, koji je izražen u ekonomskim ili fizičkim jedinicama, odredi buduću potrošnju energije na globalnoj razini ili po sektorima i podsektorima.

Jedna od najčešće primjenjivanih metoda procjene buduće potrošnje energije jest postavljanje korelacije između ekonomske aktivnosti i potrošnje energije te ekstrapolacija ovog odnosa u budućnosti. Takva procjena zahtijeva minimum podataka, pa je stoga u uporabi onda kada je potrebno napraviti analizu u kratkom vremenu ili kada su detaljniji podaci nedostupni.

Za analize u kojima su dostupni detaljniji i precizniji podaci, odnosno za analize u kojima se želi modelirati promjena strukture potrošnje energije, promjene tehnologija transformacija energije te utjecaj tržišta može se koristiti opcija u kojoj ekonomski porast nije povezan s finalnom potrošnjom energije, nego s potrošnjom korisnih oblika energije. Korisni vid energije jest vid energije koji zapravo trebaju potrošači (npr. toplina, rasvjeta), a rezultat je transformacije energije u uređajima kao što su npr. peći ili rasvjetna tijela. Korisni vid energije je po iznosu manji od finalne potrošnje energije za iznos gubitaka u uređaju za transformaciju energije.

Izvješće koje se dobije kao rezultat ovog modula jest projekcija potrošnje finalne energije ili korisnog vida energije po sektorima i podsektorima ekonomske aktivnosti. Moduli MACRO i DEMAND dopuštaju do trideset sektora i do trideset podsektora u svakom sektoru.

2.1.3. *BALANCE-modul*

U ovom modulu integralno se analizira energetski sustav, i to po energetskim oblicima, količinama i po cijenama energije koje se računaju od proizvodnje do finalne potrošnje energije, odnosno do energije koju plaća potrošač.

U analizama koje je moguće poduzeti u BALANCE-modulu, potražnja za energijom u funkciji je cijena alternativnih i konkurentskih vidova energije, odnosno cijena energije je u funkciji isporučene količine.

Definicija energetske mreže. U BALANCE-modulu koriste se podmodeli (nodovi) koji predstavljaju različite komponente energetskog sustava (rafinerije, rudnike, termoelektrane, potrošače itd). Korisnik spaja nodove s vezama (link). Svaka veza ima dvije informacije od jednog prema drugom nodu: cijenu i količinu. Na taj način formira se energetska mreža koja sadrži sve sektore proizvodnje i potrošnje svih oblika energije. Različitim spajanjem tih nodova u energetskoj mreži mogu se dobiti različite analize.

Proračun ravnoteže između proizvodnje i potrošnje energije. U načelu jednom uspostavljena energetska mreža se ne mijenja. Proces pronalaženja ravnoteže između proizvodnje i potrošnje energije započinje unosom podataka o potrošnji i cijenama energije u temeljnoj godini. Za temeljnu godinu se nakon toga računaju količine i cijene počevši od proizvodnje energije preko svih nodova sve do krajnjih potrošača. Da bi se izračunala ravnoteža proizvodnje i potražnje energije za svaku iduću godinu, koristi se nelinearni algoritam. Proces počinje na nodovima koji predstavljaju proizvodnju energije. Prva procjena o proizvodnji različitih oblika energije u sljedećoj godini jest ekstrapolacija proizvodnje u prethodnoj godini za određeni iznos. Na osnovi krivulje troškova proizvodnje, koja se zadaje za svaki pojedini izvor energije, odrede se cijene proizvodnje energije za svaki oblik energije posebno. Nakon toga slijedi proračun cijena od proizvodnje energije do potrošnje, tzv. »prolaz prema gore«, u kojemu se računaju cijene ispred i iza svakoga procesa (noda) sve do potrošača, odnosno korisnog vida energije. Polazna cijena za ovaj proračun jest cijena proizvodnje energije određena iz krivulje proizvodnje za pretpostavljenu proizvodnju. U »prolazu prema gore« ne računaju se količine energije. Kada je kompletiran cijeli proračun, svaka veza između nodova ima prvu procjenu ci-

jena za promatranu godinu. Sljedeći korak jest proračun količina energije, tzv. »prolaz prema dolje«, koji se vrši od potrošnje korisnih oblika energije prema nodovima koji predstavljaju proizvodnju energije. U ovom se proračunu za raspodjelu količina energije po vezama između nodova koristi nelinearni algoritam a kao parametri cijene računate u »prolazu prema gore«. Tako podijeljena energija za određeni nivo nodova smatra se kao potrebna energija za nodove koji su neposredno ispod razmatranoga. Na koncu se na dnu energetske mreže, znači u nodovima koji označavaju proizvodnju energije, dobivaju količine energije koje predstavljaju energiju potrebnu za promatranu godinu. Najčešće se količine energije procijenjene na početku procesa i količine energije dobivene »prolazom prema dolje« ne podudaraju. U sljedećem bi koraku, prema tome, trebalo na osnovi dobivenih rezultata ponovno procijeniti potrebne količine energije te s takvima najprije izračunati cijene u »prolazu prema gore« i količine u »prolazu prema dolje«. Kada je razlika između dobivenih količina energije u »prolazu prema dolje« i količina energije zadanih na početku iterativnog postupka unutar zadane granice tolerancije, tada se može reći da je postignuta ravnoteža između proizvodnje i potrošnje energije za promatranu godinu. Sljedeći korak jest proračun tokova energije za iduću godinu.

Rezultat analize u BALANCE-u jesu cijene i količine energije po energetskim vidovima na svim vezama između nodova za sve promatrane godine kojih može biti do 75. Ovakvo rješenje je, svakako, rezultat velikoga broja parametara i pretpostavaka koje planer zadaje kao ulazne podatke. S obzirom na relativno kratko vrijeme izvođenja programa, može se učiniti velik broj neovisnih analiza odnosno analiza osjetljivosti.

2.1.4. *IMPACTS-modul*

Za jednom zadanu energetsku mrežu, mogu se odrediti utjecaji na okoliš postrojenja za transformaciju energije te odgovarajući financijski efekti. U analizi utjecaja na okoliš uzimaju se u obzir postrojenja za proizvodnju i transformaciju energije, npr. rudnici, elektrane, rafinerije, naftovodi itd. kao i uređaji za transformaciju finalne potrošnje energije u korisne oblike energije. Ovim modulom moguće je odrediti utjecaj na okoliš od svakog nabrojanog postrojenja ili uređaja odnosno utjecaj na okoliš od svih zajedno. Pet najvažnijih funkcija modula IMPACTS jesu kako slijedi:

Planiranje izgradnje novih potrebnih postrojenja za transformaciju energije. Kao i ostali moduli ENPEP-a, tako i ovaj može raditi povezan s ostalima ili kao poseban program. Proračun počinje unošenjem podataka o postrojenjima energetskog sustava koji se sastoje od tehničkih podataka o postrojenjima i podataka o tijekovima energije za razdoblje do 75 godina. Podaci se mogu unositi izravno iz BALANCE-modula i iz ELECTRIC-modula, a mogu se unositi i ručno. S podacima o tijekovima energije IMPACTS-modul računa potrebnu izgradnju postrojenja. Npr., rezultati BALANCE-modula mogu pokazati da je u jednom razdoblju potrebno preraditi određenu količinu sirove nafte. Iz podatka o prosječnom kapacitetu rafinerija može se odrediti potreban broj rafinerija odnosno potrebna izgradnja kapaciteta za preradu sirove nafte. Iz tih se podataka zatim izračunava utjecaj na okoliš svake pojedine rafinerije odnosno svih rafinerija zajedno. Moguće je zatim analizirati primjenu kontrolnih uređaja za smanjenje emisije.

Analiza regionalnog utjecaja na okoliš. Svako postrojenje za transformaciju energije može se dodijeliti pojedinoj regiji koje definira planer. Također se svako novo potrebno postrojenje može dodijeliti pojedinoj regiji te na taj način analizirati utjecaj i raspodjelu različitih zagađenja u različitim dijelovima zemlje.

Izbor emisionih koeficijenata iz baze podataka. Jedan od najvećih problema u analizama utjecaja na okoliš jest odgovarajuća baza podataka. U ovom modulu ugrađena je baza podataka o energetskim vidovima »Generic Energy Database« (GED) i baza podataka o postrojenjima za transformaciju energije »Generic Facility Database« (GFD). Podaci iz tih dviju baze-podataka mogu, dakako, biti dopunjeni podacima koji vrijede u zemlji u kojoj se primjenjuje ovaj programski paket.

GED baza podataka sadržava informacije o različitim oblicima energije za koje se vrši analiza utjecaja na okoliš. Ovi podaci uključuju fizičke podatke, podatke o kemijskom sadržaju i cijenama koji variraju između energetskih vidova.

GFD baza podataka daje podatke o utjecaju tipičnih postrojenja za transformaciju energije na okoliš. Ti podaci uključuju sljedeće tipove utjecaja:

- zagađenje zraka
- zagađenje vode
- uporabu zemljišta
- čvrsti otpad
- radnu snagu i materijale
- zdravlje i sigurnost na radu.

Za svaki slučaj, informacije su dane za primjer bez kontrolnih uređaja i sa standardnim kontrolnim uređajima. Ukupno je moguće analizirati do 10 različitih kontrolnih tehnika za svaki tip utjecaja na okoliš. Tehnike primjene mogu biti dvojake: dodavanje uređaja za kontrolu emisije, npr. uređaja za odsumporavanje, ili mogu biti tehnološke prirode, npr. promjena pretička zraka radi promjene emisije NOx-spojeva.

Podaci u bazi podataka GFD normirani su prema veličini postrojenja, a daju se npr. u kg po jedinici potrošene energije, kg/GJ. Na taj način se omogućuje analiza emisija iz postrojenja koja nisu identične veličine kao ona navedena u bazi podataka GFD.

Prema tome, iz baza podataka GFD i GED uzimaju se podaci koji su najbliži po vrijednosti promatranim. Model zatim uzima te podatke i svodi ih na stvarne vrijednosti promatranog postrojenja i upotrijebljenog vida energije.

Primjena uređaja za kontrolu emisije. Na svako se postrojenje koje ima utjecaj na okoliš može primijeniti uređaj za kontrolu emisije kojim se taj utjecaj smanjuje. Tip uređaja ovisi o utjecaju na okoliš i o stupnju smanjenja tog utjecaja. Isto tako, uređaji mogu biti samo za određeni tip emisije ili kombinacija dvaju ili više tipova emisija, zatim se uređaji mogu primijeniti samo na određeni tip postrojenja ili veličinu, u određenom geografskom području, nakon određenoga datuma na nova ili postojeća postrojenja. Takva fleksibilnost omogućuje primjenu različitih kontrolnih programa.

Proračun utjecaja na okolinu. Kada su zadani koeficijenti iz GFD i GED baza podataka te kontrolni uređaji, IMPACTS-modul računa svaki traženi utjecaj na okoliš, i to sa kontrolnim uređajem i bez njega. Ovaj proračun ponavlja se za svaku emisiju za svaku godinu i za svako postrojenje u promatranoj analizi. Jedan od temeljnih rezultata ovog proračuna jest nekontrolirana emisija polutanata. Sljedeći korak jest primjena kontrolnih uređaja. Ako je planirana primjena kontrolnog uređaja, IMPACTS-modul najprije računa koji je od kontrolnih uređaja najpovoljniji za primjenu na osnovi različitih kriterija. Dva najbitnija jesu stupanj smanjenja emisije i cijena uređaja koja se računa iz kapitalnih troškova i troškova pogona i održavanja. U slučaju višestruke primjene kontrolnog uređaja (smanjenje emisije dva ili više polutanata), načelo odabira je slično. Kada je izabran kontrolni uređaj, IMPACTS vrši ponovni proračun emisije polutanata za sva postrojenja s kontrolnim uređajima za sve promatrane godine.

Glavni je rezultat, prema tome, emisija polutanata iz postrojenja energetskog sustava. IMPACTS-modul ne računa posljedice transporta polutanata, njihovo zbrinjavanje, utjecaj na populaciju i procjenu rizika.

2.1.5. *PLANTDATA-modul*

PLANTDATA-modul služi kao baza osnovnih podataka o postrojenjima elektroenergetskog sustava, termoelektrana i hidroelektrana, za module BALANCE i ELECTRIC s obzirom da oni zahtijevaju slične podatke o elektroenergetskom sektoru.

2.1.6. *MAED-modul*

»The **M**odel for **A**nalysis of **E**nergy **D**emand« (MAED) simulacijski je model kojim se projicira potrošnja energije za duže vremensko razdoblje. Matematički model bio je razvijen na University of Grenoble u Francuskoj i na njegovoj je osnovi onda napravljen i kompjutorski program u Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju.

MAED nudi alternativni pristup za procjenu potrošnje energije i električne energije. (Prvi pristup bio je MACRO-DEMAND-BALANCE-LDC). Temelji se na detaljnoj analizi finalne potrošnje energije za korisne oblike energije (toplina, rasvjeta). Porast potrošnje korisnih oblika energije ovisan je o brojnim parametrima, od kojih su najpoznatiji socioekonomski, npr. porast GDP-a, porast broja stanovnika; tehnički, npr. efikasnost uređaja za transformaciju finalne potrošnje energije u korisni oblik energije te parametri koji proizlaze iz energetske politike zemlje, npr. struktura energije potrebne za zadovoljenje potreba. MAED ima dodatne podmodule koji detaljnije analiziraju potrošnju električne energije i koji konvertiraju rezultate dobivene kao godišnje potrošnje u GWh u satna opterećenja iz kojih se onda mogu dobiti krivulje trajanja opterećenja potrebna kao ulazne veličine za ELECTRIC-modul.

2.1.7. *LDC-modul*

LDC-modul razvila je Mađarska elektroprivreda. Njegova svrha je dalja razrada podataka dobivenih iz MAED i BALANCE modula. Podaci potrebni za ovaj modul jesu ukupna očekivana potrošnja električne energije za promatrano razdoblje. Rezultati ovoga modula su sezonske karakteristike potrošnje električne energije.

LDC-modul može se koristiti na nekoliko načina, ovisno o razini znanja i potrebne obrade podataka. Najvažnija namjena LDC-modula jest priprema podataka za ELECTRIC-modul, posebno u slučajevima kada su dostupni podaci nepotpuni, a želi se napraviti projekcija potrošnje električne energije. Takav je primjer kada korisnik programa nema detaljnih podataka niti projekcija sezonskih krivulja trajanja opterećenja buduće potrošnje koje se međusobno razlikuju, dok su mu na raspolaganju samo faktori opterećenja koji su također različiti za različite godine. Drugi slučaj je kada se krivulje trajanja opterećenja predviđaju izvan ENPEP-a. U takvim slučajevima korisnik izravno unosi podatke o krivulji trajanja opterećenja.

2.1.8. *ELECTRIC-modul*

Velik broj alternativnih tehnologija s različitim ekonomskim i pogonskim karakteristikama tek je jedan od faktora koji razvoj i izbor novih kapaciteta čini kompliciranim. Duže razdoblje gradnje, neizvjestan faktor opterećenja, troškovi i raspoloživost goriva, trošak opreme za kontrolu emisije moraju biti uzeti u obzir kada planer odlučuje o broju, tipu i veličini proizvodne jedinice koja treba biti analizirana kao kandidat za izgradnju.

Namjena ELECTRIC-modula jest analiza postojećega elektroenergetskog sustava te planiranje izgradnje novih proizvodnih kapaciteta koji svojom proizvodnjom, uz određene zahtjeve i ograničenja, zadovoljavaju potrošnju električne energije uz minimalne troškove. Ovaj se program primjenjuje za dugoročne analize deset i više godina.

ELECTRIC je PC verzija »**W**ien **A**utomatic **S**ystem Planning **P**ackage« (WASP-III), koja je poznatija kao »main frame« verzija modela za planiranje razvoja elektroenergetskog sustava koju distribuira Međunarodna agencija za atomsku energiju.

ELECTRIC je opsežan program za dugoročno planiranje razvoja elektroenergetskog sustava koji simulira sva moguća stanja uzimajući u obzir postojeće ob-

jekte, objekte kandidate za izgradnju i objekte koje će u promatranom razdoblju trebati zatvoriti zbog dotrajalosti ili nekih drugih razloga. Nakon toga se uporabom dinamičkog optimiranja bira najpovoljnija struktura proizvodnih postrojenja, odnosno ona koja uz zadane parametre ima najmanje troškove. Pouzdanost proizvodnje električne energije mjerena je trima parametrima: marginalnom rezervom, vjerojatnošću gubitka snage i očekivanom neisporučenom energijom.

Razvoj elektroenergetskog sustava treba se promatrati u skladu s kretanjima u globalnoj ekonomiji, kretanjima u energetskom sustavu, posebno kada je riječ o strukturi izvora energije, cijenama različitih oblika energije, utjecaju pojedinih tehnologija i goriva na okoliš itd. Zbog toga je ELECTRIC-modul integriran u ENPEP zajedno s ostalim navedenim modulima, što omogućuje kompleksno spoznavanje i planiranje energetskog sustava. Iako ovaj program može raditi potpuno samostalno, podaci potrebni za ELECTRIC-modul mogu se dobiti iz ostalih modula, a, isto tako, rezultati ovog programa mogu se koristiti u ostalim modulima.

2.1.9. *ICARUS-modul*

Modul za istraživanje troškova i pouzdanosti elektroenergetskog sustava ICARUS »The module for **I**nvestigating **C**osts **A**nd **R**eliability in **U**tility **S**ystems« provodi potanku analizu pogona na razini proizvodnih jedinica i zapravo je proširenje simulacijskog algoritma WASP-a III (ELECTRIC-modula), i to onoga dijela koji takav nije mogao biti zbog dugoga vremena izvršenja programa. U prvom redu to je slučaj s ograničenjem proizvodnih jedinica. U WASP-u III maksimalan je broj jedinica koje je moguće modelirati 60 i maksimalan broj razdoblja unutar jedne godine 12, dok je u ICARUS-u maksimalan broj jedinica 600, a jednu je godinu umjesto na mjesece moguće podijeliti na tjedne.

Kombinacija ELECTRIC-a i ICARUS-a omogućuje izračunavanje dugoročnih marginalnih troškova (LRMC) i pouzdanosti elektroenergetskog sustava, odnosno sigurnosti opskrbe potrošača za različite godine i konfiguracije.

LITERATURA

[1] B. P. HAMILTON, R. R. CIRILLO and W. A. BUEHRING, »ENPEP — An Integrated Approach to Energy Planning«, International Symposium on Energy, Environmental and Information Management, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, USA, September 15—18, 1992.

[2] »Interregional training course on electricity demand forecasting for nuclear power planning (MAED)«, Materijali sa tečaja održanog u »Argonne National Laboratory«, Argonne, Illinois, SAD

[3] »Regional training course on integrated energy and electricity planning for nuclear power development with emphasis on the ENPEP package«, Materijali sa tečaja održanog u Paks, Mađarska

[4] »Interregional training course on electric system expansion planning (WASP)«, Materijali sa tečaja održanog u »Argonne National Laboratory«, Argonne, Illinois, SAD.

ASSISTANCE OF INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) IN THE IMPROVEMENT OF ENERGY SECTOR IN DEVELOPING COUNTRIES

This paper describes the activities of the International Atomic Energy Agency related to development and improvement of energy sector in developing countries. ENPEP program package, being one of most accepted programs of this type world-wide is also described. This is a program package which analyses the entire energy system, from energy resources (supply side) to end users (consumption side). ENPEP is of modular design and this paper briefly presents all individual ENPEP modules.

DIE FÖRDERUNGSHILFE AN DIE ENTWICKLUNGSLÄNDER IM BEREICH ENERGIE SEITENS DER INTERNATIONALEN COMISSION FÜR KERNENERGIE (IAEA)

Im Artikel wurden die Tätigkeiten der Internationelen Comission für Kernenergie im Bezug auf den Ausbau und die Förderung der Entwicklungsländer im Bereich Energie dargestellt. Daneben ist das Programm-Paket ENEP einer von den weltweit meist angenommenen Programme dieser Art beschrieben. Dieser Programm-Paket analysiert den ganzen energetischen System, von den Energiegebern (seitens der Erzeugung) bis zu den Endnutzern (seitens des Verbrauches). ENEP ist ein Programmpaket vom modularen Typ und im Artikel sind alle einzelnen Module dieses Pakets kurz beschrieben.

Naslov pisaca:

Goran Slipac, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Sektor za razvoj
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37,
Hrvatska
Mr. Mladen Zeljko, dipl. ing.
Energetski institut »Hrvoje Požar«
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37,
Hrvatska
Boris Makšijan, dipl. ing.
Ministarstvo gospodarstva,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 78,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995-07-27

ELEKTROENERGETSKA BILANCA REPUBLIKE HRVATSKE

Potkraj ožujka Vlada Republike Hrvatske prihvatila je energetsku bilancu za 1995. godinu. Elektroenergetska bilanca kao dio energetske bilance utvrđena je sa sljedećim veličinama na mreži prijenosa:

Elementi elektroenergetske bilance	Električna energija GWh
Plan potreba 1. distribucijski potrošači	9 962
2. veliki potrošači	708
3. gubici prijenosa	352
Plan ukupne potrošnje (1+2+3)	11 022
4. vraćanje duga Europi	100
Plan ukupnih potreba (1+2+3+4)	11 122
Plan raspoložive električne energije:	
hidroelektrane	4 332
NE Krško (50%)	2 145
termoelektrane	2 763
— TE-TO	737
— TE na tekuće gorivo	1 731
— TE na plin	95
— dizelske elektrane	200
Plan ukupne proizvodnje	9 240
Uvoz	1 882
Ukupno raspoloživo	11 122

Za planiranu proizvodnju termoelektrana potrebno je osigurati:

— loživog ulja 544 000 tona
— prirodnog plina 400 200 000 m³
— dizelovoga goriva 54 200 tona

Za elektrane u hladnoj rezervi potrebno je osigurati ove zalihe goriva:

— TE Plomin 100 000 tona ugljena (dobava iz inozemstva)
— dizelske i plinske elektrane (Slavonija i Dalmacija) 50 000 tona dizelskoga goriva.

SBK

KREDIT EUROPSKE BANKE ZA OBNOVU I RAZVOJ

Europska banka za obnovu i razvoj (EBRD) i niz drugih međunarodnih financijskih institucija aktivno potpomažu svojim sredstvima procese opsežnih gospodarskih promjena u postsocijalističkim zemljama tijekom posljednjih pet godina. Europska banka za obnovu i razvoj podupire razvoj privatnog sektora i projekte privatizacije i restrukturiranja državnog i javnog sektora. Tako je u veljači ove godine potpisan u Londonu Garantni i Kreditni ugovor između ove banke, Hrvatske elektroprivrede i Vlade Republike Hrvatske na iznos 63 000 000 DEM za »Projekt obnove elektroenergetske mreže«. Kredit je namijenjen za obnovu distribucijske mreže na području koje je bilo zahvaćeno ratom, te za reformu energetskog sektora. Trajanje kredita je 10 godina s otplatom tijekom 7 godina i uz odgodu plaćanja 3 godine. Nabavu opreme koordinirat će Europska banka radi osiguranja povoljnih rokova isporuke, kvalitete i funkcionalnosti cjelokupnog projekta obnove elektroenergetske mreže.

Dio iznosa kredita namijenjen je za konzultantske usluge i izradbu studija. Formira se konzultantski tim iz inozemstva koji se sastoji od voditelja projekta, savjetnika za provedbu ugovora o kreditu, dva savjetnika za elektrotehniku i elektrostrojarstvo, savjetnika za upravljanje elektroenergetskim sustavom, savjetnika za telekomunikacije, te financijskog stručnjaka. Ovaj tim pomoći će Hrvatskoj elektroprivredi u provedbi procedura tijekom realizacije kredita i obavljati nadzor ostvarenja tih procedura.

Predviđa se izradba četiriju studija:

— o institucionalnom položaju Hrvatske elektroprivrede u energetskom sektoru
— programa prioriteta investicija,
— tarifne studije, te
— financijsko-računovodstvene studije.

Studijama treba utvrditi institucionalni položaj Hrvatske elektroprivrede u razvoju energetike Republike Hrvatske, tarifnu politiku i program prioriteta investicija, te upravljanje financijskim i računovodstvenim sustavom Hrvatske elektroprivrede. Tako bi se dobile smjernice za utvrđivanje prioriteta pri investiranju u razvoj elektroenergetskog sustava na načelu minimalnih troškova. Analizom i ocjenom sadašnjeg stanja energetskog sektora Republike Hrvatske spoznat će se potrebe i identificirati troškovno optimalne investicije koje su potrebne za zadovoljavanje dugoročnih potreba elektroenergetskih i toplinskih potrošača u zemlji. Rezultat istraživanja tarifa bit će preporuke za uspostavljanje prikladne tarifne strukture za električnu energiju, koja će omogućiti različitim jedinicama Hrvatske elektroprivrede rad na profitnoj osnovi i privlačenje privatnih investicija. Glavni cilj je utvrditi ukupan prihod Hrvatske elektroprivrede koji će biti dovoljan za pokrivanje njezinih pogonskih i financijskih troškova plus troškova budućih investicija, zatim koji će osigurati tarifnu strukturu kojom će biti definiran odnos troškova korištenja za svaku potrošačku grupu i tarifnu kategoriju, te osposobiti službenike Ministarstva gospodarstva i različitih poduzeća u energetskom sektoru za primjenu upotrijebljene metodologije.

Za izradbu programa prioriteta investicija odabrana je francuska elektroprivreda — EDF, koja je za domaćeg konzultanta odabrala Energetski institut »Hrvoje Požar«.

SBK

IZMJENE I DOPUNE ZAKONA O GRAĐENJU

U Narodnim novinama br. 77/92. objavljen je osnovni Zakon o građenju. Nakon toga uslijedile su dopune u Narodnim novinama br. 82/92. i 26/93. Zadnje izmjene i dopune objavljene su kao Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o građenju u Narodnim novinama br. 33/93. Većina zadnjih izmjena i dopuna odnosi se na jezične korekcije i novčane kazne za nepridržavanje ovog zakona.

SBK

STATISTIČKI PODACI O PROIZVODNJI I POTROŠNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE TE OSTVARENOJ PROIZVODNOJ CIJENI U HRVATSKOJ ELEKTROPRIVREDI U 1994. GODINI

U tijeku 1994. godine elektroenergetski sustav Republike Hrvatske osigurao je iz izvora u Republici Hrvatskoj 7 457 GWh električne energije. Uvezeno je izvan teritorija bivše Jugoslavije 2 092 GWh, a na temelju zajedničkih ulaganja s Republikom Slovenijom iz NE Krško 2 195 GWh.
U termoelektranama i plinskim elektranama utrošeno je 37 816 tona kamenog ugljena, 456 364 tone mazuta i 531 milijuna m³ zemnog plina.

ZAŠTITA OKOLIŠA

Zaštita okoliša regulirana je dvama zakonima: Zakonom o zaštiti okoliša i Zakonom o zaštiti zraka. U studenom 1994. godine usvojen je Zakon o zaštiti okoliša. Prema ovom Zakonu posebnim propisima trebaju se regulirati:

a) u roku 6 mjeseci:
- uvjeti koje moraju ispunjavati pravne osobe za obavljanje ove djelatnosti
- zahvati za koje je potrebna procjena utjecaja na okoliš, sadržaj, rok i način izrade studije o utjecaju na okoliš
- vođenje katastra onečišćavanja okoliša
- znak zaštite okoliša

Tablica 1. Proizvodnja, uvoz, nabava, utrošak, izvoz, prodaja i gubici električne energije

	Elementi elektroenergetske bilance	Električna energija, MWh	Instalirana snaga, kW	Vrijednost u kunama
I.	*Proizvedena električna energija na generatoru i instalirana snaga elektrana*	7 689 057	3 961 200	
	a) hidroelektrane b) male elektrane c) termoelektrane i dizelske elektrane	4 859 574 59 474 2 770 009	2 044 400 13 800 1 903 000	
II.	*Vlastita potrošnja*	231 619		
	a) u hidroelektranama b) u malim elektranama c) u termoelektranama	28 732 1 002 201 885		
III.	*Proizvedena električna energija na pragu*	7 457 438		
	a) hidroelektrane b) male elektrane c) termoelektrane i dizelske elektrane	4 830 842 58 472 2 568 124		
IV.	*Proizvodnja industrijskih elektrana — ukupno*	17 577		
V.	*Uvezena električna energija — ukupno*	4 552 306		
	a) izvan teritorija bivše Jugoslavije b) iz drugih republika bivše Jugoslavije c) uvoz na temelju zajedničkih ulaganja s republikama na teritoriju bivše Jugoslavije — NE Krško	2 092 337 264 262 2 195 707		
VI.	*Izvoz električne energije — ukupno*	988 080		
	a) izvan teritorija bivše Jugoslavije b) iz drugih republika bivše Jugoslavije c) uvoz na temelju zajedničkih ulaganja s republikama na teritoriju bivše Jugoslavije — NE Krško	442 399 545 681 —		
VII.	*Gubici prijenosa (gubici na mreži)*	359 642		
VIII.	*Ukupno raspoloživa električna energija*	10 679 599		
IX.	*Ukupno utrošena električna energija*	10 679 599		4 278 274 901
	a) direktni potrošači b) distribucija	796 162 9 883 437		197 991 961 4 080 282 940
X.	*Gubici distribucije*	1 223 602		—

Tablica 2. Utrošak goriva za proizvodnju električne energije

	Vrsta goriva	Jed. mjere	Količina	Toplinska vrijednost TJ
1.	kameni ugljen	t	37 816	918
2.	mazut	t	456 364	18 151
3.	zemni plin	tis. m³	531 593	17 722
4.	ostali plinovi	tis. m³	1 541	27

SBK

— postupak, način i uvjeti za dodjelu priznanja i nagrada
— javnost podataka o okolišu, te
— inspekcija.

b) u roku od 2 godine:
— standardi zaštite okoliša
— praćenje stanja okoliša (monitoring)
— informacijski sustav zaštite okoliša
— planovi intervencije u zaštiti okoliša
— označavanje proizvoda i ambalaže
— ekonomski poticaji, te
— odgovornost za onečišćavanje okoliša.

Do usvajanja novih propisa primjenjuje se Pravilnik o izradi studije o utjecaju na okolinu.
Sredinom srpnja ove godine usvojen je Zakon o zaštiti zraka. Usvajanjem ovog Zakona prestaje vrijediti Osnovni zakon o zaštiti zraka od onečišćenja iz 1971. godine (Narodne novine 52/71). Za ono što ovim zakonom nije regulirano primjenjuje se Zakon o zaštiti okoliša iz 1994. godine (Narodne novine 82/94).
Zakonom o zaštiti zraka određuju se mjere, način organizacije i provođenja zaštite i poboljšanja kakvoće zraka kao dijela okoliša.
Zaštita zraka od onečišćavanja prouzročenih radioaktivnim tvarima, tehnološkim nesrećama i elementarnim nepogodama uređuje se posebnim zakonima.

SBK

ZAHTJEVI ZA STATIČKA BROJILA DJELATNE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Pravilnikom o mjeriteljskim zahtjevima za statička brojila djelatne električne energije (Narodne novine br. 42/95) propisuju se mjeriteljski zahtjevi koje moraju zadovoljiti statička (elektronička) brojila djelatne električne energije izmjenične struje razreda točnosti 1 i 2. Definirani su pojam brojila, normirane osnovne struje (IEC 185), vrijednosti normiranih referentnih napona (IEC 38, IEC 186), fizikalni uvjeti radne okoline, način i uvjeti ispitivanja brojila (IEC 529), te popis podataka koji moraju biti navedeni na natpisnoj pločici.

SBK

ZAHTJEVI ZA UKLOPNE SATOVE

Umjesto Pravilnika o metrološkim uvjetima za uklopne satove (Narodne novine br. 53/91) izašao je Pravilnik o mjeriteljskim zahtjevima za uklopne satove unutarnje ugradnje za upravljanje tarifom i potrošnjom električne energije, više tarifnim registrima i pokazivačima najveće vrijednosti u određene dane i sate tijekom godine. Ovaj pravilnik objavljen je u Narodnim novinama br. 42/95.
Pravilnikom su definirani pojam i naziv uklopnog sata s obzirom na glavnu vremensku osnovu, nazivni napon i granična područja rada i nazivne isklopne struje. Također su definirani izgled i mehanička svojstva uklopnih satova, fizikalna svojstva radne okoline, popis podataka i oznaka koje moraju biti upisane na natpisnoj pločici te uvjeti ispitivanja.

SBK

PRAVILNIK O ZAŠTITI NA RADU U HEP-u

Interna tipizacija i normizacija u HEP-u nastavlja se izradbom granskih normi iz područja zaštite na radu. Tako je u skladu sa zakonskim odredbama načinjen osnovni Pravilnik o zaštiti na radu u Hrvatskoj elektroprivredi i usvojen početkom kolovoza 1991. godine (Bilten HEP br. 4). Nakon toga uslijedile su izmjene i dopune ovog Pravilnika, te je kao pročišćeni tekst Pravilnik objavljen u Biltenu HEP br. 11 u kolovozu 1992. Uz njega su usvojeni i objavljeni prilozi:

1. Nabava, korištenje i održavanje osobnih zaštitnih sredstava,
2. Osposobljavanje djelatnika za rad na siguran način,
3. Nabava, održavanje i ispitivanje oruđa za rad i zaštitne opreme.

U tijeku 1992. i 1993. godine usvojena su još tri priloga, također objavljena u biltenima HEP-a:

4. Pravila i mjere sigurnosti pri radu na elektroenergetskim postrojenjima (Bilten HEP br. 12),
5. Evidencije, isprave i nadzor iz zaštite na radu (Bilten HEP br. 35),
6.a. Pravilnik o zaštiti na radu u javnom poduzeću HEP (Direkcija za upravljanje i prijenos) (Bilten HEP br. 24).

U ovoj godini usvojen je Pravilnik o dopuni Pravilnika o zaštiti na radu u Hrvatskoj elektroprivredi i objavljen u Biltenu HEP-a br. 43. Osim dopuna usvojen je prilog br. 6.b — Poslovi s posebnim uvjetima rada u distribuciji električne energije i utvrđivanje sposobnosti za njihovo obavljanje, te je objavljen u Biltenu bez broja od 10. ožujka 1995.

SBK

TIPIZACIJA BETONSKIH STUPOVA NISKONAPONSKE MREŽE

Sukladno osnovnom cilju tipizacije elemenata elektroenergetskog sustava nastavlja se rad na internoj normizaciji. Usvojena je još jedna granska norma: Tipizacija betonskih stupova niskonaponske mreže, kojoj je svrha povećanje kakvoće betonskih stupova za gradnju niskonaponskih mreža i smanjenje troškova njihove izradbe i ugradnje.
Tehnička rješenja dana u ovoj normi odnose se na izgradnju mreža niskog napona sa samonosivim kabelskim snopom i golim vodičima primjenom normiranoga ovjesnog pribora. Tu je uključeno i tipizirano rješenje javne rasvjete kakvo se izvodi u sklopu niskonaponske mreže. Ova tipizirana rješenja betonskih stupova omogućuju ugradnju telefonske i signalne mreže na istom stupu uz energetsku mrežu uz primjenu normiranoga ovjesnog pribora i odgovarajućeg izbora tipskih stupova.
Ovom normom definirani su tipovi armiranobetonskih stupova okrugle izvedbe proizvedenih postupkom centrifugiranja, koji se već primjenjuju u Hrvatskoj elektroprivredi. Također su utvrđene preporuke za proizvodnju, rukovanje, projektiranje i primjenu betonskih stupova u niskonaponskoj mreži. Tipizacijom su propisani i tehnički normativi kakvoće materijala, konstrukcije i izradbe, kao i postupci osiguranja kakvoće takvih stupova.

SBK

TEHNIČKI UVJETI ZA IZRADBU I IMPREGNACIJU DRVENIH STUPOVA ZA NADZEMNE ELEKTROENERGETSKE VODOVE

Budući da još nisu usvojeni nacionalni standardi, ovom granskom normom (Bilten HEP br. 48/95) usklađuju se norme za izradbu drvenih stupova za nadzemne elektroenergetske vodove s europskim normama.

Norma obuhvaća osim općih uvjeta za zaštitu drveta i tehničke uvjete za izradbu drvenih stupova za nadzemne elektroenergetske vodove.

Ovom normom definirani su:

— tehnički uvjeti za preuzimanje neimpregniranih drvenih stupova
— uvjeti za rušenje i skladištenje stabala za stupove
— dimenzije stupova
— ograničavajući čimbenici kakvoće drvenih stupova pri odabiru i primarnoj mehaničkoj obradbi stupova
— gustoća drva i mjerenje gustoće drva
— vlaga drva stupova i mjerenje sadržaja vode u drvu, te
— dodatna mehanička obradba stupova (perforacije).

Osim toga definirani su i tehnički uvjeti za impregnaciju koji se odnose na:

— uređaje za impregnaciju
— postupak impregnacije, te
— kemijska zaštitna sredstva za impregnaciju.

Također je definirana i ugradba stupova kojom su obuhvaćeni:

— postupci pri ugradbi stupova
— evidencija o ugrađenim stupovima
— evidencija o stanju i zamjeni dotrajalih stupova, te
— postupak određivanja dotrajalosti ugrađenih stupova.

Na kraju je definirana reimpregnacija stupova, kojom se propisuje priprema stupova, postupak reimpregnacije, zaštitno sredstvo za reimpregnaciju i kontrola reimpregnacije stupova.

SBK

PREPORUČENA OPTEREĆENJA DRVENIH STUPOVA ZA VODOVE SREDNJEG NAPONA

Granska norma »Preporučena opterećenja drvenih stupova za vodove srednjeg napona« obuhvaća jednostruke nosive (linijske) i »A« stupove, izrađene od drveta za vodove srednjih napona. Obuhvaćene su sve klimatske zone. Preporučene veličine prikazane su u tablicama, a odnose se na:

— karakteristike tla za proračun temelja
— podatke za stupove
— dopuštene sile stupa i temelja stupa za razne tipove stupova
— površinu temeljne konstrukcije raznih tipova stupova.

Rezultatima iz tablica treba se koristiti pri projektiranju novih i održavanju postojećih srednjonaponskih vodova kao zamjenom za statički proračun.

Ova granska norma objavljena je u Biltenu HEP br. 47/95.

SBK

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

NAJSNAŽNIJA PELTONKA NA SVIJETU

Konzorcij pod vodstvom tvrtke Bell-Escher-Wyss A.G. ugovorio je izradbu i montažu Peltonove turbine najveće snage na svijetu. Izrađene će biti tri jedinice nešto veće snage od 420 MW, za hidroelektranu Bieudron u kompleksu »Cleuson-Dixencell«.

Prema predračunu posao je procijenjen na 50 milijuna CHF. Ta će snaga uvećati snagu elektrane Grande Dixance više nego dvostruko (o proširenju HE G. D. vidi Energija, god. 43(1994), br. 1), što je velik doprinos povećanju zimske vršne energije.

Zbog ekstremno visokog pada od 1869 m, brzina vode pri istjecanju iz sapnica turbine iznosit će 690 km/h. Svaka će lopatica dobiti 35 puta u sekundi mlaz vode iz 5 sapnica. Time se dobiva tolika snaga kao da se 35 puta na lopaticu stavi lokomotiva i isto toliko puta rastereti. Konstruiranje takvoga snažnog stroja moguće je samo zahvaljujući bogatim iskustvima, modernim računskim metodama uz pomoć elektroničkih računala.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 4

Mrk.

RAZVOJ LITIJSKIH BATERIJA

Njemačko Savezno ministarstvo za obrazovanje, znanost i istraživanje i tehnologiju odobrilo je zahtjev da se razvija baterijski sustav na bazi litija za elektrovozila. Raspolaže se svotom od 14 milijuna DM u okviru razvojnog programa »Novi materijali za ključne tehnologije 21. stoljeća« (Ma-Tech). Predviđeno je trajanje projekta od 4 godine. U projektu surađuju najpoznatije tvrtke za izradbu baterija i studija Sunčeve energije uz pratnju automobilske industrije.

Glavni cilj istraživanja jest povećanje specifične snage i trajnosti litijskih baterija, te skraćenje punjenja i smanjenje samopražnjenja.

Da se poveća vršna snaga i rezerva za ubrzanje vozila, predviđen je osim litijske baterije i superkapacitor na bazi litija. Kratkotrajnim akumuliranjem energije kočenja u superkapacitoru smanjuje se broj nabijanja i produžuje životni vijek baterije.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 4

Mrk.

SMANJENJE POTROŠKA GORIVA U ELEKTRANAMA ZAPADNOG DIJELA NJEMAČKE

Tehnički napredak u posljednjih 40 godina donio je znatnu uštedu primarne energije u proizvodnji struje. To se vrlo dobro vidi iz statističkih podataka o potrošku goriva u termoelektranama na fosilna goriva u zapadnom dijelu Njemačke. Razlika potroška ekvivalentnog ugljena za proizvodnju 1 kWh iznosi od godine 1953. do 1993. oko 40%.
Za 1 kWh utrošeno je toliko kilograma ekvivalentnog ugljena kako slijedi po desetljećima:

Godine	1953.	0,569	kg ekv. ugljena
	1963.	0,413	kg ekv. ugljena
	1973.	0,361	kg ekv. ugljena
	1983.	0,350	kg ekv. ugljena
	1993.	0,347	kg ekv. ugljena

Time su obuhvaćene sve termoelektrane na pogon ugljenom, naftom i zemnim plinom koje su u 1993. proizvele 202 TWh električne energije. Da nije postignuta navedena ušteda, elektrane bi morale utrošiti 45 milijuna tona ekv. ugljena više.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 3

Mrk.

KORISNOST FOTOVOLTAIČKIH ĆELIJA DO 43%

Istraživači Max-Planckova instituta u Stuttgartu zaključili su na temelju pokusa i teorijskih razmatranja da je teorijski moguća maksimalna korisnost fotovoltaičkih ćelija od 43%, što je znatno više od 30% koliko se procijenilo do sada. Povećanje bi se postiglo time da se omogući širem spektru Sunčeva zračenja pokretanje elektrona. Do praktične izvedbe takvih ćelija potrebno je još mnogo istraživačkog rada. Institut u Stuttgartu uspio je proizvesti tankoslojne ćelije (0,2 mm) od monokristalnog silicija s korisnosti 17%, no čini se da se ta korisnost još poveća. Istraživanja na razvoju fotovoltaičkih ćelija obilno potpomaže njemačko savezno ministarstvo za razvoj i tehnologiju. Posljednjih 20 godina izdalo je za tu svrhu oko milijardu DM. Sada se godišnje raspolaže svotom od 80 milijuna DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 3

Mrk.

ISTRAŽIVANJA OBNOVLJIVE ENERGIJE

Njemačko savezno ministarstvo za istraživanje i tehnologiju predvidjelo je u 1994. godini 360 milijuna DEM za istraživanja u području obnovljive energije i racionalne energetske primjene.
Državna je pripomoć dana za »Vjetreni program« od 250 MW, kao i za opremu 2 250 kuća fotovoltaičkim uređajima. No programi kao ovaj program od 100 000 krovova solarne struje pokazao se kontraproduktivnim. Pri cijeni od 2 500 DEM za jedan uređaj država bi morala izdati nekoliko milijardi DEM da takav program potpomogne. Time pak ne bi smanjila troškove, glavnu manu solarnih ćelija. Ipak je u programu 1 000 krovova 4 000 građana bilo spremno da dade svoj ulog od 8 000 DEM.
Daljnji put za uštedu energije jest povećanje učinkovitosti postojećih elektrana. Na primjer, pri povišenju stupnja djelovanja od 1% elektrane od 800 MW, ložene ugljenom, dobilo bi se toliko energije kao površinom od 1,1 km² solarnih ćelija.

ETZ, god. 116(1995), br. 2

Mrk.

ŠTEDNJA ENERGIJE ELEKTRIČNOM STRUJOM

Povećana uporaba električne energije može dovesti do uštede ukupne količine energije i time rasteretiti okoliš. Uštedi energije pridonose dva mehanizma. Aparati koji troše mnogo manje energije od svojih prethodnika, npr. današnji kućanski aparati, i zamjena manje ekonomičnih energenata električnom energijom. Električne toplinske pumpe koje se koriste izlaznim zrakom iz stočarskih farmi i služe za zagrijavanje prostorija, štede 40% primarne energije, a time raspolovljuju emisiju ugljičnoga dioksida u usporedbi s drugim sustavima grijanja. Velike se mogućnosti pružaju pri promjeni grijanja stanova toplinskim pumpama. Daljnje se mogućnosti štednje energije pružaju pri obradbi laserom ili plazmom u industriji, kao i elektrifikacijom željeznica.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 2

Mrk.

NAPREDAK U TEHNOLOGIJI IZRADBE ČIPA

Prije 22 godine moglo se na jedan element elektroničkog računala od 4-kbita prenijeti tekst od 1/4 strojem pisane stranice. Danas se već rade takvi elementi od 64-Mbita, dovoljni da prime 4 000 strojem pisanih stranica. Proizvođači razvijaju elemente od 256 Mbita koji bi godine 2000. mogli izaći na tržište. Time bi čip površine nokta mogao primiti 16 000 stranica. Razvoj i proizvodnju ne može voditi jedan sam proizvođač, pa se stvaraju savezi koji će onemogućiti monopol jednog proizvođača. Izradba poluvodičkih elemenata i njihovo korištenje koncentrirano je u SAD i u azijskoj regiji. Južna Koreja je najveći proizvođač čipova, u Tajvanu se proizvode mnogi personalni kompjutori, a u Singapuru poluvodiči.
Europski proizvođači imaju 9% udjela na svjetskom tržištu. Europa ima jaku skupinu kupaca, npr. u strojogradnji i telekomunikacijama, ali nema velikih proizvođača elektroničkih računala i konzumne elektronike. Zbog toga se 50% do 70% poluvodiča uvozi. Do 2000. godine europski će proizvođači povećati svoj udio na tržištu na 15%.
Zanimljivo je pogledati kako su rasle mogućnosti jednog elementa-čipa po godinama.

1973.	4 kbit,	mogućnost spremanja teksta	1/4 stranice
1976.	16 kbit,	mogućnost spremanja teksta	1 stranice
1982.	256 kbit,	mogućnost spremanja teksta	16 stranica
1989.	4 Mbit,	mogućnost spremanja teksta	256 stranica
1995.	64 Mbit,	mogućnost spremanja teksta	4 000 stranica
2000.	256 Mbit,	mogućnost spremanja teksta	16 000 stranica

ETZ, god. 116(1995), br. 2

Mrk.

JAPAN SMANJUJE IZDATKE ZA ISTRAŽIVANJA

Prvi put nakon 40 godina japanski su izdaci za istraživanja smanjeni prema izdacima u prethodnoj godini. U proračunskoj godini, koja je završila potkraj ožujka 1994, utrošeno je za istraživanja 216 milijardi DEM, a to je za 1,4% manje od prethodne godine. To smanjenje dolazi odatle što je industrija koja u ukupnoj svoti sudjeluje sa 78,3% smanjila svoj ulog za 5,3%. Naprotiv, sveučilišta su za istraživanja ut-

rošila 7% više. Godine 1992. Japan je bio po izdacima za istraživanja prvi u svijetu, a za njim su slijedili Švedska, SAD, Njemačka, Francuska, Velika Britanija, Nizozemska i Danska.

ETZ, god. 116(1995), br. 3

Mrk.

RUSIJA NASTAVLJA GRADITI NUKLEARKE U IRANU

Prije 20 godina Njemačka je počela graditi u Iranu nuklearnu elektranu. Građevinski su radovi završeni 80%, ali reaktorski dio i ostala oprema nisu isporučeni zbog iranske revolucije 1979. godine. Sad su Iranska atomska uprava i rusko Ministarstvo za nuklearnu energiju zaključili ugovor vrijedan 1,25 milijardi DEM da se završi reaktorski blok i elektrana snage 1 000 MW. Kako ruski stručnjaci nisu upoznati s prijašnjim planovima izgradnje u pitanju je realizacija ovog ugovora. Prema dosadašnjoj suradnji Njemačke i Rusije na sigurnosnim uređajima ruskih nuklearnih elektrana nije moguće da Rusi mogu potpuno završiti ovakvo postrojenje.

ETZ, god. 116(1995), br. 3

Mrk.

TRŽIŠTE SOFTVERA

Računa se da će tržište softvera i programskih paketa sljedećih godina rasti prosječno 14% godišnje. Godine 1998. mogla bi njihova prodaja dosegnuti 100 milijardi dolara. Struktura ponuđača jedva da se mijenja. U tom su najjači u svijetu SAD i Kanada, koje daju 79% svjetske proizvodnje softvera, a samo s 39% sudjeluju u kupnji. Europa ima udio u proizvodnji 16%, područje Pacifika 4%, a sav ostali svijet 1%. Europa, naprotiv, kupuje 42%, pacifičko područje 14%, a ostali svijet 5% svjetske proizvodnje.

ETZ, god. 116(1995), br. 4

Mrk.

OPORAVAK JAPANSKE ELEKTRONSKE INDUSTRIJE

Recesija japanske elektronske industrije je prebrođena. Proizvodnja je prvi put nakon 3 godine u 1994. porasla za 2%, tj. na 346 milijardi DEM. Povećala se prodaja u zemlji, a i potražnja u inozemstvu, među ostalima za procesorima i plosnatim ekranima. Japanci u 1995. računaju s porastom od 2,2%. Vrijednost proizvodnje električnih aparata pala je u 1994. za 9,7%, jer mnoga poduzeća njihovu izradbu povjeravaju zemljama s jeftinom radnom snagom. Porast proizvodnje bilježe proizvođači elektroničkih računala i opreme (+5,5%), ekrana iz tekućeg kristala (+38,5%) te integriranih krugova (+13,5%).
U prošlim se godinama japanska elektronska industrija temeljito promijenila. Proizvodi se prije svega visokovrijedna industrijska oprema i komponente. Audioуređaji i videouređaji čine tek 13% ukupne proizvodnje.

ETZ, god. 116(1995), br. 4

Mrk.

U NJEMAČKOJ JOŠ NIJE OJAČALA KONJUNKTURA ZA KUĆANSKE APARATE

U njemačkoj industriji kućanskih elektroaparata još se u 1995. ne opaža oporavak. Nazadak u 1994. godini iznosio je 1%. Unutarnja prodaja smanjena je za 2%, a najviše su pogođeni mali elektroaparati čija se prodaja smanjila za 7%. Izvoz je u 1994. povećan za 1,5%. Njemački udio na europskom tržištu iznosi 37%. Uvoz u Njemačku povećan je pak za 3%. Proizvođači kućanskih elektroaparata u Njemačkoj računaju da će se u 1995. smanjiti prodaja u zemlji za 2%, a povećati izvoz za 2,5%.

ETZ, god. 116(1995), br. 4

Mrk.

POTROŠNJA ENERGENATA S CO_2 I BEZ NJEGA

Uporaba energenata kao što su ugljen, nafta i zemni plin ima kao posljedicu veliku emisiju ugljičnoga dioksida. Naprotiv, vodna i nuklearna energija troše se bez takve emisije.
Klimatolozi okrivljuju upravo CO_2 kao glavnog uzročnika efekta staklenika, pa mnoge države imaju različite strategije da umanje njegovo ispuštanje u atmosferu. Zanimljivo je promatrati koji je udio energenata u utrošenoj primarnoj energiji sa CO_2, a koji bez po pojedinim državama:

	Udio u %	
Država	sa CO_2	bez CO_2
Švedska	47	53
Norveška	54	46
Francuska	58	42
Švicarska	63	37
Finska	72	28
Mađarska	74	26
Španjolska	82	18
Japan	84	16
Austrija	87	13
Njemačka	88	12
SAD	90	10
V. Britanija	91	9
Rusija	94	6
Indija	96	4
Italija	97	3
Kina	98	2
Nizozemska	99	1

U prosjeku fosilni energenti pokrivaju 90% svjetskih potreba za energiju.
Iz tablice proizlazi da i zemlje bogate hidroenergijom i one s velikim brojem nuklearki imaju u svojoj energetskoj bilanci veliki udio energenata sa ugljičnim spojevima.

ETZ, god. 116(1995), br. 5

Mrk.

REAKTIVIRANA SOLARNA ELEKTRANA U KALIFORNIJI

Elektroprivredno poduzeće Southern California Edison izgradilo je sedamdesetih godina u pustinjskom području Kalifornije prototipnu solarnu elektranu. Uređaj ima 1 800 zrcala ukupne površine 40 m², koji su montirani na 80-metarskom tornju i kompjutorski upravljani. Termička je snaga uređaja 42 MW. Koncentriranom sunčanom toplinom proizvodi se vodena para za turbinu, koja pokreće generator snage 10 MW. Elektrana je zaustavljena 1986. jer nije

mogla konkurirati elektranama na fosilna goriva. Prema novom rješenju umjesto vodene pare upotrijebit će se kalijeva sol u tekućem stanju pri temperaturi 700 °C. Sol, zbog svoga visokoga toplinskoga kapaciteta ima tu prednost da čuva raspoloživu energiju za noć i oblačne dane. Količina od 3 600 t soli omogućuje generatoru rad još 4 sata nakon zalaska sunca.

ETZ, god. 116(1995), br. 5

Mrk.

UŠTEDA ENERGIJE KUĆANSKIH APARATA

Budući da se u Njemačkoj u privatnom sektoru troši 27% od ukupne godišnje konačno utrošene energije, moguća ušteda ovdje može biti vrlo značajna. Jedan od načina štednje jest uporaba velikih kućanskih aparata moderno konstruiranih za štednju energije. One doduše traže veće investicije, ali, gledajući na dulje razdoblje, energetske su uštede znatne. Na primjer, elektroprivredno poduzeće iz Frankfurta, u sklopu programa uštede energije (ES), dotira kupnju svakoga štednoga kućnog aparata sa 100 DEM.
Ukupno je za dvije godine za 50 000 aparata izdano 5,8 milijuna DEM, ali, kako tvrde u poduzeću, time je nastala energetska ušteda od 6,1 milijun kWh.
Iako se u Njemačkoj priključi na mrežu 500 novih stambenih jedinica, potrošak u kućanstvu porastao je u godini 1993/94. za samo 0,4%.

ETZ, god. 116(1995), br. 8

Mrk.

VODIK KAO NOSILAC ENERGIJE

U njemačkom mjestu Neuburgu vorm Waldu (Bavarska) izgrađen je solarni centar za proizvodnju vodika kao energenta za akumulacije Sunčeve energije. Uređaj radi u industrijskom mjerilu od 1992, a raspolaže s 4 200 m² modula fotovoltaičkih ćelija. Električnom energijom iz sunčanih ćelija elektrolizom se proizvodi vodik s kojim se dalje ispituju mogućnosti praktične uporabe. Opsežna se ispitivanja provode u različitim tipovima gorivih ćelija.
Premda se radom uređaja došlo do mnogih korisnih spoznaja, praktična industrijska primjena ove tehnike još je daleko.

ETZ, god. 116(1995), br. 8

Mrk.

POVEĆAN IZVOZ ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ FRANCUSKE

Prema izvješću francuske državne elektroprivrede EDF, njihove su elektrane u 1994. godini proizvele 427,7 TWh električne energije prema 424 TWh u prethodnoj godini. Od te je količine 80% proizvedeno u nuklearnim elektranama, 17% u hidroelektranama, a samo 3% u klasičnim termoelektranama. Prodaja električne energije u zemlji pala je za 1,2%, ali je izvoz porastao za 7%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 8

Mrk.

EUROPSKA ENERGETSKA KARTA

Komisija EU u Bruxellesu dala je Europskom savjetu i Europskom parlamentu na potpis i privremenu uporabu ugovor o Europskoj energetskoj karti. Taj je dokument sastavljen na sastanku vrhovnih dužnosnika EU u Lisabonu i sve su ga članice EU prihvatile 1991. Dokument govori o boljoj sigurnosti opskrbe električnom energijom i toplinom, najvećem mogućem iskorištenju proizvodnje, transformacije, transporta, razdiobe i potrošnje energije uz čuvanje okoliša.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 8

Mrk.

UVOZ OBOGAĆENOG URANA IZ RUSIJE U VELIKU BRITANIJU

Predstavnici britanske elektroprivrede prihvatili su rusku ponudu za kupnju obogaćenog urana za potrebe britanskih nuklearnih elektrana. Poduzeće Nuclear Electric, koje vodi pogon nuklearnih elektrana u Engleskoj i Welsu, potpisalo je ugovor na temelju kojega će se tijekom 7 godina 10% potrebnog obogaćenog urana uvoziti iz Rusije uz nisku cijenu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 8

Mrk.

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

PREDSTAVLJANJE EUROPSKE I SLOVENSKE REGULATIVE ZA IZVOĐENJE ZAŠTITE UREĐAJA OD UDARA MUNJE I OSTALIH PRENAPONA

Predstavljanje noviteta standarda IEC, VDE i SIS
Konkretna usmjerenja izvođenja

Bled, 1995.

Vitalno i posebice aktivno Slovensko društvo za geoelektriko, statično elektriko in strelovode Maribor održalo je 13. ožujka 1995. u hotelu »Jelovica« na Bledu savjetovanje i rasprave o navedenoj tematici.

Organizator je, osim poznatih domaćih znanstvenika i stručnjaka problematike zaštite od munje, pozvao i predstavnika poznate tvrtke zaštitnih uređaja u Njemačkoj DEHN + SÖHNE da prikažu najnovije stanje, tj. znanja i iskustva u području zaštite električnih i elektronskih uređaja od udara svih vrsta prenapona. Za navedenu tvrtku može se spomenuti da ima nekoliko suradnika i stručnjaka europskoga i svjetskoga glasa, vrlo aktivnih sudionika u međunarodnoj konferenciji zaštite od munje (ICLP) i čak kreatora europskih i svjetskih standarda s tog područja. To je utoliko važnije zbog želje Slovenije i njezinih znanstvenika i stručnjaka da se sa svojim tehnološkim napretkom, znanjem i kadrovima uključe u europske tokove. Da bi se to postiglo, treba stjecati i nova znanja. U Europi je ta tematika već detaljno razrađena sa standardima i sankcionirana zakonskim odredbama, kao i uvjetima osiguravajućih organizacija, pa je i to važan cilj ovog savjetovanja.

Osnovni sadržaj ovog predstavljanja činili su sljedeći prikazi, predavanja i referati (u prijevodu na hrvatski). Sudionici — njih oko 80 — dobili su kao »materijal« za rasprave i pitanja »Zbornik referata« s 5 referata na ukupno 160 stranica. Neki od ovdje navedenih prikaza i referata nisu bili tiskani u zborniku.

1. Prof. dr. M. Babuder, Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana
   Problematika EM kompatibilnosti
2. K. P. Müller, dipl. ing., DEHN + SÖHNE, Neumarkt /Opf, BRD
   Pravno uređenje područja gromobranske i prenaponske zaštite:
   — Europska i međunarodna standardizacija
   — Regulativa osiguravajućih društava u Njemačkoj
   — Pravni vidici izvođenja prenaponske zaštite.
3. Boris Žitnik, dipl. ing., JP Elektro, Maribor
   Problematika elektromagnetske kompatibilnosti u praksi
4. K. P. Müller, dipl. ing. (kao pod 2)
   Projektiranje prenaponskih zaštitnih zona po EMC konceptu, zaštitne mjere i uređaji za energetske mreže, zaštita od munja i prenapona glavnih postaja TV sustava
5. M. Kern, pomoćnik glavnog republičkog inspektora, Ministarstvo za gospodarstvo
   Uporaba europskih standarda u prijelaznom razdoblju
6. R. Pešič, dipl. ing., Voditelj razvoja ISKRA-ZAŠTITE
   Prenaponske zaštite u telekomunikacijama
7. Ing. Seršen
   Prikaz odnosa IEC i CENELEC propisa
8. K. P. Müller, dipl. ing. (kao pod 2)
   Zaštitne mjere i uređaji za informacijske mreže, zaštitni uređaji za kontrolnu i mjernu tehnologiju i računarske sustave
9. S. Mauer, dipl. ing., Voditelj energetike RTV Slovenije
   Odašiljači i veze: Praktično izvođenje zaštite na ispostavljenim i dislociranim objektima
10. B. Ružič, dipl. ing., inspektor, Zavod za sigurnost na radu, Maribor
    Elektromagnetska kompatibilnost s aspekta zaštite na radu
11. K. P. Müller, dipl. ing. (kao pod 2)
    Predstavljanje gromobranske i prenaponske zaštite tvrtke DEHN + SÖHNE.

Tako izabran i prikazan izbor tema uvodno navedene problematike zaštite od udara munje i prenapona dao je obilje podataka o tome kako treba štititi vitalne dijelove energetskih uređaja i instrumenata, kao i telekomunikacijskih i računalskih sustava od oštećenja radi nesmetanog rada i osigurane normalne životne dobi.

Posebice treba istaknuti vrlo podrobna i bogato ilustrirana izlaganja predstavnika tvrtke DEHN + SÖHNE, također i s vrlo jasnim odgovorima i dodatnim objašnjenjima na brojna postavljena pitanja.

O svim prikazima, referatima i predavanjima vodila se vrlo živa i opsežna rasprava uz brojna pitanja — prava bogata izmjena iskustava i znanja. Može se naglasiti da je cijeli tijek razmatranja zadaća zaštite od munje i prenapona pokazao pravi europski način komuniciranja, posebice o nekim novitetima u tematici.

O cijeloj tematici ovog bogatoga informativnog »seminara«, o svakom prikazu i predavanju vodila se vrlo živa i detaljna diskusija uz brojna pitanja i opsežne odgovore odnosno komentare.

Prof. dr. M. Babuder osvrnuo se na široku i kompleksnu problematiku EM kompatibilnosti kao na razmjerno novo usmjerenje zaštite od prenapona. Posebno je naglasio okolnost da tehnologija, ponajviše, dakako, novosti, dolaze »na mala vrata«. Često ima raskoraka između potreba, standarda i zakonske regulative.

K. P. Müller posebno je detaljno obrazložio tzv. europsku »prednormu« ENV 61024-1 o pravnoj regulativi zaštite. Težište se, naime, postavlja na faktor učestalosti udara, odnosno na faktor učestalosti štete od udara munje. Uvode se i vrijednosti (odnosno čimbenici) ugroženosti. Podrobnija razrada tih faktora sada je i u Njemačkoj, a i u Europi, velika nova zadaća. Normiranje je sada zapravo u stanovitom prijelomu, preokretu. U praktičnoj zaštiti težište je na ispravnom i odgovarajućem sustavu obrane od prenapona u strogom odnosu na EM snošljivost (kompatibilnost), a prednost ima koncept zaštitnih zona. Osnovu zaštitnog pristupa ima princip kugle munje. Za uzemljivačke sustave daje se prednost međusobnom povezivanju pred zvjezdolikim. Predlaže se također kao bolji pojam »priključni spoj« umjesto »mjernog spoja«. Osvrnuo se i na ionizirajući gromobran: s obzirom na njegov princip zaštite koji je fizikalno neispravan, ta se vrsta zaštite potpuno odbija.

B. Žitnik dao je naglasak na »pravilo« da se objekti moraju obraditi radi svrsishodne zaštite kao cjeline, a ne pojedinačno. Osnova su, dakako, zahtjevi EM kompatibilnosti.

M. Kern je posebice spomenuo da je u Sloveniji već u radu zakon o elektroenergetskoj inspekciji.

R. Pešič se ukratko osvrnuo na svoj referat o konceptu vanjske i unutarnje zaštite od udara munje u telekomunikacijske sustave, na uzemljivanje i izjednačenje potencijala. Poseban naglasak dao je na zaštitu TK-kablova. Za područje Poljske naveo je podatak da su tamo zbog vrlo rasprostranjenih zračnih TK-vodova vrlo česti požari TK-centrala.

Ing. Seršen naveo je da je u Europi sada već 88% IEC i CENELEC propisa sukladno novim IEC-standardima. Inače je u Europi stalna »borba« za praćenje događaja, propisa, norma i standarda.

K. P. Müller je za zaštitne mjere i uređaje posebice naglasio da se u praksi premalo naglašava što je loše izvedeno odnosno urađeno. Tako se, primjerice, znade da pri izvođenju zaštite TV-tornjeva treba priključiti i niže objekte u blizini, ali se to ponekad ne čini dosljedno tome. Za varistore se znade da su u zaštiti brži od iskrišta, ali se i o tome ne vodi uvijek dovoljno pažnje, premda i ova potonja imaju svoje prednosti. Svakako da standardizacija i normiranje ne smije kočiti i otežavati tehnološki razvoj i napredak.

Pomoćnik glavnog republičkog inspektora M. Kern posebice je naglasio da u Sloveniji zakon o standardizaciji već vrijedi od 25. 1. 1995. Standardi nisu obvezatni (za razliku od propisa). IEC propisi bit će na engleskom — bez prijevoda na slovenski.

Ovaj prikaz tematike referata i tumačenja europske i slovenske regulative o zaštiti od munja i prenapona može svakako pomoći elektroenergetskim stručnjacima i djelatnicima u predmetnom području elektrotehničke prakse i znanosti u našoj republici kao poticaj i usmjerenje za isti rad u pripremi standarda i propisa — s posebnim naglaskom na EM kompatibilnost i druge novosti.

Na kraju, za ovaj »seminar« u susjednoj Sloveniji treba primijetiti i to da je imao pravi međunarodni značaj. Naime, uz glavnog predavača iz Njemačke bio je prisutan i unuk osnivača tvrtke DEHN + SÖHNE, nekoliko sudionika iz Češke (kao gosti sponzora 'Iskra Zaščite') i Hrvatske, kao i sudionik iz BiH.

Dr. Zvonimir Krulc

PREDSTAVLJANJE STANDARDA SIS-IEC 1024-1 ZAŠTITA OD DJELOVANJA MUNJE S KOMENTARIMA

Nova Gorica, 1994.

Slovensko društvo za geoelektriko, statično elektriko in strelovode Maribor u suradnji s Elektrotehničnim društvom Nova Gorica održali su 10. listopada 1994. u Novoj Gorici raspravu o sadržaju navedenog standarda o zaštiti objekata od djelovanja munje — 1. dio: opća načela (identičan s IEC standardom 1024:1990). Predstavljen je standard s tekstom i slikama i tablicama s ukupno 23 stranice. To je službena objava međunarodnog standarda i komentara (200 stranica i 170 slika) u Sloveniji. Osnovna je namjera ove javne rasprave u prikazu primjene u praksi, kao i utjecaj standarda na postojeće pravilnike, propise i standarde u uporabi. Predstavljanje je zamišljeno izrazito stručno jer još nema odgovarajućeg odaziva na tu problematiku s terena.

Osim konkretnog standarda za raspravu, održani su i ovi referati, predavanja i prikazi (u prijevodu na hrvatski):

1. **Pravni vidici uporabe standarda SIS-IEC 1024-1**
   Peter Palma, dipl. ing., Ured za standardizaciju, Ministarstvo za znanost i tehnologiju
2. **Uporaba standarda u prijelaznom razdoblju**
   Marjan Kern, dipl. ing., Ministarstvo za gospodarske djelatnosti
3. **Predstavljanje sadržaja standarda i komentara**
   Boris Žitnik, dipl. ing., JP Elektro, Maribor
4. **Tumačenje standarda i komentara**
   Dr. Jože Pungerl, NOVUM, Ljubljana
   Aleš Napast, dipl. ing., JP Elektro, Maribor
   Boris Žitnik, dipl. ing., JP Elektro, Maribor
5. **Uporaba kompozitne izolacije u proizvodnji metalno-oksidnih odvodnika**
   Prof. dr. Maks Babuder, Elektroinštitut Milan Vidmar
6. **Utjecaj standarda na postojeće pravilnike i propise o električnim instalacijama**
   Milivoj Kotnik, dipl. ing., Elektrotehn. društvo Maribor
7. **Izjednačenje potencijala u objektima i kontrola galvanskih veza**
   Ivan Ravnikar, dipl. ing., Elektrotehn. društvo Celje
8. **Protokoliranje i izvođenje mjerenja gromobranskih i električnih instalacija obzirom na standard IEC 1024**
   Mitja Vidmar, dipl. ing., Elektrovod, Ljubljana.

Posebice treba zabilježiti i naglasiti upravo rekordan broj od oko 180 sudionika, što je bio, dakako, odraz veoma zanimljive i suvremene tematike predstavljanja najnovijeg standarda zaštite objekata od udara munje na međunarodnoj razini. Sudionici su dobili za razmatranje i upoznavanje primjerak predmetnog »Slovenskog standarda« i »Komentar« međunarodnog standarda (u prijevodu).

O cjelokupnoj tematici novog standarda zaštite objekata od djelovanja munje, posebice o tumačenjima standarda, kao i njegovu utjecaju na postojeće standarde i pravilnike, vodila se vrlo opsežna i ponekad neobično živa rasprava. Naglasiti treba da je u raspravama bilo razlika u tumačenjima i prihvaćanjima novog standarda sa stajališta dosadašnjih standarda, tako da su se stvorile dvije suprotne struje — za i protiv uvođenja međunarodnog standarda IEC 1024.

P. Palma je naglasio pravnu stranu i odnose novog standarda s težištem na osnovnoj okolnosti da se radi o novom razmišljanju u zadacima zaštite objekata od udara munje. Slovenski standard SIS IEC 1024-1 nije još obvezatan, ali je u tijeku rad na ozakonjivanju. Neobveznost standarda, kao i novu »filozofiju« problematike zaštite od munje raspravio je i M. Kern, pomoćnik glavnoga republičkog inspektora.

B. Žitnik naglasio je da je međunarodni standard IEC 1024 konsenzus i zbir bogatih nacionalnih iskustava u zaštiti od munje. Treba istaknuti i činjenicu da cjelokupan sadržaj tog standarda pruža 98%-tnu zaštitu objekata. Posebno se vodi briga o ekvivalentnoj uzemljivačkoj upornosti (rezistentnosti).

Prof. dr. M. Babuder opisao i naglasio je prednosti kompozitne izolacije u proizvodnji kovinsko-oksidnih odvodnika za zaštitu u elektroenergetskoj tehnici. Osnovni je zaključak u tome »da je odzvonilo« konvencionalnim odvodnicima u suvremenim sustavima zaštite.

M. Kotnik prikazao je niz usporedbi nekih novih odredbi s onima u npr. dosadašnjem JUS N. B2. 75 uz primjedbu da nije trebalo učiniti tolike promjene.

I. Ravnikar se je osvrnuo posebice na izradbu standarda s težištem na brojnim problemima prijevoda. Naglasio je i neke posebnosti i dileme u izvođenju izjednačenja potencijala u objektima, osobito u odnosu prema glavnim i dodatnim vezama. Spomenuo je i neke (stare) probleme s temeljnim uzemljivačima.

M. Vidmar razmotrio je probleme mjerenja gromobranskih i električnih instalacija sa stajališta postojećih i novih propisa odnosno standarda. Posebice je upozorio na potrebu naglaska minimalnih zahtjeva u toj tematici.

Ovo predstavljanje novoga slovenskog standarda zaštite objekata od udara munje po ugledu na međunarodni standard IEC 1024, kao i osvrt na rasprave o cjelokupnoj problematici, može svakako poslužiti elektroenergetskim stručnjacima i ustanovama u području zaštite od munje u našoj republici kao poticaj za izradbu novoga nacionalnog standarda za zaštitu od udara munje te kao uvid u postojeću dokumentaciju u susjednoj nam državi i neka iskustva kao i spoznaje.

Dr. Zvonimir Krulc

UDK 621.31 ENJAAC 44 (4) — (1995) 173 – 222 ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 44 (1995) Zagreb 1995 Br. 4

IZDAVAČI — PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

Redakcija završena 1995 — 10 — 03

SADRŽAJ

Fotografija na omotnoj strani

HE MILJACKA

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 625-328 i 625-111/2328, telefax 533-692, 511-612

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn). Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro račun kod ZAP, Zagreb — Hrvatska elektroprivreda (za »Energiju«) broj 30101-604-495

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

Uredništvo časopisa se ispričava čitateljima i suradnicima zbog zakašnjenja u izlasku ovog broja časopisa. Razlozi tome zakašnjenju su reorganizacijske promjene izvan samog časopisa, koje su se odrazile i na časopis. Nastojat ćemo do kraja godine dostići naš uobičajeni ritam, pa vas molimo za razumijevanje. Koristimo se prilikom da vas obavijestimo da je imenovan novi Izdavački savjet ENERGIJE.

Glavni urednik

PRIKAZ STANJA SUSTAVA ELEKTRIČNIH ZAŠTITA U DIJELU TERMOELEKTRANA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Željko Zlatar — Joso Zubović — dr. sc. Ante Marušić — Slavko Orehovec, Zagreb
i Radenko Rubeša, Opatija

UDK 621.311.22:621.316.9
PREGLEDNI ČLANAK

Logika i rješenja izbora sustava električnih zaštita glavnih i pomoćnih elemenata u termoelektranama. Analiza i globalna ocjena postojećeg stanja u termoelektranama Hrvatske elektroprivrede. Značaj praćenja djelovanja i provedbe sekundarnih i primarnih ispitivanja. Nužnost postizanja odgovarajućeg stupnja selektivnosti djelovanja s djelovanjem zaštita u vanjskoj mreži s kojom je termoelektrana povezana. Iskustva sa do sada provedenim ispitivanjima sustava električnih zaštita u nekim od termoelektrana Hrvatske elektroprivrede.

Ključne riječi: električna zaštita, relej, izbor i ocjena.

1. UVOD

Razmišljanja o stanju sustava električnih zaštita u termoelektranama elektroenergetskog sustava Hrvatske elektroprivrede temelje se na provedenim istraživanjima i ispitivanjima u TE—TO (G3), TE Plomin 1, TE Sisak (G2) i EL—TO (G2). Sadržaj rada bio je među ostalim:

1. utvrditi stanje i urediti dio projektne dokumentacije o relejnoj zaštiti vezane uz priključak na mjerne transformatore, krugove isključenja, krugove dojave i dodirne točke s tehnološkom zaštitom,
2. izraditi podloge za provođenje udešenja releja (kriteriji i proračuni) i provjeriti postojeća udešenja,
3. utvrditi dosadašnji opseg ispitivanja releja, te predložiti i izvesti dodatna ispitivanja bilo sekundarna bilo primarna,
4. obraditi rezultate ispitivanja, postaviti kriterije i ocijeniti dobrotu svakog releja.

2. ODABRANE ELEKTRIČNE ZAŠTITE GLAVNIH I POMOĆNIH ELEMENATA

Logika izbora električnih zaštita proizlaze iz niza čimbenika kao što su npr.:

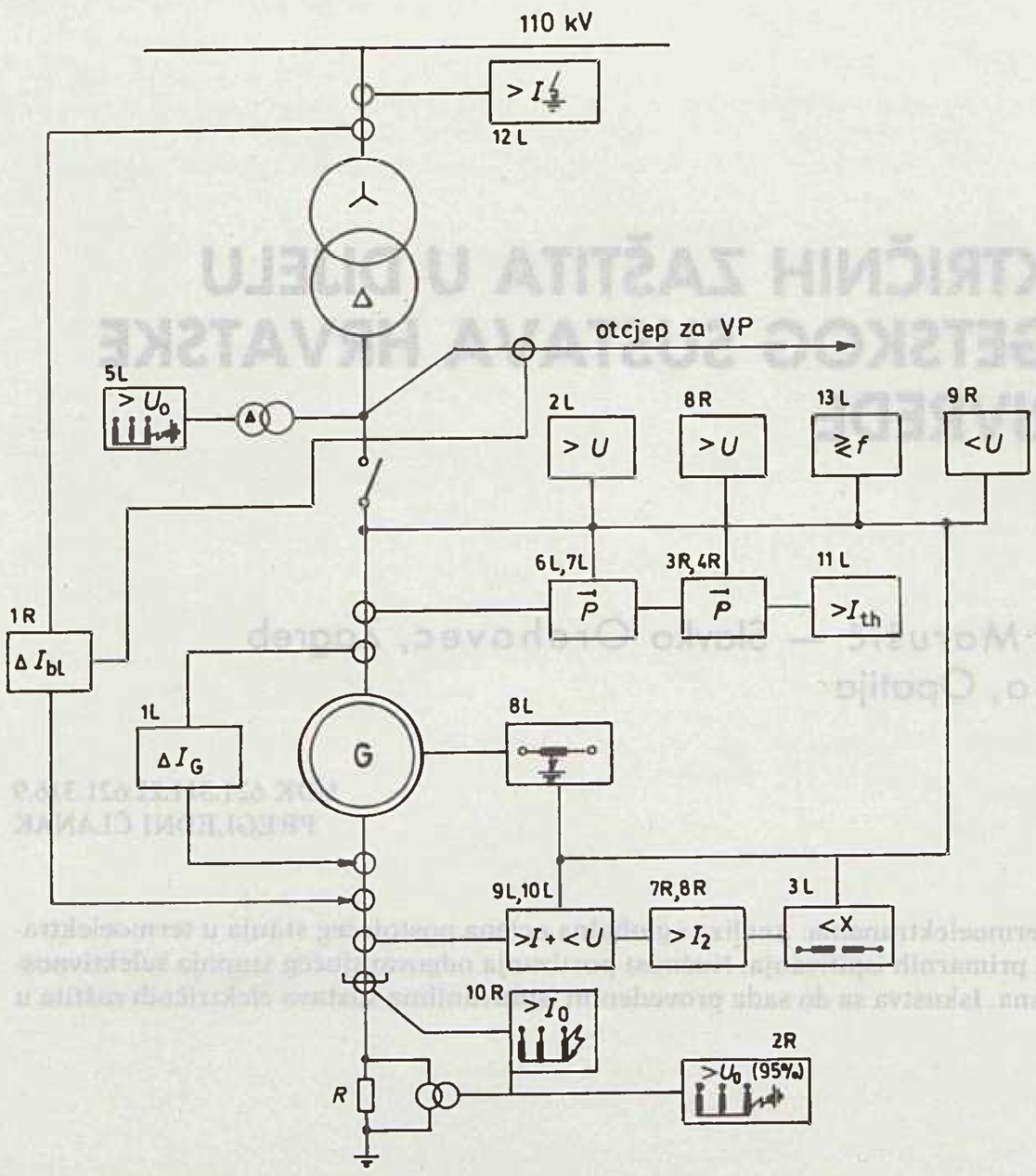
— očekivani kvarovi i smetnje
— uzemljenje zvjezdišta
— način priključka elementa na EES
— snaga i izvedba elementa.

Rješenje pak izbora ovisi još o primijenjenoj tehnologiji i odabiru mjernih veličina za otkrivanje i odstranjivanje kvarova i smetnji.
Rad na izboru električnih zaštita u sklopu svojih zadaća, koordinira Komisija za relejnu zaštitu HEP-a u stručnom i razvojnom smislu.

2.1. Blokovi generator-transformator

U sl. 1. pokazana je zaštita bloka 3 generator-transformator u TE—TO Zagreb. Unutarnji se kratki spojevi otkrivaju i odstranjuju s diferencijalnim relejima (ΔI_{b1}, ΔI_G). Zemljospoj statora generatora obuhvaća se s nadnaponskim relejima na nulti napon ($> U_o$) priključenim na naponski transformator u zvjezdištu i na otvoreni trokut naponskih transformatora na generatorskoj strani. Štićenje generatora pri spoju među zavojima izvedeno je s nadstrujnim relejom ($> I_o$) koji je priključen na strujni transformator u spoju između zvjezdišta paralelnih namota statora. Rezervna zaštita pri unutarnjim i vanjskim kratkim spojevima izvedena je s nadstrujnim relejem s naponskim pridržavanjem ($> I + < U$) i nadstrujnim relejem na visokonaponskoj strani bloka ($> I$). Smetnje koje se prate jesu preopterećenje (termički relej, $> I_{th}$), nesimetrično opterećenje (nadstrujni relej na inverznu komponentu struje s dva stupnja, $> I_2$), prekid uzbude (podreaktantni relej s integratorom, $< X$), povišenje napona (dva nadnaponska releja s po dva stupnja, $> U$), prekid dovoda pare odnosno, povrat snage (dva usmjerena releja s dva stupnja i integratorima, $> P$), promjene frekvencije s brojem stupnjeva zavisno o planu frekventnog rasterećenja EES (frekventni relej, $< f$), dojava zemljospoja rotora (sniženje izolacije, mjerni most s detektorom razine). Postavljen je još podnaponski relej ($< U$) za plansko izlaženje bloka iz pogona.

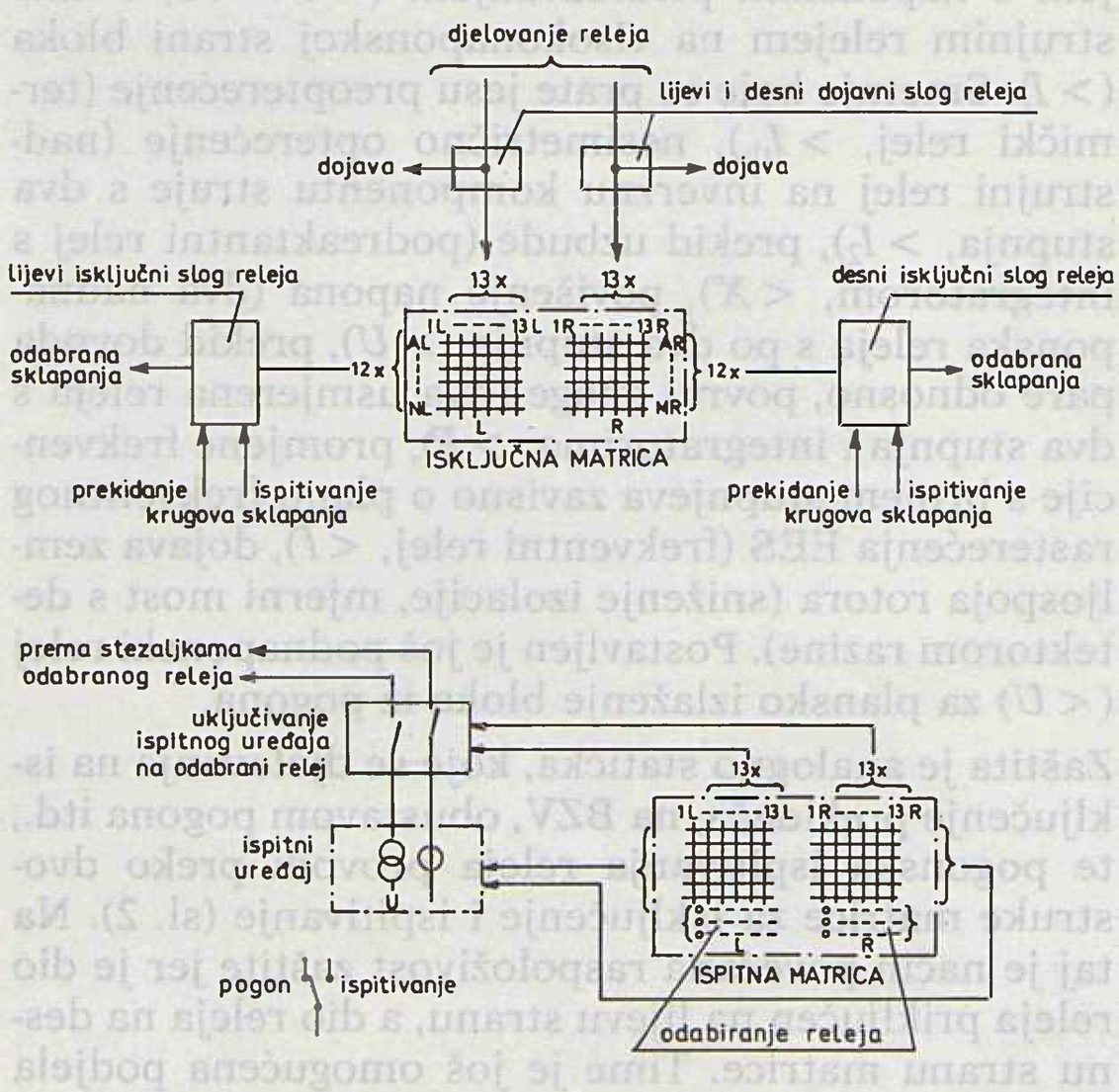
Zaštita je analogno statička, koje se djelovanje na isključenje prekidača, na BZV, obustavom pogona itd., te pogonska ispitivanja releja provodi preko dvostruke matrice za isključenje i ispitivanje (sl. 2). Na taj je način povećana raspoloživost zaštite jer je dio releja priključen na lijevu stranu, a dio releja na desnu stranu matrice. Time je još omogućena podjela krugova isključenja, krugova dojave i napajanja elek-



LEGENDA

$\Delta I_{bl} \cdot \Delta I_0$ diferencijalna zaštita bloka i generatora
$>U_0$ zemljospojna zaštita statora generatora
$>I_0$ zaštita pri spoju među zavojima namota statora generatora
$>I \cdot <U$ nadstrujna zaštita s naponskim pridržavanjem
$>I_2$ nadstrujna zaštita na inverznu komponentu struje (nesimetrično opterecenje)
$>X$ podreaktantna zaštita (prekid uzbude)
P usmjerna zaštita na radnu snagu (povrat energije)
$>I_{th}$ toplinska zaštita (preopterećenje)
$>U$ nadnaponska zaštita (povišenje napona)
$<U$ podnaponska zaštita (sniženje napona)
$\gtrless f$ frekventna zaštita
dojava zemljospoja rotora

Slika 1. Električna zaštita bloka 3 generator-transformator u TE—TO Zagreb



Slika 2. Načelna shema djelovanja dvostruke matrice

tronike na dvije AKU-baterije. Analogno rješenje primijenjeno je na blokovima 1 i 2 u EL—TO.
U TE Plomin 1 i TE Sisak (G2) ugrađena je elektromehanička zaštita bez dvostruke matrice. Razlike u odnosu na opseg prikazane zaštite u sl. 1 jesu:

TE Plomin 1

— nisu postavljeni releji za zaštitu pri preopterećenju ($>I_{th}$) i pri promjenama frekvencije ($<f$)
— zaštita pri povratu energije izvedena je samo s jednim stupnjem $>P$
— postavljene su kasnije statička nadstrujna zaštita, 95% i 100%-tna zemljospojna zaštita
— postavljen je relejni slog za zaštitu turbine pri brzom sniženju opterećenja (sniženje snage, povišenje struje, sniženje napona).

TE Sisak (G2)

— diferencijalna zaštita bloka izvedena je s brzo zasićenim strujnim transformatorima i nadstrujnim relejima bez uobičajenog pridržavanja
— predviđena dojava zemljospoja statora generatora nije u skladu s našom praksom i dopunjena je 95%-nom elektromehaničkom zaštitom statora s djelovanjem na isključenje
— zaštita generatora pri nesimetričnom opterećenju izvedena je osim s nadstrujnim relejima na inverznu komponentu struje još s člankom kojim se prati zagrijavanje rotora
— povišenje napona izvedeno je samo s jednim stupnjem nadnaponskog releja koji je upravljan s nadstrujnim relejom i vremenskim relejem
— zaštita pri preopterećenju generatora izvedena je s nadstrujnim relejem
— rezervna nadstrujna zaštita generatora pri unutarnjim i vanjskim kratkim spojevima upuštana je s jednim podnaponskim relejom tako da nadstrujni relej ne može djelovati pri preopterećenju; nakon što je ugrađena uzbuda izravno priključena na stezaljke generatora nije više dovoljno djelotvorna, pa je postavljena rezervna podimpedantna zaštita
— rezervna zaštita pri vanjskim nesimetričnim kratkim spojevima prema zemlji izvedena je s nadstrujnim relejem na nultu struju postavljenim u zvjezdištu blok transformatora.

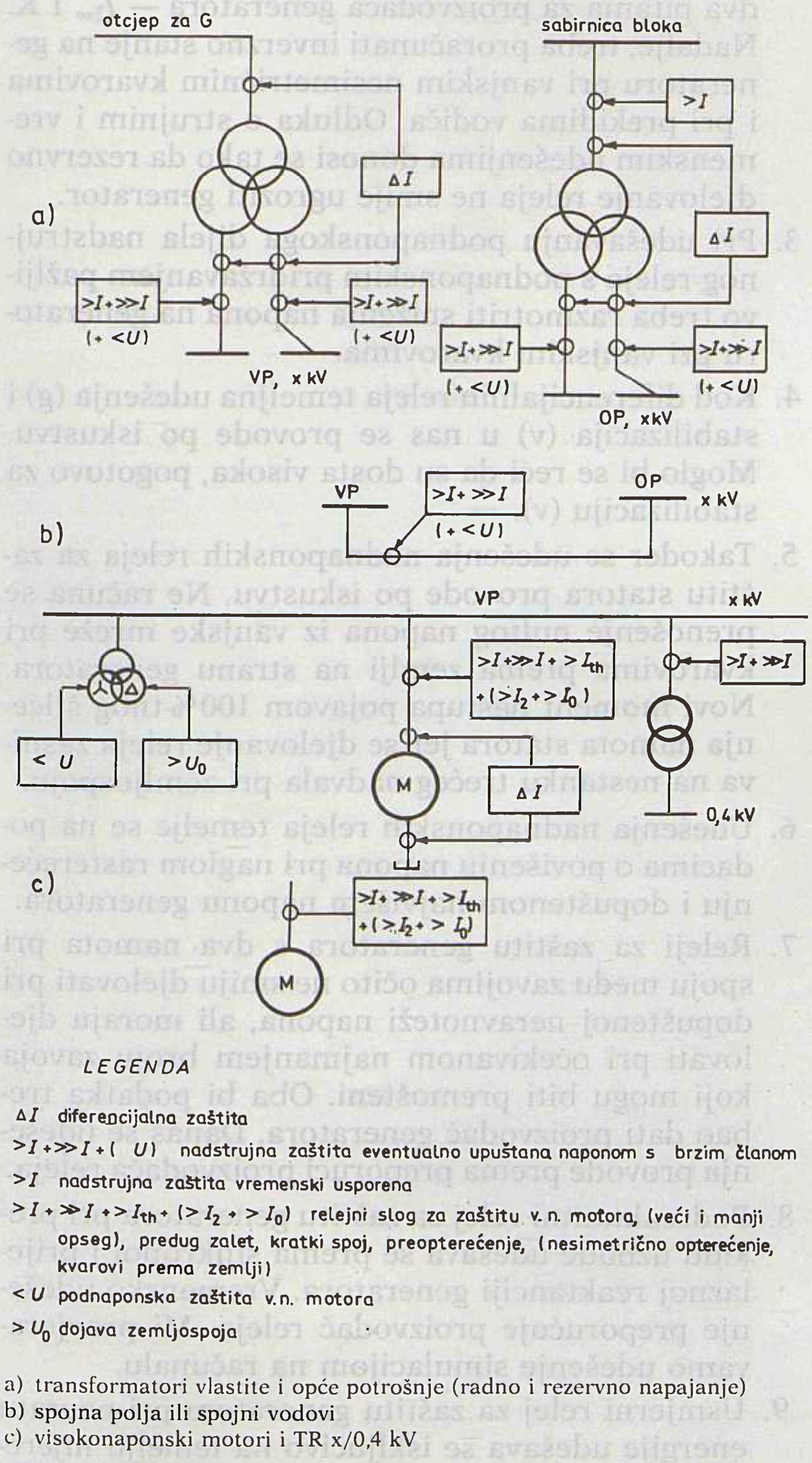
Uzme li se električna zaštita bloka 3 generator-transformator u TE—TO Zagreb kao najveći domet u tehnološkom smislu i kao najprimjerenije rješenje u pogledu opsega zaštite u razdoblju 1970 – 1980. g. tada je nedvojbeno da razlike uočene u TE Plomin 1 i TE Sisak (G2) slijede prije svega iz primijenjene elektromehaničke tehnologije. Razlike su veće u TE Sisak (G2) jer su i primarna i sekundarna oprema ruske proizvodnje.
Ukratko, trebat će izvršiti dopunu zaštite bloka u TE Plomin 1, a izvršene su dopune i zamjene nekoliko releja kao posljedica naše prakse i novonastalih prilika u pogonu (suvremena uzbuda).
Na ovom mjestu ne može se izbjeći a da se ne naglasi da obnavljanje (revitalizacija) postrojenja treba biti cjelovito. To znači, ako se obnavlja primarna oprema, tada to treba činiti i sa sekundarnom opremom koje je dio relejna zaštita.

2.2 Sabirnice 110 kV i 220 kV

U posljednjih nekoliko godina u nas se više postavljala zaštita sabirnica u transformatorskim stanicama nego u elektranama, iako su one temelj i najvredniji dio EES-a. Danas je samo u TE Sisak u pogonu zaštita sabirnica koja uključuje i zaštitu pri zatajenju prekidača. U TE-TO Zagreb pri kraju je odabiranje zaštite sabirnica i zaštite pri zatajenju prekidača. Ostaje da se u TE Plomin pokrene izbor, projektiranje i postavljanje zaštite sabirnica i zaštite pri zatajenju prekidača.

2.3. Vlastite i opće potrošnje (radna i rezervna napajanja)

Električne zaštite elemenata vlastite i opće potrošnje (transformatori, visokonaponski motori, spojna polja i spojni vodovi) standardno su odabrane (sl. 3). To znači da se radi o diferencijalnim relejima, nadstrujnim relejima, relejnim slogovima za zaštitu motora, toplinskim relejima, podnaponskim relejima i nadnaponskim relejima za dojavu zemljospoja. Razlike su uočene samo u zaštiti motora u TE Sisak (G2). Nisu postavljeni relejni slogovi u statičkoj izvedbi kao što je to učinjeno u ostale tri elektrane.

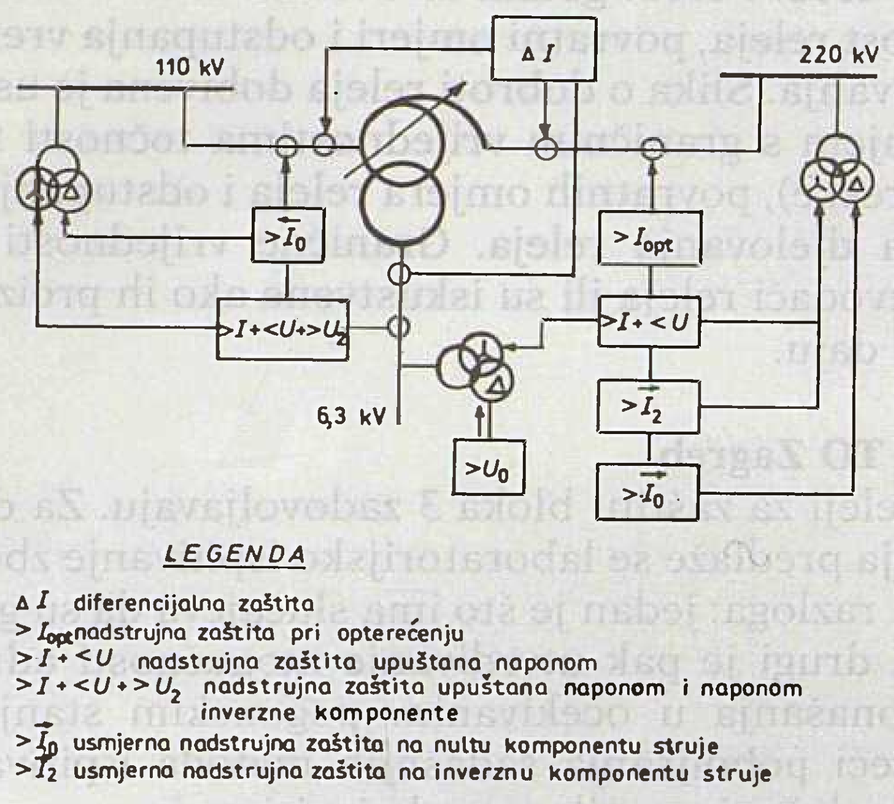


a) transformatori vlastite i opće potrošnje (radno i rezervno napajanje)
b) spojna polja ili spojni vodovi
c) visokonaponski motori i TR x/0,4 kV

Slika 3. Električna zaštita pomoćnih elemenata u TE—TO

2.4. Autotransformator 220/110/6,3 kV u TE Sisak

U odnosu prema europskoj praksi autotransformator je zaštićen dosta drukčije (sl. 4). Naime, rezervna zaštita na stranama 110 kV i 220 kV nije izvedena s distantnim relejima, već s nadstrujnim relejem upuštanim sniženjem napona u mrežama 220 kV, 110 kV i 6 kV, s usmjerenim nadstrujnim relejima na nultu struju i s usmjernim nadstrujnim relejom na inverznu komponentu struje. Svi su releji elektromehaničke izvedbe.



Slika 4. Električna zaštita tronamotnog autotransformatora 220/110/6 kV u TE Sisak

3. ISPITIVANJA RELEJA

Sekundarna ispitivanja releja, kako se u nas provode, omogućuju izračunavanje točnosti i povratnih omjera mjernih releja, te određivanje odstupanja vremena djelovanja releja pri uzastopnim ispitivanjima.

Opseg sekundarnih ispitivanja bio je donekle širi u TE—TO i EL—TO Zagreb. Sva su ispitivanja izvedena ispitnim uređajem kojim se među ostalim relej može ispitati poluatomatski, simulira se vrsta kvara pa ispitivanja mogu biti trofazna.

Proširenje ispitivanja odnosilo se uglavnom na releje s dvije mjerne veličine, npr. nadstrujni relej s naponskim pridržavanjem i usmjerni relej za otkrivanje povrata energije. Vrlo je uputno bilo trofazno ispitati nadstrujni relej na inverznu komponentu struje.

Preporučeno je proširenje ispitivanja diferencijalnih releja: najprije snimanje nekoliko točaka radne karakteristike, a zatim ispitivanje djelovanja releja u području jakih i slabih unutarnjih kvarova.

Opseg primarnih ispitivanja s generatorom u skladu je s našom praksom, uz primjedbu da ispitivanja treba nastojati provoditi u punom opsegu. To se pogo-

tovo odnosi na ona ispitivanja koja daju podatak za provođenje udešenja.
Provođenje primarnih ispitivanja izuzetno je važno u TE Sisak zato što releje sekundarno djelomično ispituju na ispitnom stolu.
Primarna se ispitivanja proširuju tamo gdje je postavljena tiristorska uzbuda zbog prilagođenja udešenja releja za zaštitu pri prekidu uzbude uz sniženje napona.

4. REZULTATI SEKUNDARNIH ISPITIVANJA I OCJENA DOBROTE RELEJA

Do sada su obrađeni rezultati ispitivanja u TE-TO Zagreb i TE Plomin 1. Obrađeni su u pravilu rezultati ispitivanja u 1990, 1991. i 1992. godini za TE-TO i u 1987, 1992. i 1993. godini za Plomin 1. Izračunati su: točnost releja, povratni omjeri i odstupanja vremena djelovanja. Slika o dobroti releja dobivena je uspoređivanjem s graničnim vrijednostima točnosti releja (pogreške), povratnih omjera releja i odstupanja vremena djelovanja releja. Granične vrijednosti daju proizvođači releja ili su iskustvene ako ih proizvođači ne daju.

TE – TO Zagreb

— Releji za zaštitu bloka 3 zadovoljavaju. Za dio releja predlaže se laboratorijsko ispitivanje zbog triju razloga: jedan je što ima slučajeva da su griješili, drugi je pak utvrđivanje mogućnosti odnosno ponašanja u očekivanim pogonskim stanjima i treći poboljšanja sadašnjih metoda ispitivanja i iznalaženja novih metoda ispitivanja.
— Nadstrujni releji za zaštitu elemenata vlastite i opće potrošnje (dovodi od spojnih transformatora, spojna polja i transformatori 6/0,4 kV zadovoljavaju; nema razlike koja bi upućivala prema 1981. godini na smanjenje kakvoće releja.
— Releji u relejnim slogovima za zaštitu motora obično ne griješe više od 5%, ali ima izuzetaka gdje pogreška prelazi 10%. Odstupanja vremena djelovanja zaista su malena, reda 0,02 s, uz iznimku da 7 releja za zaštitu pri dugom zaletu djeluju za 0,5 s nižem vremenu od udešene vrijednosti. Savjetovano je sustavno, tj. ujednačeno provođenje ispitivanja da bi se utvrdio stupanj dobrote pojedinog releja (32 sloga sa 3 i 5 releja).
— Podnaponski releji za zaštitu motora loši su i treba ih zamijeniti.

TE Plomin

— Veći dio releja za zaštitu bloka generator-transformator zadovoljava. Moglo bi se reći da dva releja ne zadovoljavaju. Sugerira se da se jedan relej kojem greška raste i sada je 11,4% ispita u laboratoriju.
— Releji u zaštiti transformatora opće i vlastite potrošnje zadovoljavaju. Iznimka su dva nadstrujna releja.
— 15 releja od 39 releja u 13 relejnih slogova griješi jedne godine više od 5%. Sugerirano je da se pri sljedećem godišnjem ispitivanju pažljivo ispitaju.
— Od 10 vremenskih releja u toplinskom dijelu elektrane jedan je upitan.
— Jedan podnaponski relej griješi 30% i treba ga zamijeniti.

5. PODLOGE ZA PROVOĐENJE UDEŠENJA RELEJA S OSVRTOM NA ZATEČENA UDEŠENJA

1. Postavljane su granice djelovanja i nedjelovanja nadstrujnih releja s vremenskom zadrškom i bez vremenske zadrške. Iz tih uvjeta slijedi poznavanje najvećih pogonskih stanja i struja, te mjesta najmanjega i najvećega kratkog spoja. Upozorava se nadalje da treba težiti smanjenju vremenskih selektivnih razmaka i da je zaista upitno postavljati releje bez vremenske zadrške za sekundarne strane transformatora.
2. Za oba člana nadstrujnog releja za inverznu struju postavljeni su zahtjevi: kada releji moraju djelovati, a kada ne smiju djelovati. Odatle slijede dva pitanja za proizvođača generatora — $I_{2\infty}$ i K. Nadalje, treba proračunati inverzno stanje na generatoru pri vanjskim nesimetričnim kvarovima i pri prekidima vodiča. Odluka o strujnim i vremenskim udešenjima donosi se tako da rezervno djelovanje releja ne smije ugroziti generator.
3. Pri udešavanju podnaponskoga dijela nadstrujnog releja s podnaponskim pridržavanjem pažljivo treba razmotriti sniženja napona na generatoru pri vanjskim kvarovima.
4. Kod diferencijalnih releja temeljna udešenja (g) i stabilizacija (v) u nas se provode po iskustvu. Moglo bi se reći da su dosta visoka, pogotovo za stabilizaciju (v).
5. Također se udešenja nadnaponskih releja za zaštitu statora provode po iskustvu. Ne računa se prenošenje nultog napona iz vanjske mreže pri kvarovima prema zemlji na stranu generatora. Novi moment nastupa pojavom 100%-tnog štićenja namota statora jer se djelovanje releja zasniva na nestanku trećeg nadvala pri zemljospoju.
6. Udešenja nadnaponskih releja temelje se na podacima o povišenju napona pri naglom rasterećenju i dopuštenom najvišem naponu generatora.
7. Releji za zaštitu generatora s dva namota pri spoju među zavojima očito ne smiju djelovati pri dopuštenoj neravnoteži napona, ali moraju djelovati pri očekivanom najmanjem broju zavoja koji mogu biti premošteni. Oba bi podatka trebao dati proizvođač generatora. Danas se udešenja provode prema preporuci proizvođača releja.
8. Podreaktantni relej za zaštitu generatora pri prekidu uzbude udešava se prema sinkronoj i prijelaznoj reaktanciji generatora. Vremensko udešenje preporučuje proizvođač releja. Mi provjeravamo udešenje simulacijom na računalu.
9. Usmjerni relej za zaštitu generatora pri povratu energije udešava se isključivo na temelju mjerenja povratne radne snage pri prekidu dovoda pa-

re u turbinu. Vremenska su udešenja iskustvena i prema preporuci proizvođača releja.

10. Frekventni se relej udešava prema planu frekventnog rasterećenja i najnižoj dopuštenoj frekvenciji generatora.
11. Releji za dojavu zemljospoja rotora isključivo se udešavaju prema preporuci proizvođača releja.
12. Toplinski releji udešavaju se prema stanjima pogona. Npr., najava preopterećenja za $S < S_n$ i isključenje $S = 1{,}2\ S_n$.

Kada se brojčano izraze granice unutar kojih se trebaju kretati udešenja pojedinih releja i usporede s provedenim udešenjima, može se biti zadovoljan. Ona su uglavnom ili u proračunatim granicama ili u granicama koje preporučuju proizvođači zaštite. Jedino se može naglasiti da je provedeno i preporučeno nekoliko ispravaka vremenskih udešenja koja nisu bila u skladu s vremenskim stupnjevanjem releja da bi selektivnost djelovanja releja bila uspješna.
Rad na podlogama započeo je 1992. g. kada je ispitivana relejna zaštita u TE – TO Zagreb. Rad je stalan i trajat će još dosta dugo. Dokaz za to jest da danas još npr. nemamo proračun kratkog spoja prilagođen relejnoj zaštiti (prilika na mjestu ugradnje releja), program tzv. dugotrajne dinamike za izradu plana frekventnog rasterećenja u EES. Upravo pripremajući se za ispitivanje relejne zaštite u TE Sisak (G1), izrađen je uzorak izlazne liste za proračun prilika pri kratkom spoju na mjestu ugradnje releja. Kada se taj izlaz izradi, omogućit će da se opsežno analiziraju električne prilike potrebne za provođenje udešenja strujnih i naponskih releja. Istodobno je izrađena konačna lista podataka o primarnoj opremi neophodnih za provođenje udešenja releja.

6. ZAKLJUČNO RAZMATRANJE

Stanje sustava električnih zaštita termoenergetskih blokova u termoelektranama EES-a HEP-a prikazan je (1) analiziranjem opsega zaštite glavnih i pomoćnih elemenata, (2) načinom kako se provode sekundarna i primarna ispitivanja, (3) koliko su releji dobri i (4) u kojoj su mjeri podloge za provođenje udešenja releja potpune.
Dakako da ne može biti očitih propusta, već na planu sekundarnih ispitivanja treba točno definirati opseg ispitivanja, metode ispitivanja i provedbu ispitivanja (ispitni protokoli). Na taj će se način moći izgraditi postupak za ocjenu dobrote. Najveći napor treba učiniti da se dođe do jedinstvenog paketa programa za proračun udešenja releja za zaštitu glavnih i pomoćnih elemenata u termoelektranama.

Na kraju poglavlja 2.1. izražen je stav o cjelovitom obnavljanju postrojenja, tj. da se pritom procijeni kada i u kojoj mjeri treba obnavljati i relejnu zaštitu.

Pritom se prije svega misli na elektromehaničke izvedbe releja.

Kada se govori o dobroti releja, neizbježna je asocijacija ponašanje releja pri poremećajima. Daljnja je asocijacija ponašanje releja pri složenim događajima. U termoelektranama nema jedinstvenoga bilježenja događaja i nema zapisa događaja. Primjena mikroprocesora u električnoj zaštiti rezultirala je da su se na tržištu našli uređaji za zapis događaja koji daju i niz podataka o prilikama na štićenom objektu netom prije no što se događaj zbio i za vrijeme trajanja događaja. Važnost uvođenja takvih uređaja neprocjenjiva je za vođenje pogona elektrane i, dakako, dobivanje potpune slike o vrijednosti pojedine zaštite.

LITERATURA

[1] Grupa autora: »Relejna zaštita bloka 3 generator-transformator 120 MW i transformatora 31,5 MVA u TE – TO 'Zagreb'«, knjiga 1B, Elektrotehnički fakultet Zagreb, Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb, lipanj 1993.

[2] Grupa autora: »Analiza stanja i unapređenja sustava zaštite i nadzora u termoenergetskim izvorima HEP-a, II. faza TE 'Plomin 1' (manji opseg)« Elektrotehnički fakultet Zagreb, Zavod za visoki napon i energetiku, Zagreb, studeni 1993.

[3] Opisi releja i upute za stavljanje u pogon releja proizvođača releja.

ELECTRICAL PROTECTION PRESENT STATUS IN THERMAL POWER PLANTS OF THE CROATIAN NATIONAL ELECTRICITY

The paper deals with logic and solutions of electrical protection system selection for main and auxiliary elements in thermal power plants. Analysis and global estimate of the existing state in TPPs of the Croatian National Electricity are stated, including the significance of primary and secondary testing effects and performance follow-up. Indisponsability of proper level achivement between effect selectivity and protection effects in the external network to which TPP is connected. Experiences in protection systems testing performed so far in some TPPs of the Croatian National Electricity.

ZUSTAND ELEKTRISCHER SCHUTZEINRICHTUNGEN IN EINIGEN DAMPFKRAFTWERKEN DER KROATISCHEN VERBUNDGESELLSCHAFT

Dargestellt wird der Gedankengang bei der Auswahl elektrischer Schutzgeräte von Haupt- und Hilfsausrüstung in den Dampfkraftwerken und eine dementsprechende Lösung. Beschrieben wird die Überprüfung dieser Geräte; ihr gegenwärtiger Zustand in den Dampfkraftwerken der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft wird allgemein abgeschätzt. Betont wird die Bedeutung der Beobachtungen von Ansprechvermögen der Primär- und Sekundärschutzeinrichungen sowie der dazugehörigen Prüfungen. Hingedeutet wird auf die unumgängliche Erreichung von entsprechenden Selektivität dieser Geräte gegenüber den dem- entsprechenden Eirichtungen im von diesen Kraftwerken gespeisten Versorgungsnetz. Dar-gelegt sind die Erfahrungen mit den bisher durchgeführten Prüfungen der Schutzeinrich-tungssysteme in einigen Dampfkraftwerken Kroatiens.

Naslov pisaca:

Željko Zlatar, dipl. ing.
Joso Zubović, ing. el.
dr. sc. Ante Marušić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računalstva,
10000 Zagreb, Unska 3, Hrvatska
Slavko Orehovec, ing. el.
Hrvatska elektroprivreda — Prijenosno područje »Elektroprijenos Zagreb«,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska
Radenko Rubeša, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda — Prijenosno područje »Elektroprijenos Opatija«,
51410 Opatija, Ulica maršala Tita 218, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995 – 07 – 28

MIKROPROCESORSKI UREĐAJI ZA ZAŠTITU, UPRAVLJANJE I NADZOR, TE MOGUĆA PRIMJENA U DISTRIBUTIVNOJ TS 110/10(20) kV

Goran Šagovac, Zagreb

UDK 681.38:621.316.1
PREGLEDNI ČLANAK

Osnovno o novoj generaciji zaštita u digitalnoj izvedbi kao uređaju za zaštitu, upravljanje i nadzor. Opis funkcija uređaja za zaštitu, upravljanje i nadzor i neke primjene. Prikaz povezivanja uređaja za zaštitu, upravljanje i nadzor u jedinstvenu informatičku cjelinu unutar trafostanice.

Ključne riječi: zaštita, numerička zaštita, uređaj za zaštitu, upravljanje i nadzor.

UVOD

Razvoj elektroenergetskog sustava (EES) prolazio je kroz raznolike faze, koje su bile posljedica naglog rasta potrošnje električne energije i tehnološkog napretka u proizvodnji elemenata primarne i sekundarne opreme postrojenja. Adekvatno razvoju EES-a dolazi do potrebe za što većom automatizacijom radi osiguranja što veće sigurnosti i raspoloživosti cjelokupnog sustava.

U automatizaciji EES, između ostalog, svakako važnu ulogu ima zaštita, upravljanje i nadzor.

Razvoj zaštite elektroenergetskih postrojenja kretao se *skokovito* u trima glavnim fazama:

— elektromehaničkoj zaštiti,
— statičkoj zaštiti,
— digitalnoj ili numeričkoj zaštiti.

Nazivlje tih triju osnovnih grupa temelji se na vrsti i načinu obrade zahvaćenih veličina (struja, napon). Kod elektromehaničkih zaštita obrada analognih veličina ide preko sklopova u elektromehaničkoj izvedbi — dakle korištenje elektromagnetskog polja za ostvarenje mehaničke radnje. Analogno, kod statičke zaštite pri obradi nema mehaničkog rada, koristi se poluvodička tehnika (tranzistori). Posljednjih 30 godina bilo je vrijeme razvoja i primjene statičke zaštite. Razvoj mikroračunala otvara novu fazu u razvoju digitalnih ili numeričkih zaštita. Kako u ovoj fazi zahvaćene veličine, istina digitalizirane, obrađuje mikroprocesor, a barata se digitom odnosno brojem, ova bi se zaštita mogla nazivati i *mikroprocesorskom zaštitom,* što ćemo u daljnjem tekstu i koristiti.

Dakako, sve faze u razvoju zaštitarske tehnologije pratile su razvoj mjerne tehnike.

Ako se osvrnemo unatrag 20 godina, možemo uočiti da postoji ideja realizacije zaštitnih funkcija u digitalnom obliku već u vrijeme kada su prva računala uporabljena kao sustavi za prikupljanje podataka i upravljanja u EES-u. Tehnologija velikih i skupih procesnih računala razvijenih u ono vrijeme pružila je jedino mogućnost izvođenja zaštitnih funkcija na jednom centralnom mjestu, te se zbog toga pokazala kao tehnički i ekonomski nedjelotvornom. Pojavom mikroprocesora i brzim razvojem mikroprocesorske tehnologije s relativno niskom cijenom pružila se mogućnost za ekonomsku i tehničku opravdanost realizacije cijelog spektra mikroprocesorskih zaštita.

U početku se radilo na ovom području najviše na sveučilištima, i to na razvoju i testiranju pojedinih algoritama za zaštitu sa mikroprocesorskom tehnologijom. Tek nakon utvrđenih dobrih rezultata trend razvoja zaštitnih releja u (digitalnoj) mikroprocesorskoj tehnologiji počeli su slijediti proizvođači zaštita. Tako danas poznate svjetske tvrtke kao ABB, AEG, GEC, SIEMENS i neke druge nude tržištu široku lepezu zaštita u mikroprocesorskoj tehnici.

Kako je za sve funkcije automatizacije u EES-u potrebno zahvatiti električke veličine napon, struju i frekvenciju, a koje se zahvaćaju u zaštitnom uređaju i u njemu procesiraju, zaštitni uređaj ima mogućnost integracije više funkcija u smislu automatizacije na razini polja. Mogućnost višefunkcionalnog rada zaštitnog uređaja danas nude gotovo svi svjetski proizvođači. Sukladno tome, današnja generacija mikroprocesorskih zaštita naziva se *uređajima za zaštitu, upravljanje i nadzor.*

Što treba očekivati u daljnjoj fazi razvoja uređaja zaštite?

Mislimo da će to biti usvajanje još veće integracije funkcija, usavršavanje A/D i filtarskih jedinica, primjenom optosenzora, zamjena analognih s potpuno digitalnim ulazima i, kao završno za ovu fazu, adaptivni sustavi za zaštitu, upravljanje i nadzor.

GRAĐA MIKROPROCESORSKOG UREĐAJA ZA ZAŠTITU

Glavna razlika između mikroprocesorskih i elektromehaničkih, odnosno statičkih zaštita jest u obliku zahvaćene veličine (signala) koju zaštita obrađuje. Kod mikroprocesorskih zaštita uređaj operira sa signalom u digitalnom obliku — brojevima, tako da pri realizaciji različitih zaštitnih funkcija dolazi do promjene softvera, a hardverska struktura ostaje općenito ista.

Hardverska i softverska struktura mikroprocesorske zaštite određena je složenošću algoritma zaštite, brojem analognih i digitalnih signala, brojem dodatnih funkcija integriranih u zaštitni uređaj, vrstom i kvalitetom lokalne i daljinske komunikacije i, zaključno, ekonomskim kriterijima.

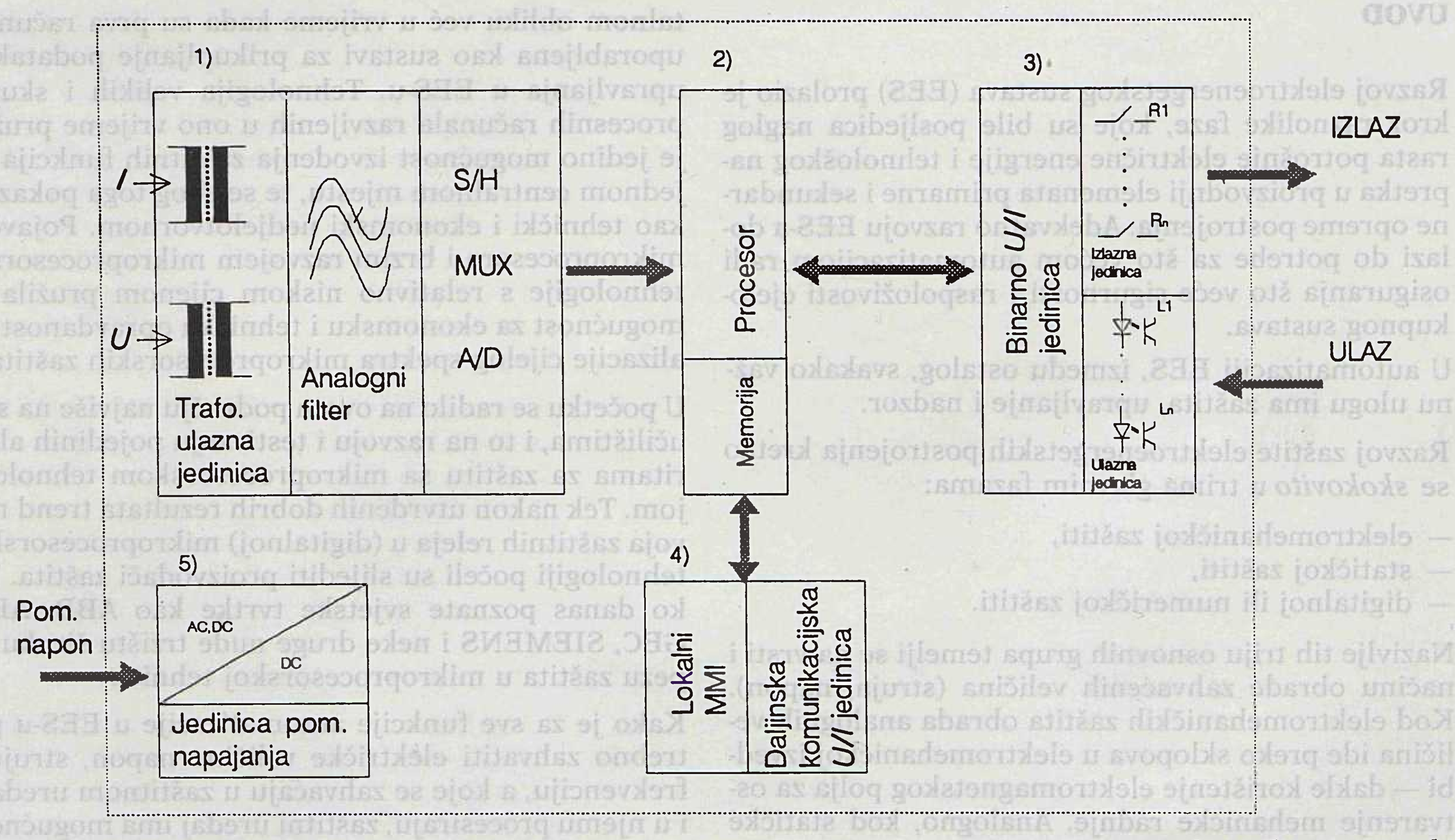
Budući da se i od mikroprocesorske zaštite traži visoka izdržljivost na elektromagnetske i mehaničke utjecaje prema IEC 255 standardu, uglavnom se prakticira modularna hardverska i softverska struktura. Osnovna građa mikroprocesorske zaštite (uređaja) prikazana je na slici 1.

ta. Programski (softverski) dio zaštite, općenito možemo reći, definira mikroprocesorsku zaštitu u cjelini.

Softver u mikroprocesorskoj zaštiti sastoji se od više programa, a svaki od njih obavlja posebnu funkciju. Prioriteti obavljanja pojedinih funkcija unaprijed se utvrđuju prema strogo definiranim načelima. Glavni ili osnovni program nadzire rad pojedinih programa te dodjeljuje prioritete i vrijeme rada. Osnovni program, osim navedenog, uzorkuje signale analognih i binarnih ulaza u diskretnim vremenskim intervalima. Primjerice, brzina uzorkovanja analognih signala jest osam uzoraka po periodi i kanalu. Svakako brzina uzorkovanja odnosi se na mikroprocesorske zaštite koje se primjenjuju kao osnovne zaštite u srednjonaponskim mrežama.

Osnovna podjela prioriteta koju dodjeljuje osnovni program za izvršenje pojedinih funkcija jest sljedeća:

a) *program za zaštitne funkcije,*
b) *program za dodatne funkcije,*



Slika 1. Osnovna građa mikroprocesorske zaštite (uređaja): 1 — jedinica analognog ulaza, 2 — centralna mikroprocesorska jedinica s memorijom, 3 — ulazno-izlazna (U/I) jedinica, 4 — jedinica za lokalnu i daljinsku dokumentaciju, 5 — jedinica za napajanje uređaja

Ovdje treba napomenuti da postoje male razlike u realizaciji, ovisno o proizvođaču.

PROGRAMSKA GRAĐA MIKROPROCESORSKE ZAŠTITE

Uz hardversku građu zaštite, programska struktura predstavlja osnovni dio mikroprocesorske zaštite, koja se mijenja prema raznolikim funkcijama zašti-

c) *program za funkcije lokalne odnosno daljinske komunikacije,*
d) *program za funkciju samonadzora mikroprocesorskog uređaja.*

Dakle, osnovna i primarna funkcija uređaja mikroprocesorske zaštite jest funkcija zaštite, što je i temeljna postavka cijelog uređaja.

Zaštitna funkcija uređaja mikroprocesorske zaštite

Od zaštite se traži rad u realnom vremenu s odzivom u vremenu nekoliko milisekundi. To znači da se algoritam zaštitne funkcije mora obaviti unutar vremena, između dva uzorkovanja. Sve to zahtijeva vrlo visok stupanj sofisticiranog rada programa za zaštitne funkcije, koji očigledno ovisi o brzini uzorkovanja.

U mikroprocesorskim zaštitama redovno je ostvareno više zaštitnih funkcija. Primjerice, u nadstrujnoj zaštiti, jednoj od najraširenijih u EES-u, obično je ostvarena integracija funkcija trofazne (usmjerene ili neusmjerene) prekostrujne zaštite, (usmjerene ili neusmjerene) zemljospojne zaštite i automatskog ponovnog uključenja. Takve izvedbe pridonose smanjenju cijene uređaja u svezi broja zaštitnih funkcija. Zaštitni uređaj, u većini izvedbi, mjeri struje (amplitude) primjenom Fourierove transformacije, primjerice za jednu fazu:

$$A=\frac{2}{M}\cdot\sum_{1}^{M} i_R(k)\sin\frac{2\pi k}{M} \qquad B=\sum_{2}^{M} i_R(k)\cos\frac{2\pi k}{M}$$

$$I_R=\sqrt{A^2+B^2}$$

gdje je:

$i_R(k)$ — uzorkovana vrijednost struje u trenutku k
M — broj uzoraka unutar jedne periode
I_R — amplituda struje.

Ako je izmjerena vrijednost struje veća od podešene, procesira se vremensko zatezanje pa nakon toga izvršna akcija.

Kako mikroprocesorska zaštita uzorkuje struje u diskretnom periodu dt, najviše se pozornosti pridaje realizaciji vremenskih članova. Kod vremenski nezavisnih karakteristika vremensko zatezanje izvršenja akcije dobiva se multiplikacijom vremena uzorkovanja odnosno njegovim brojanjem. Kod vremenski zavisnih karakteristika vremensko zatezanje se računa izrazom

$$t=\frac{K}{\left(\frac{I}{I_k}\right)^{\alpha}-1}$$

gdje je:

t — vrijeme odgode
K — konstanta
I — izmjerena struja
I_k — podešena struja
α — konstanta.

Za svaku zaštitnu funkciju postoji više *logika* i algoritama kako postaviti *zadatak* mikroprocesoru da u što kraćem vremenu obavi računanje, a zatim i planiranu akciju. Tako danas možemo reći da se praktički svaki proizvođač koristi svojim algoritmima koji su u direktnoj svezi traženih performansa zaštite, mogućnosti mikroprocesora i ekonomske isplativosti.

Ovdje treba svakako reći da po pojedinačnim zaštitnim funkcijama mikroprocesorska zaštita nema prednost prema prethodnim generacijama zaštita, što se očituje u brzini djelovanja.

Dodatne funkcije mikroprocesorskog zaštitnog uređaja

Integracija dodatnih funkcija mikroprocesorskih uređaja zaštite velika su prednost prema prijašnjim generacijama zaštita. U ovisnosti o zahtjevu kupaca, cijene uređaja te *razvojne logike,* proizvođači nude cijeli spektar dodatnih funkcija uređaja. Broj i vrsta dodatnih funkcija varira ovisno o proizvođaču.

Najčešće dodatne funkcije koje su integrirane u mikroprocesorske uređaje nadstrujne zaštite vodećih svjetskih proizvođača (ABB, GEC, SIEMENS) jesu:

Funkcija upravljanja

- upravljanje prekidačem
- upravljanje s više rasklopnih aparata
- hladni uklop
- automatski ponovni uklop
- uvjetna blokada upravljanja rasklopnim aparatima (interlocking)
- isklop nadređenog prekidača (back trip)
- rasterećenje (load shedding)
- obnavljanje uklopnog (restauracija) stanja

Funkcija mjerenja

- kontinuirano mjerenje struja (I_R, I_S, I_T, I_0)
- kontinuirano mjerenje napona (U_R, U_S, U_T, U_0)
- kontinuirano računanje snaga (P, Q, cos φ)
- mjerenje ΣI^2 po fazama pri isključenju prekidača
- mjerenje struja kvara (I_R, I_S, I_T, I_0)
- mjerenje napona kvara (U_R, U_S, U_T, U_0)
- mjerenje aktivnog vremena rada prekidača kod isklopa
- brojanje operacija isključenja prekidača

Funkcija zapisa

- zapis kvara
- zapis događaja
- zapis oscilograma kvara (sve analogne veličine i binarni ulazi/izlazi)

Funkcija odabira i blokada mogućnosti rada zaštitnog releja

- odabir grupe podešenja (jedno od dva)
- odabir ulaznih/izlaznih binarnih kanala
- odabir dodatnih pomoćnih vremenskih releja
- odabir vrste kvara (2/3 pKS)
- odabir rada zaštite za intermitirajuće kvarove
- odabir blokade rada pojedine zaštite

Funkcija nadzora

- nadzor nad rasklopnim aparatima
- nadzor ispravnosti i funkcionalnosti kompletnog uređaja.

Slične su funkcije i kod drugih vrsta zaštitnih uređaja. Iz prije navedenih funkcija, a dakako njihovom primjenom, povećava se sigurnost i raspoloživost ukupnog postrojenja gdje su ti uređaji instalirani.

Ne treba suviše objašnjavati da su za donošenje mjerodavnih procjena i odluka za vođenje EES-a u incidentnim stanjima nužne mogućnosti koje nam pružaju funkcije zapisa i mjerenja.

Važno je istaknuti mogućnost procjene stanja prekidača u EES-u na koji djeluje ovakav uređaj. Pomoću funkcije mjerenja možemo uistinu zaključiti u kakvom je stanju prekidač, a da pritom praktički i *ne vidimo*. Na temelju broja operacija prekidača, kumulativnoj kvadratnoj sumi prekinutih struja i vremenu rada prekidača može se donijeti valjani zaključak o stanju prekidača, a time i o sigurnosti cijeloga štićenog objekta. Ta mogućnost može bitno utjecati na smanjenje nemalih troškova održavanja postrojenja.

Dakle, smišljenim korištenjem mogućnosti koje nam pružaju dodatne funkcije mikroprocesorske zaštite bitno unapređujemo EES u cjelini. Istina je da su te mogućnosti bitno uvjetovane inventivnošću korisnika.

Funkcije lokalne i daljinske komunikacije

Značaj ove funkcije praktično je ključna mogućnost ovakvih zaštita jer bi bez toga velika većina dodatnih funkcija bila neuporabljiva.

Komunikacija čovjek – uređaj (Man Machine Interface) odvija se preko malog *displeja,* koji se nalazi na samom uređaju i nekoliko tipki. Pritiskom na tipke *prikazuju* se izbornik *ekrana* na *displeju,* te se *navigacijom* po izborniku pozicioniramo na funkciju koju želimo. Osim podešavanja same zaštite, putem MMI možemo očitati sve prije navedene funkcije osim oscilograma kvara koji možemo *skinuti* posebnim softverom.

Na slici 2. oznake F1 do Fn prikazuju *n* glavnih ekrana. *Navigacijom* po ekranima i prijelaz iz ekrana u ekran vrši se pritiskom na tipke (A), (B), (C) i (0). Nekim je tipkama pridružena dvostruka funkcija *navigacije* ovisno o dužine pritiska na tipku. Kretanje po ekranima prikazano je na slici 2.

Putem MMI omogućeno je podešavanje zaštite i odabir raznih dodatnih funkcija. Da bi se spriječilo neautorizirano prepodešavanje uređaja, instalirana je lozinka koju treba upisati prije svake radnje na promjeni parametara uređaja. Lozinku se može po volji odabirati i naknadno mijenjati.

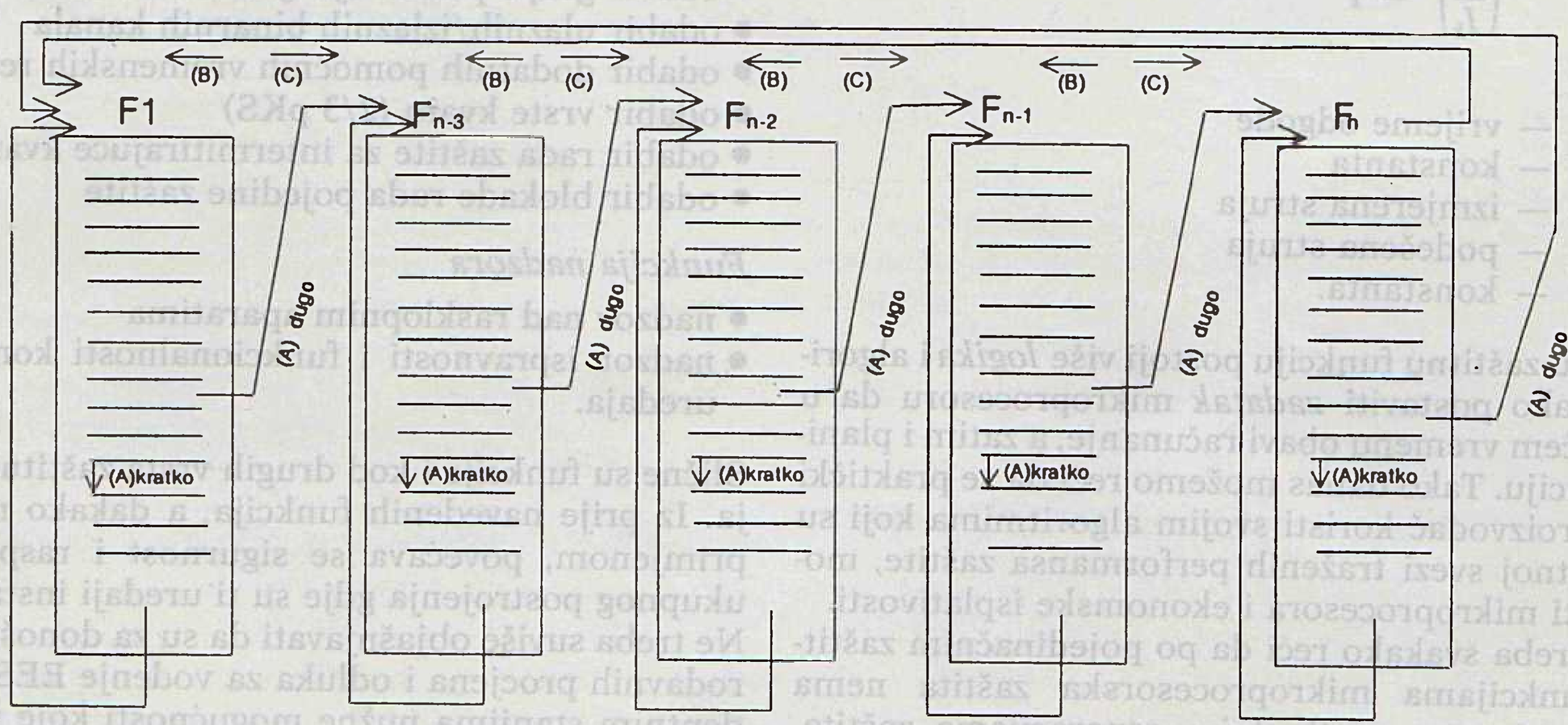
Na displeju uređaja u redovnom pogonu obično postoji zapis trenutnih mjerenja postavljenih veličina, primjerice (I_R, I_S, I_T, I_0). To očitanje s displeja može se po volji pretpodesiti.

Daljinska komunikacija omogućena je posebnim komunikacijskim ulazno/izlaznim jedinicama. Komunikacija se ostvaruje pomoću posebnih protokola (KBUS, SPA itd.), koji još za sada nisu standardizirani pa svaki proizvođač ima *svoj* protokol. Medij kojim se prenosi komunikacijski protokol jest optički ili žičani kabel. Za ostvarenje kvalitetne daljinske komunikacije potrebno je mikroprocesorske uređaje međusobno spojiti informatičkom sabirnicom, pa preko protokol pretvarača informatičku sabirnicu spojiti na računalo. S računalom i odgovarajućim softverom tada je omogućena potpuna daljinska komunikacija s uređajima, te su dostupne sve njegove funkcije uključujući i oscilogram kvara. Načelna shema spoja mikroprocesorski uređaj — informatička sabirnica — protokol pretvarač — računalo prikazano je na slici 3.

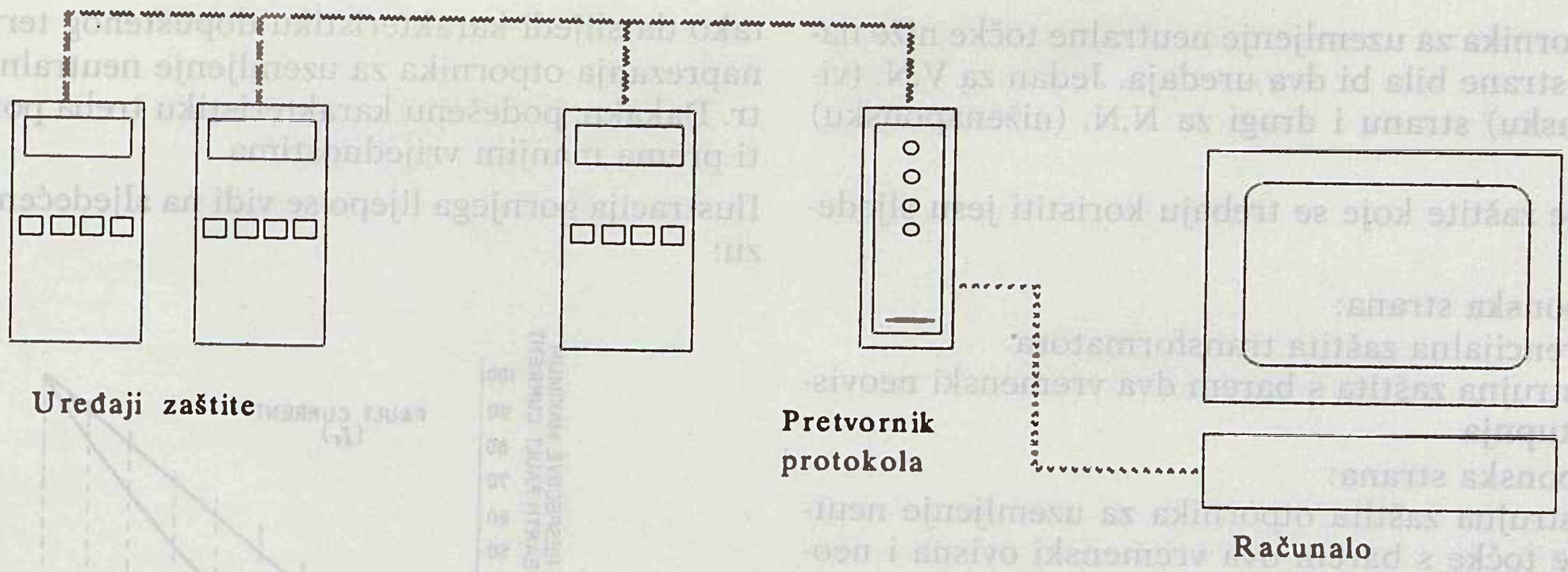
Svakako, to je najjednostavniji način povezivanja u sustav daljinskoga komuniciranja. Primjenjuju se i dvostruke petlje informatičkih sabirnica kako bi se povećala sigurnost prijenosa informacija kroz sustav za slučaj mehaničkog ili nekog drugog oštećenja informatičke sabirnice. Moglo bi se govoriti i o vrsti medija korištenog za informatičku sabirnicu, tehnološki trend je optički medij, no ne bi trebalo bez podrobnije analize odbaciti žičani medij.

Svakako da se računalo (stanično računalo) treba spojiti s nadređenim centrom, ali isto tako i s računalom inženjera za zaštitu u njegovu uredu. Vrste i načine spajanja ili povezivanja staničnog računala s nadređenim centrom ili inženjerskim računalom ovdje nećemo razmatrati.

Za male objekte, otočne pogone, moguće je daljinsku komunikaciju ostvariti običnim modemom putem komutirane veze (telefonska linija). To je rješenje za prijelazna razdoblja ili za razdoblje upoznavanja i praćenja rada novih mikroprocesorskih uređaja, što je i slučaj u Elektri Zagreb.



Slika 2. Sustav izbornik ekrana za jednu vrstu nadstrujne mikroprocesorske zaštite



Slika 3.

Funkcija samonadzora mikroprocesorskog uređaja

Istinska novost i glavna prednost mikroprocesorskih uređaja zaštite jest stalan samonadzor i samotestiranje cijelog uređaja. Funkcija samonadzora neprestano nadzire i testira elemente uređaja kao što su memorije, analogno digitalni krugovi, komunikacijski slijed podataka te ulazno/izlazne binarne jedinice. Algoritmi testiranja su različiti u ovisnosti o proizvođaču, no ono što je zajedničko za sve, to je činjenica da se kvar, neispravnost ili zatajenje dojavljuje lokalno na samom uređaju, a spajanjem uređaja u sustav za daljinsku komunikaciju, tada se dojavljuje staničnom računalu i nadređenom centru kao alarm.

MOGUĆA PRIMJENA MIKROPROCESORSKE ZAŠTITE U DISTRIBUCIJSKOJ TRAFOSTANICI 110/X kV

Kada govorimo o primjeni mikroprocesorske zaštite, tada se podrazumijeva da ta zaštita u potpunosti preuzima funkcije dosadašnjih sustava štićenja TS sekundarnim krugovima. Dakle, novom generacijom zaštita ne možemo supstituirati primarne zaštite kao što su: Bucholzov relej, kontaktni termometar, iskrišta i sl.

Mislimo da zaštitni uređaj u novoj tehnologiji mora sadržavati veći broj zaštitnih funkcija koje u potpunosti zadovoljavaju zahtijevane načine štićenja. Za složene elemente postrojenja, kao što je energetski transformator, integracija zaštitnih funkcija ne mora, i dapače ne smije, obuhvatiti sve zaštitne funkcije.

Zaštitu u TS 110/x kV, radi preglednosti, podijelit ćemo na tri zasebne skupine:

- zaštita 110 kV dovodnih polja i zaštita 110 kV sabirnica
- zaštita energetskog transformatora i zaštita pripadajućih otpornika za uzemljenje neutralne točke
- zaštita sabirnica N.N. i zaštita vodnih polja, mjernih polja, i polja kompenzacije i MTU-uređaja.

Zaštita 110 kV dovodnih polja i zaštita 110 kV sabirnica

Mikroprocesorski uređaj zaštite ne smije sadržavati integrirane sve funkcije zaštite, a ako ih ima, onda se neće sve namjenski koristiti. Za zaštitu 110 kV dovodnog polja jedan uređaj mora sadržavati funkciju distantnog releja kao osnovne zaštite, a drugi uređaj će sadržavati funkciju nadstrujne i zemljospojne zaštite, koje praktički predstavljaju rezervnu zaštitu. Ako zbog male dužine voda funkcija distantne zaštite ne odgovara, umjesto te funkcije primijenit će se uređaj s funkcijom uzdužne diferencijalne zaštite kao osnovnom zaštitom.

Zaštita sabirnica, ako će se uopće ugrađivati, logično mora biti jedan uređaj. Svakako, sva tri uređaja povezuju se u zajedničku informatičku cjelinu.

Zbog podijeljenosti nadležnosti i vlasničkih odnosa ove uređaje zaštite treba integrirati u informatički neovisan sustav koji će imati mogućnost naknadne integracije u informatički sustav cjelokupne stanice. Dakle, za ovaj dio postrojenja bit će nadležno *jedno* stanično računalo, koje se dalje spaja po potrebi na jedan ili drugi nadređeni centar.

Zaštita energetskog transformatora i pripadajućeg otpornika za uzemljenje neutralne točke

Energetski transformator predstavlja ključni dio svakoga distribucijskog postrojenja. Kako je to element postrojenja vrlo visoke vrijednosti te tehnološki, u smislu eksploatacije i održavanja, vrlo zahtjevan, potrebno je posebnu pozornost obratiti njegovoj zaštiti.

Pitanje kako štititi energetske transformatore većih snaga još uvijek je *nedefinirano*, te se primjenjuju razna rješenja. Uglavnom su to rješenja kod kojih je osnovna zaštita diferencijalna, odnosno drugo rješenje kotlovska zaštita.

Zbog iskustva i tradicije mislimo da je za nas prihvatljivija zaštita koja je koncipirana oko diferencijalne zaštite kao osnovne zaštite transformatora.

Uređaji zaštite trebaju biti što je moguće više integrirani. Kako se još danas na tržištu nisu iskristalizirala tipska rješenja, nego proizvođači nude raznolika rješenja s raznolikim stupnjem integracije, smatramo da bi bilo dobro predložiti osnovne smjernice kako izabrati i projektirati zaštitu transformatora.

Integracija zaštite ne smije biti u takvom stupnju da jedan uređaj pokriva zaštitu cijelog transformatora. Poželjna integracija zaštite, transformatora i pripad-

nog otpornika za uzemljenje neutralne točke niže naponske strane bila bi dva uređaja. Jedan za V.N. (višenaponsku) stranu i drugi za N.N. (niženaponsku) stranu.

Funkcije zaštite koje se trebaju koristiti jesu sljedeće:

višenaponska strana:
— diferencijalna zaštita transformatora
— nadstrujna zaštita s barem dva vremenski neovisna stupnja

niženaponska strana:
— nadstrujna zaštita otpornika za uzemljenje neutralne točke s barem dva vremenski ovisna i neovisna stupnja
— nadstrujna zaštita trafopolja N.N. s barem dva vremenski neovisna stupnja.

Opis funkcija zaštita:

— *Diferencijalna zaštita transformatora* predstavlja osnovnu zaštitu transformatora i štiti transformator od unutrašnjih kvarova.
— *Nadstrujna zaštita transformatora na V.N. strani* štiti transformator i pripadno postrojenje od kratkih spojeva te služi kao rezervna zaštita sabirnica.
— *Nadstrujna zaštita otpornika* štiti otpornik od pregrijavanja sabirnice od 1 pKS pripadajuće postrojenja od jednopolnih visokoohmskih kvarova pripadajuće postrojenja od *neograničenih* struja 1 pKS (premoštenje otpornika) te ima funkciju rezervne zaštite vodnih polja od 1 pKS.
— *REF* zaštita štiti namotaje N.N. strane transformatora od 1 pKS.
— *Nadstrujna zaštita trafopolja N.N.* štiti pripadne sabirnice od KS te ima funkciju rezervne zaštite vodnog polja od KS.

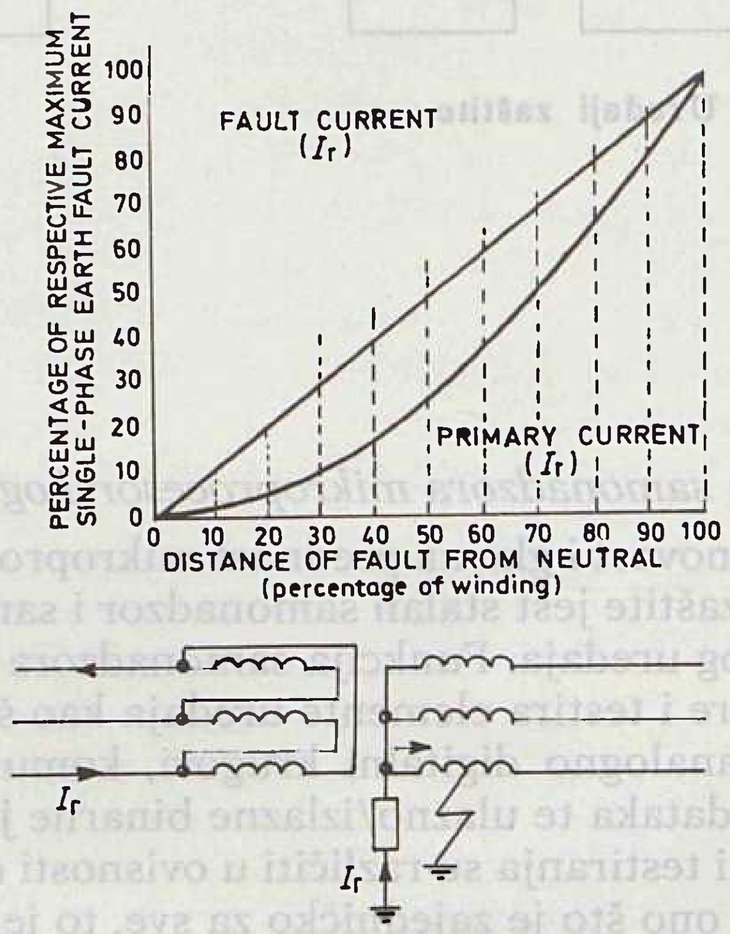
Novost u DP »Elektra« Zagreb jest REF-zaštita te koncepcija zaštite otpornika. REF-zaštita obuhvaća kvarove prema zemlji unutar štićenog područja (između str. tr. u trafopolju N.N. strane i str. tr. u spoju neutralna točka otpornik za uzemljenje neutralne točke). Ovdje se može postaviti pitanje: zar takve kvarove ne vidi diferencijalna zaštita? Diferencijalna zaštita, radi podešenja prorade, »ne vidi« kvarove ispod 20 – 50% In. U našim slučajevima ta vrijednost je negdje oko 30% In. Zbog specifičnih kvarova koji su funkcija mjesta kvara u transformatoru, »nevidljivi« kvarovi mogu biti i većih iznosa nego što su navedeni.

Dakle, sa slike 4. vidi se razlika između struja kvara i primarne struje, a na slici 5. pokrivenost namota diferencijalnom i REF-zaštitom.

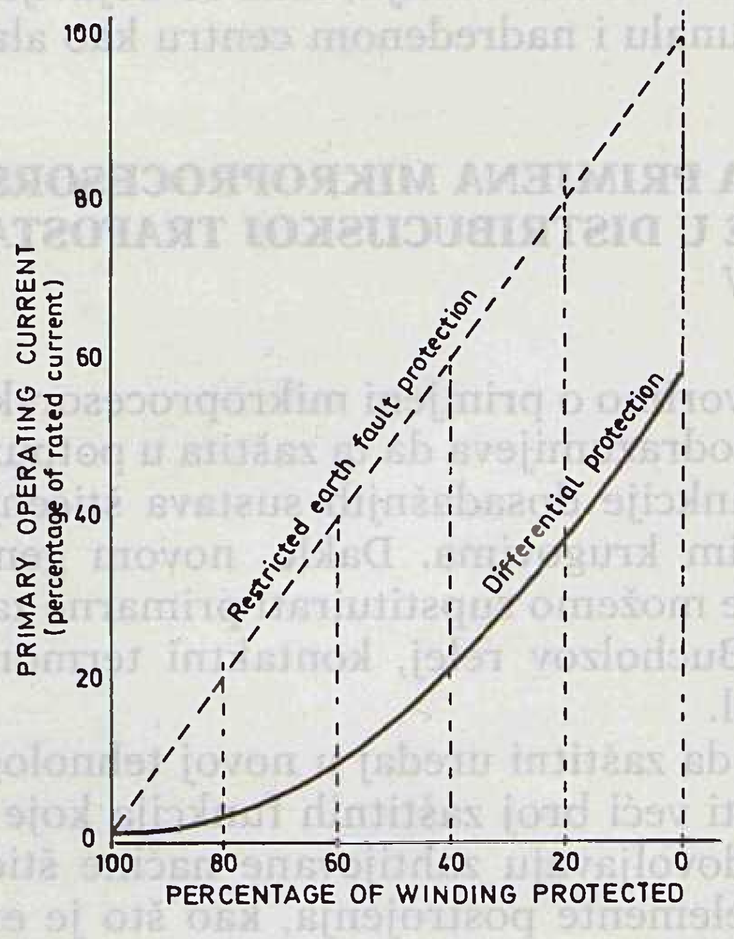
Zbog navedenoga smatram da se REF-zaštita treba ugrađivati kao zaštita od jednopolnih kvarova energetskih transformatora.

Kod zaštite otpornika novost ovog prijedloga jest u tome što se ugrađuje samo jedan st. transformator, koji se smješta što je moguće bliže neutralnoj točki energetskog tr. po mogućnosti na samom kotlu. Na taj str. tr. spaja se jedan *relej* koji ima više nadstrujnih i vremenskih funkcija. Takav relej mora imati mogućnost podešenja svoje proradne karakteristike tako da slijedi karakteristiku dopuštenog termičkog naprezanja otpornika za uzemljenje neutralne točke tr. Dakako, podešenu karakteristiku treba pomaknuti prema manjim vrijednostima.

Ilustracija gornjega lijepo se vidi na sljedećem prikazu:



Slika 4.



Slika 5.

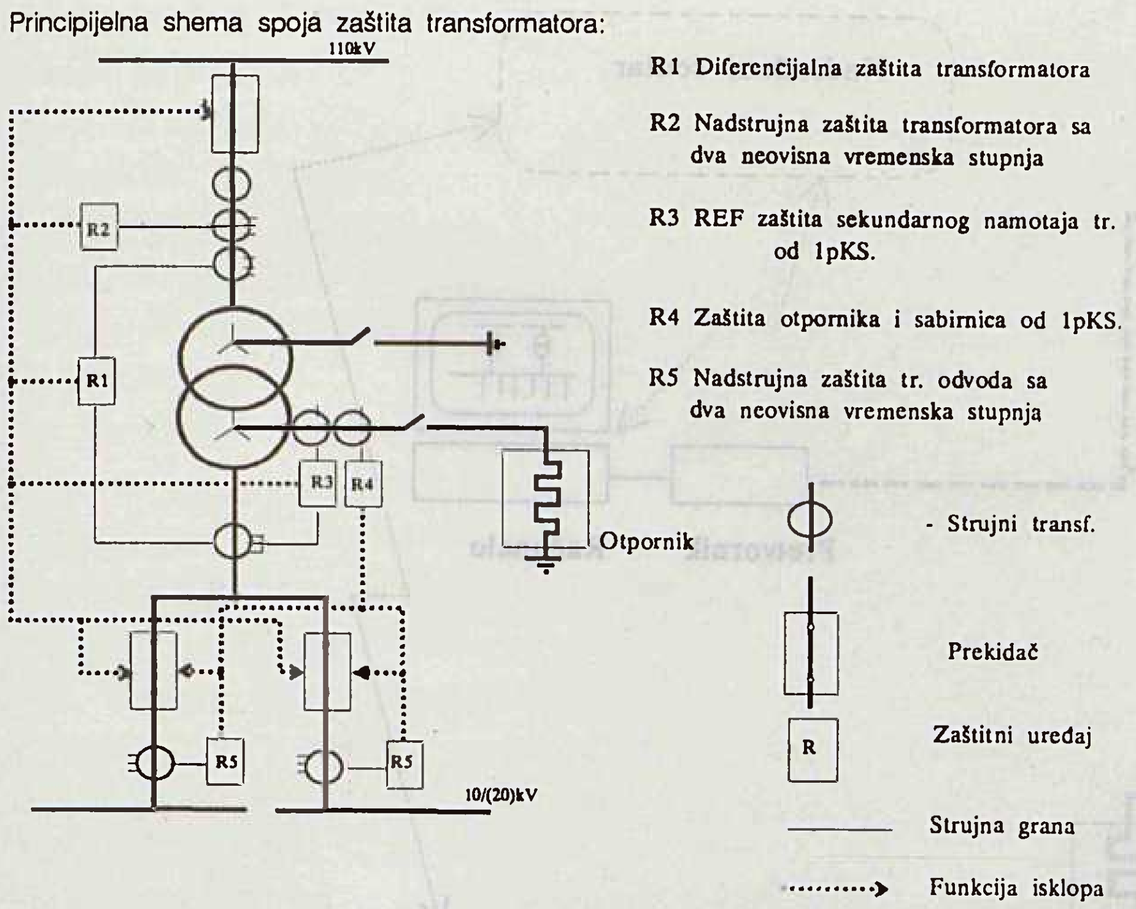
Signale i izvršne naloge primarnih zaštita (Bu relej, kontaktni termometar itd.) treba dovesti do sada zasebnog uređaja čija će funkcija biti prikupljanje, obrada i izvršenje potrebnih akcija.

Dakle, isto kao i prije, sve uređaje treba spojiti kao informatičku cjelinu.

Pri izboru zaštite treba obratiti pozornost na sljedeće dodatne mogućnosti zaštite:

— mora imati ulaz za vanjsku blokadu
— mora imati zaštitu od nekorektnog rada prekidača (CB Fail)
— mora imati mogućnost okidanja nadređenog prekidača (Back trip).

Energija, god. 44 (1995) 4, 181 – 189



Slika 6. Načelna shema spoja zaštita transformatora

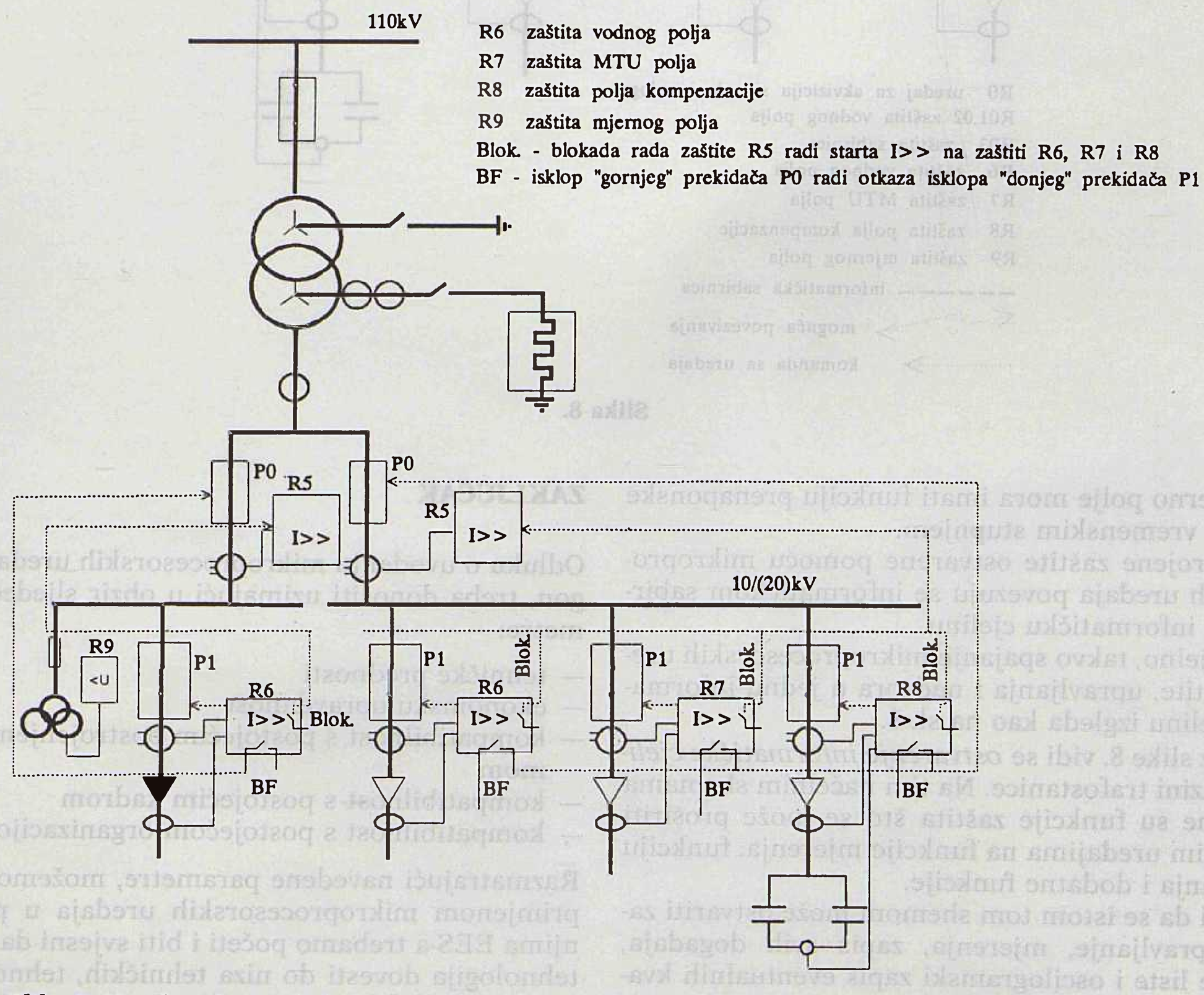
Ako se napravi takav izbor, tada zaštitom ugrađenom u trafopolja N.N. strane možemo postići *brzu zaštitu* N.N. sabirnica.

Zaštitne funkcije mikroprocesorske zaštite instaliranih u vodna polja N.N. integrirane su u jedan uređaj. Uređaj mora sadržavati funkciju nadstrujne zaštite s dva neovisna vremenska stupnja, zatim funkciju zemljospojne zaštite s jednim vremenski zavisnim stupnjem. Radi li se o zračnom vodu ili pretežno zračnom, tada uređaj mora sadržavati funkciju nadstrujne zaštite s dva vremenski neovisna stupnja, funkciju usmjerene zemljospojne zaštite s vremenski nezavisnim stupnjem i dodatnu funkciju automatskoga ponovnog uklopa.

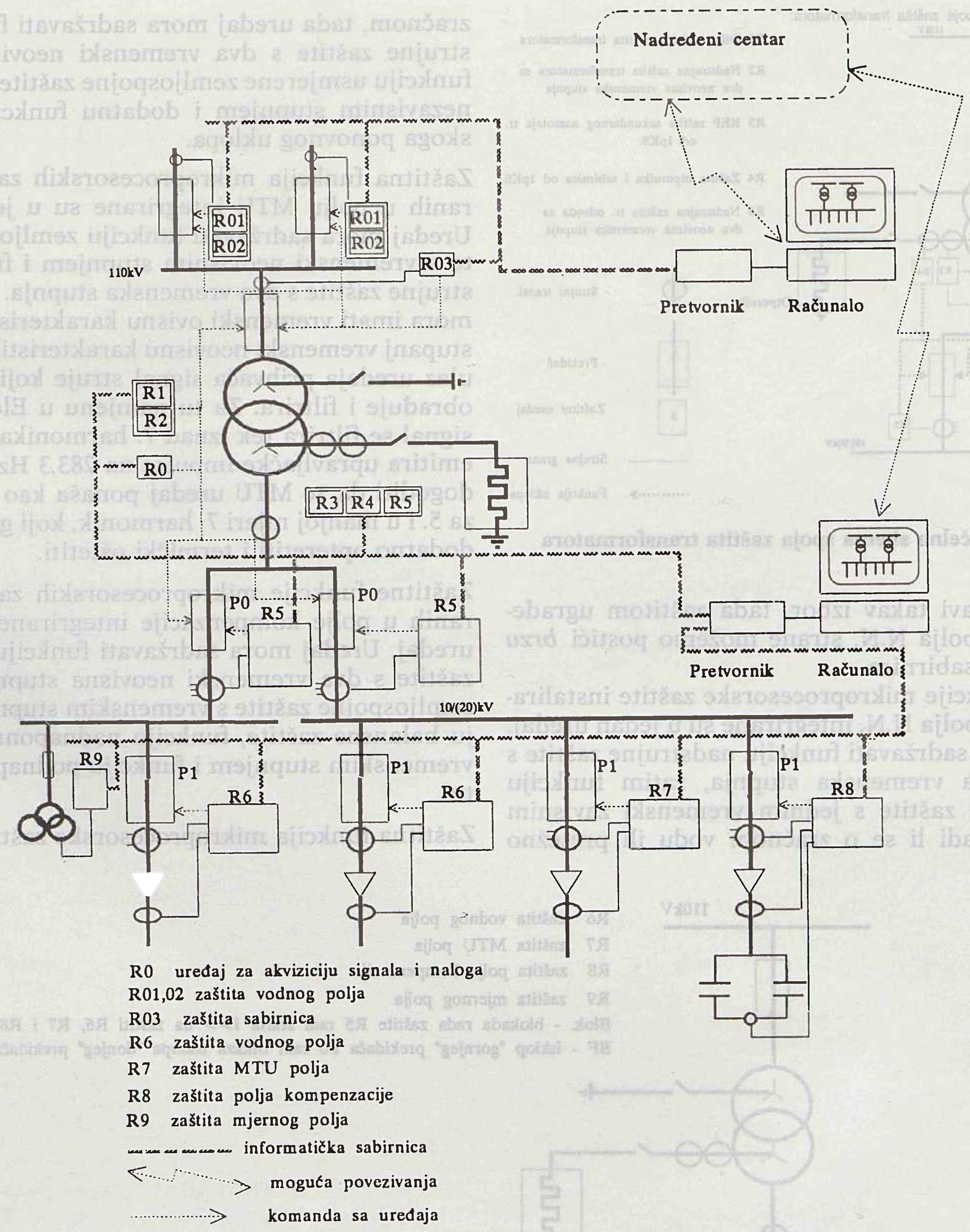
Zaštitna funkcija mikroprocesorskih zaštita instaliranih u polju MTU integrirane su u jedan uređaj. Uređaj mora sadržavati funkciju zemljospojne zaštite s vremenski neovisnim stupnjem i funkciju nadstrujne zaštite s dva vremenska stupnja. Prvi stupanj mora imati vremenski ovisnu karakteristiku, a drugi stupanj vremenski neovisnu karakteristiku. Analogni ulaz uređaja prihvaća signal struje koji nakon toga obrađuje i filtrira. Za tu namjenu u Elektri Zagreb signal se filtrira tek iznad 7. harmonika. Kako MTU emitira upravljačke impulse na 283,3 Hz, to se može dogoditi da se MTU uređaj ponaša kao *usisni* filtar za 5. i u manjoj mjeri 7. harmonik, koji ga tada mogu dodatno opteretiti i termički oštetiti.

Zaštitne funkcije mikroprocesorskih zaštita instaliranih u polje kompenzacije integrirane su u jedan uređaj. Uređaj mora sadržavati funkciju nadstrujne zaštite s dva vremenski neovisna stupnja, funkciju zemljospojne zaštite s vremenskim stupnjem, funkciju balansne zaštite, funkciju nadnaponske zaštite s vremenskim stupnjem i funkciju podnaponske zaštite.

Zaštitna funkcija mikroprocesorske zaštite instalira-



Slika 7. Načelna shema djelovanja zaštite sabirnica N.N. s »klasičnim« nadstrujnim funkcijama zaštita



Slika 8.

ne u mjerno polje mora imati funkciju prenaponske zaštite s vremenskim stupnjem.

Sve nabrojene zaštite ostvarene pomoću mikroprocesorskih uređaja povezuju se informatičkom sabirnicom u informatičku cjelinu.

Principijelno, takvo spajanje mikroprocesorskih uređaja zaštite, upravljanja i nadzora u jednu informatičku cjelinu izgleda kao na sl. 8.

Dakle, iz slike 8. vidi se *ostvarenje informatičke cjeline* na razini trafostanice. Na tim načelnim shemama prikazane su funkcije zaštita što se može proširiti ovim istim uređajima na funkcije mjerenja, funkciju upravljanja i dodatne funkcije.

To znači da se istom tom shemom može ostvariti zaštita, upravljanje, mjerenja, zapis svih događaja, alarmne liste i oscilogramski zapis eventualnih kvarova.

ZAKLJUČAK

Odluku o uvođenju mikroprocesorskih uređaja u pogon, treba donositi uzimajući u obzir sljedeće parametre:

- tehničke prednosti
- ekonomsku opravdanost
- kompatibilnost s postojećim postrojenjem i opremom
- kompatibilnost s postojećim kadrom
- kompatibilnost s postojećom organizacijom.

Razmatrajući navedene parametre, možemo reći da primjenom mikroprocesorskih uređaja u postrojenjima EES-a trebamo početi i biti svjesni da će nova tehnologija dovesti do niza tehničkih, tehnoloških i organizacijskih promjena. Ono što je najvažnije ova

tehnologija dovest će do smanjenja troškova poslovanja gledajući postrojenja u cjelini, a osobito u dijelu vođenja i održavanja postrojenja.
Tehničke prednosti mikroprocesorskog uređaja zaštite očituju se u visokoj fleksibilnosti podesivih parametara, stalnom samonadzoru, lokalnom i daljinskom komunikacijom te nizom izuzetno korisnih mogućnosti.
Ekonomska opravdanost ugradnje mikroprocesorskih uređaja u novo građena postrojenja očituje se smanjenjem troškova izgradnje, i to prema nekim analizama za otprilike 20%. To smanjenje troškova odnosi se na troškove vezane za sekundarnu opremu. Mora se napomenuti da je analiza rađena uz pretpostavku da će se ugrađena mikroprocesorska oprema eksploatirati u svojoj punoj konfiguraciji (zaštita, upravljanje, nadzor).
Kompatibilnost s postojećom opremom je potpuna, ali tada se koristimo samo dijelom mogućnosti ove opreme. Može se reći da mikroprocesorske uređaje ne treba interpolirati pojedinačno u postojeća postrojenja koja ne mogu koristiti barem 50% mogućnosti mikroprocesorskog uređaja.
Kompatibilnost nove tehnologije s postojećim tehničkim kadrom može biti znatan problem. Osim činjenice da se održavanje mikroprocesorskih uređaja sa samonadzorom vremenski bitno skraćuje uz manje angažiranje stručnih kadrova, uvjeti pouzdanosti eksploatacije uvjetuju kadrove verziranije u uporabi zaštita i automatika s novim tehnološkim rješenjima. Brzina tehnološkog razvoja uvjetuje i zapošljavanje novih mladih kadrova uz drukčiju obuku i obnavljanje znanja postojećega kadra. Ovdje ne smijemo zaboraviti staru okorjelu činjenicu o otporu i nepovjerenju prema novom ili promjenama, pa bilo to i tehnološki znatno bolje. (Prisjetimo se uvođenja računalske tehnike u svakodnevni život.)
Kompatibilnost nove tehnologije s postojećom poslovno-tehnološkom organizacijom je niska. Današnje organizacijsko stanje odgovara vremenu tehnološkog razvoja prije 10 do 15 godina. Što bi trebalo raditi na ovom polju djelatnosti, teško je reći, no čini mi se da će nove tehnologije vrlo brzo pokrenuti lavinski učinak rušenja poslovno-tehnološke organizacije te usvajanje nove, primjerenije današnjem tehnološkom trenutku.
Naposljetku treba reći da je nova tehnologija u domeni zaštite, upravljanja i nadzora sadašnjost i da od nje ne treba bježati, već, naprotiv, hrabro ali mudro usvajati tehnološke novitete radi što boljeg tehno-ekonomskog efekta poslovanja cijelog EES-a.

MICROPROCESSOR BASED PROTECTION, CONTROL AND SUPERVISION DEVICES AND POSSIBLE APPLICATION IN THE 110/10(20) kV POWER DISTRIBUTION NETWORK

Basic information on the new generation of digital protection, used for protection, control and supervision is offered. Protection, control and supervision function of the device are described, as well as some examples. The example of interconnection among the devices for protection, control and supervision into a unique information system inside the substation is given.

SCHUTZ-, STEUERUNGS- UND ÜBERWACHNUNGS-MIKROPROCESSOREINRICHTUNGEN UND DIE MÖGLICHKEIT DEREN ANWENDUNG IN DEN UMSPANNWERKEN 110/10(20) kV DES VERTEILUNGSNETZES

Dargestellt wird grundlegendes über die neue Generation digital ausführter Geräte für Schutz, Steuerung und Überwachung, sowie deren Wirkungsweisen. Vorgezeigt wird die Miteinanderverbindung dieser Geräte in eine informatische Einheit inerhalb eines Umspannwerkes.

Naslov pisca:

Goran Šagovac, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda — Distribucijsko područje »Elektra« Zagreb,
10000 Zagreb, Gundulićeva 32, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995 – 08 – 01

ISPITIVANJE »VRUĆIH VODIČA« I OVJESNE OPREME TE PRAĆENJE POGONA DV 110 kV STON – KOMOLAC

Srećko Bojić — Josip Kučak — Zvonimir Firšt — Davor Đurđević, Zagreb i Goran Čubra, Split

UDK 621.315.5:621.317
STRUČNI ČLANAK

U ratnim razaranjima tijekom domovinskog rata teško su oštećeni ili srušeni brojni elektroprivredni objekti, među kojima i dalekovodi 110 kV Ston – Komolac i Đakovo – Našice.
Prioritet njihova popravka i potreba povećanja prijenosne snage, uz istodobno minimiziranje troškova, uvjetovali su primjenu novih vodiča s većom mogućnošću termičkog opterećenja.
S obzirom na implementaciju novoga tehnološkog rješenja provedena su opsežna ispitivanja vodiča i ovjesne opreme te započeto praćenje jednog od dalekovoda u redovnom pogonu.

Ključne riječi: »vrući vodič«, »crni vodič«, ispitivanja, praćenje pogona.

UVOD

U domovinskom ratu tijekom 1991. i 1992. godine Hrvatska elektroprivreda pretrpjela je goleme štete. Mnogi elektroprivredni objekti ostali su na području privremeno zauzete Hrvatske, a brojni drugi bili su razrušeni ili znatno oštećeni ratnim djelovanjem. Stradali su izvori, prijenosna i distribucijska mreža, pa zbog takvog stanja nije bilo moguće potrošačima osigurati dovoljne količine kvalitetne električne energije.

Pojedina područja Hrvatske bila su bez struje ili pod velikim redukcijama.

Situacija je ublažena provođenjem niza interventnih mjera.

Brojne sanacije objekata, izgradnja raznih provizorija i izgradnja nužnih novih objekata ublažile su teško energetsko stanje Hrvatske, ali su zahtijevale veliki napor svih sudionika i velika novčana sredstva.

Zbog tih i sličnih razloga od svakoga pojedinoga srušenog ili oštećenoga dalekovoda trebalo je iskoristiti dionice koje se moglo, a od preostalog koristiti materijal i dijelove. Dogradnjom ili rekonstrukcijom trebalo je što hitnije stvoriti novu elektroenergetsku mrežu Hrvatske.

U takvim okolnostima donesene su i odluke da se oštećeni i djelomično srušeni dalekovodi DV 110 kV Ston – Komolac i DV 110 kV Đakovo – Našice, dionica: Đakovo – Razbojište rekonstruiraju ugradnjom novih vrsta vodiča, kakvi do tada nisu bili primjenjivani u elektroenergetskoj mreži Hrvatske. To su užeta slična konvencionalnim AL/Č užetima, koja podnose veće temperature, dakle i veću strujnu opteretivost, a time omogućuju i prijenos veće snage. Budući da pri tome nije nužno mijenjati stupove i izolaciju, cijena rekonstrukcije mnogo je manja i vremenski kraća od slučaja da se gradi novi dalekovod.

U Europi i u svijetu ima nekoliko proizvođača takvih užeta, a ona se uvelike primjenjuju za rekonstrukciju dalekovoda u Njemačkoj i Austriji.
S obzirom na opisane okolnosti u Hrvatskoj i uzimajući iskustva spomenutih zemalja, odlučili smo takva užeta primijeniti na objekte HEP-a.
Procedura izbora proizvođača, odabir presjeka i konstrukcija užeta, izradba nužne projektno-tehničke dokumentacije te izradba i isporuka užeta tekla je zbog hitnosti usporedo s kontrolom kvalitete, ispitivanjima uzoraka užeta, ovjesnog i spojnog materijala te montažom. U ovu proceduru bili su izravno uključeni stručnjaci HEP-a tvrtke Dalekovod Zagreb, Instituta za elektroprivredu i energetiku Zagreb te, dakako, proizvođač užeta tvrtka Berndorf iz Austrije. Od samog početka informirana je Elektroenergetska inspekcija Ministarstva gospodarstva Republike Hrvatske o primjeni novog užeta da je dala pismeno odgovarajuću uputu i pozitivno mišljenje.

Također, u završnoj je fazi procedura za dobivanje odobrenja primjene novog užeta od Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo.

Radi cjelovite verifikacije primjene novog užeta u elektroenergetsku mrežu HEP-a u tijeku je praćenje pogonskog iskustva i uvođenja monitoringa na navedenim rekonstruiranim dalekovodima.

1. O IZBORU »VRUĆEG VODIČA«

Osnovna intencija pri sanaciji i rekonstrukciji oštećenih dalekovoda 110 kV Ston – Komolac i Đakovo – Našice bilo je povećanje njihove prijenosne snage, a da se pri tome zadrži postojeća mehanička konstrukcija stupova bez dodatnih ojačanja ili interpolacije novih stupnih mjesta. Takvo rješenje ujedno je pružalo minimalne zahtjeve glede financijskih izdataka i prioritetnih rokova završetaka.

U tako postavljenim polaznim okvirima bilo je potrebno supstituirati postojeći AL/Č vodič 150/25 mm² vodičem »identičnih« mehaničkih svojstava, ali s većom mogućnošću trajnoga strujnog (termičkog) opterećenja.

U traženju takvog rješenja, poštujući sve relevantne analize s aspekta zahtijevanog povećanja prijenosne snage, mehaničkih svojstava vodiča i postojećih nosnih konstrukcija, sigurnosnih visina, kao i ostalih minimalno potrebnih izmjena i zahvata, od ponuđenih je izabran »vrući« vodič (uže):

tip: BTAL/STALUM[1] 154/19 mm²

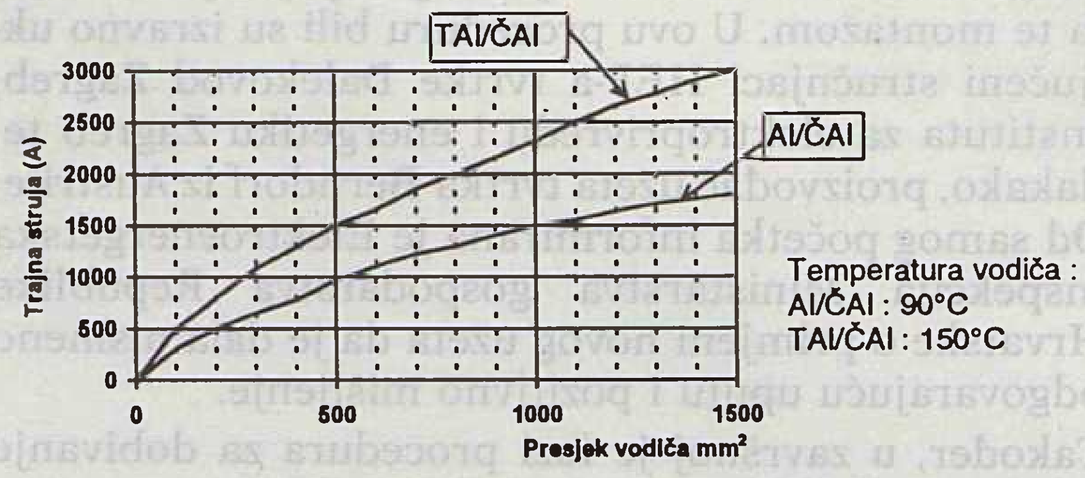
renomiranog austrijskog proizvođača Berndorf F.A.S.

U čemu se svojstva izabranog vodiča bitno razlikuju u odnosu na klasični AL/Č vodič, vidljivo je iz tablice 1. i slike 1. [1].

Tablica 1.

	E – Al*	TAL
Vodljivost, m/(Ω mm²)	35,38	34,80
Srednja vlačna čvrstoća, daN/mm²	16 ÷ 19	16 ÷ 19
Modul elastičnosti, daN/mm²	6000	7135,14
Koeficijent linearnog istezanja, 1/°C	$2{,}3*10^{-5}$	$2{,}05*10^{-5}$
Maksimalna dopuštena temperatura, °C		
— u trajnom pogonu	80	150
— kratkotrajna (do 30 min)	(80)	180
— kratkospojna	200**	260

* Prema JUS-u N.C1.301 i N.C1.302/1990.
** JUS-om nije definirano, pa preuzimamo prema preporuci DIN VDE 0103/IV 1988.



Slika 1.

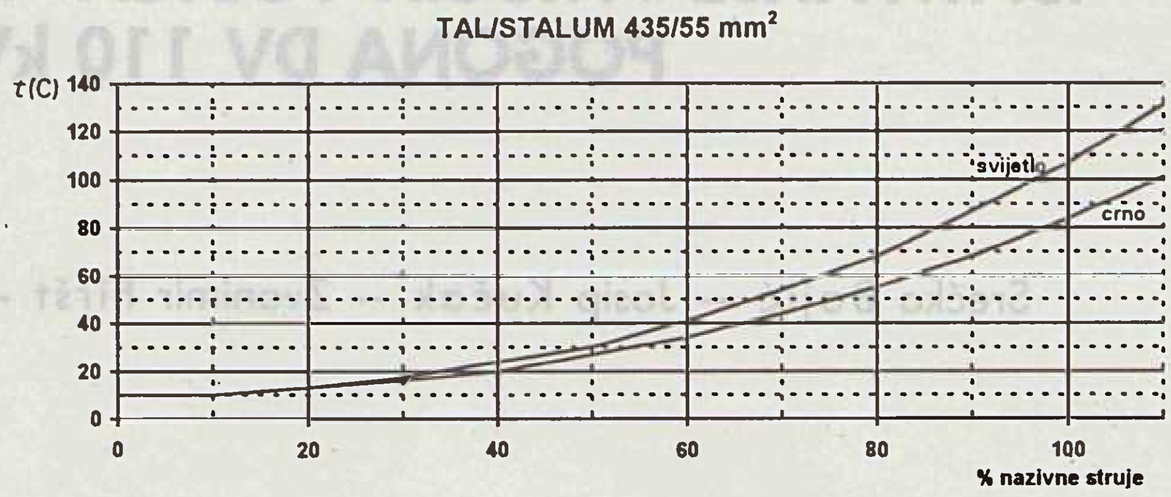
Dakle, evidentna je razlika u trajnim i kratkotrajnim podnosivim strujama, a time i temperaturama, pri čemu nema trajnih degradacija mehaničkih svojstava.

Također, treba naglasiti da je u ovom slučaju izabrani »vrući vodič« ujedno i »crni vodič« jer je vanjska površina vodiča premazana crnom bojom radi poboljšanja termičkih svojstava vodiča (sniženje temperature vodiča zbog veće isijane energije)[2]. Otuda i naziv BTAL u odnosu prema neobojenim (svijetlim) vodičem označenim s TAL.

[1] TAL/STALUM — plašt užeta (žice od termostabilnog Al) / jezgra užeta (čelične žice obložene ekstrudiranim aluminijem). U engleskom govornom području kratica: TACSR/ACS.

[2] Stefan – Boltzmanov zakon zračenja

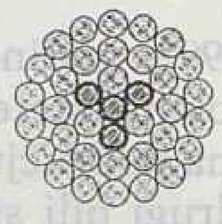
Utjecaj bojenja površine vodiča na temperaturu vodiča pri raznim opterećenjima vidljiv je na slici 2. [2] i dolazi do izražaja pri višim temperaturama vodiča, odnosno većim strujnim opterećenjima.



Slika 2.

Detaljnije tehničke karakteristike za odabrani vodič BTAL/STALUM 154/19 mm² vidljive su iz priložene tehničke specifikacije proizvođača.

Berndorf F.A.S. TECHNICAL DATA OF CONDUCTOR
A-2560 Berndorf/Österreich



CODE NAME: 154/19
MATERIAL: BTACSR/ACS

1. CALCULATION ACCORDING TO DIN VDE 0210
2. BASIS CONDUCTOR
3. CONSTRUCTION

3.1. CORE
1 x 2,44 ACS
3 x 2,44 ACS
3 x 2,44 TAL

3.2. OUTER LAYER
12 x 2,44 TAL
18 x 2,44 TAL

WIRE STRENGHT ACC.TO DIN 48200

3.3 TOTAL DIAMETER 17,08 mm

3.4 CROSS SECTIONAL AREA mm2

NOMINAL	
TOTAL	173,01
ACS	18,70
TAL	154,31
CROSS-SECTIONAL RATIO M =	8,25

3.5. WEIGHT OF CONDUCTOR kg/km

TOTAL	....GGL
GGL	545
ACS	124
TAL	422
%ACS	22,66
%TAL	77,34

4. TECHNICAL DATA

4.1. Modulus of elasticity	E (daN/mm2)	=	7135,14
4.2. Coefficient of linear expansion	EPT (1/°C)	=	2,05E-05
4.3. Conducting cross-section	QL(mm2)	=	160,54
4.4. Permissible Current	ID (A)	=	787,00 *)
4.5. Rated Current	ID (A)	=	600,00**)
4.6. DC-resistance at 20°C	R (Ohm/km)	=	0,1810
4.7. Endurance tensile strength	SD (daN/mm2)	=	22,18
4.8. Calc. breaking load	PB (daN)	=	5031,80
4.9. Ratio breaking load/conductor weight	PB/GGL	=	9,23
4.10. Density	QL (kg/m.mm2)	=	3,1519E-03
4.11. Tensile strength	SZ (daN/mm2)	=	29,08

*) Calculation is based on: Conductor temp.150°, Ambient temp.40° Sun radiation 895 W/m², Wind speed. 0,6 m/s; ε = 0,93.

**) as above, but Conductor temperature 100°C

1994-01-18

BERNDORF F.A.S.
Leoberdorferstraße 26

Slika 3.

2. ISPITIVANJA VODIČA I SPOJNE OPREME

Rekonstrukcijom predmetnih dalekovoda 110 kV prvi se put u našu elektroprivrednu praksu uvode »vrući«, odnosno »crni vodiči«, koji zasigurno kao tehnološka novost zahtijevaju sistematičan pristup u njihovu implementiranju u svakodnevnu praksu.
Pri prihvaćanju i usvajanju nekog od proizvoda kvalitativna ispitivanja imaju svoje posebno mjesto, osobito ako se radi o potrebi dugoročnog praćenja i ponašanja radi donošenja konačne ocjene o prikladnosti i primjenljivosti.
S druge strane, specifičnost nekog od podneblja gdje se vrši implementacija novog proizvoda može zahtijevati niz dopunskih mjera s obzirom na uobičajene i standardizirane mjere praćenja i ispitivanja.
Svrha i cilj planiranog i provedenog opsega ispitivanja pri izboru »vrućih« odnosno »crnih« vodiča svakako je provjera traženih deklariranih, garantiranih i propisima definiranih vrijednosti u sklopu ispitivanih fizikalnih svojstava.
Cjelokupni »željeni« opseg ispitivanja i mjerenja proveden je u nekoliko cjelina:

1. ispitivanje vodiča u tvornici proizvođača (preuzimna ispitivanja),
2. ispitivanje vodiča sa spojnim materijalom,
3. mjerenja na dalekovodu

Prema odgovarajućim normama i propisima te uz prisutnost odgovarajućih nadzornih stručnih osoba i institucija prilikom njihove provedbe.

2.1. Ispitivanje vodiča u tvornici proizvođača

Preuzimna ispitivanja u tvornici proizvođača uz prisutnost (nadzor) kupca odnosno predstavnika kupca provedena su na uzorcima ispitivanog vodiča, sukladno ukupnoj količini za isporuku i zahtjevima adekvatnih standarda i propisa.
Ispitivanja su provedena DIN 48200 T5 i DIN 48203 T8 i DIN 48204 u sljedećem opsegu [3]:

Zahtjevi na aluminijske BTAL žice:
— mjerenje koraka
— mjerenje promjera žice
— zatezna čvrstoća
— ispitivanje namotavanjem
— specifični električni otpor.

Zahtjevi na stalum žice (čelična žica obložena s 25% Al):
— mjerenje koraka
— mjerenje pri izduženju 1%
— zatezna čvrstoća
— ispitivanje uvijanjem
— mjerenje debljine Al-sloja
— mjerenje specifičnog električnog otpora.

Sva provedena ispitivanja na uzorcima vodiča u tvornici proizvođača potvrdila su deklarirane i standardima zahtijevane vrijednosti pojedinih veličina.
Karakteristični rezultati ispitivanja na jednom uzorku za ilustraciju prikazani su na sl. 4, 5. i 6. (194. i 195. str.).

2.2. Ispitivanje vodiča sa spojnim materijalom

Ispitivanja vodiča provedena u tvornici proizvođača govore prije svega o karakteristikama materijala i konstruktivnim detaljima samog užeta.
Ispitivanju užeta BTAL/STALUM kao cjeline, uključujući i specifičan spojni materijal (pribor, opremu) pridana je posebna pozornost.
Sva su ispitivanja provedena u ispitnom laboratoriju »Dalekovod« — Zagreb.
Ispitivanjem i simulacijom realnih uvjeta (sa zagrijavanjem vodiča u mehanički opterećenom stanju i bez zagrijavanja) provjerena je deklarirana karakteristika vodiča za nazivne projektirane vrijednosti.
Ispitivani vodič, priključen na uređaj za zagrijavanje istosmjernom strujom, montiran je preko (kompresionih) stezaljka u »kidalici« s mogućnošću mjerenja prekidne sile. Praćenje ponašanja vodiča obavljeno je uz pomoć tenzometara, a rezultati ispitivanja kontinuirano su snimani na računalo.
Temperatura se mjerila preko digitalnoga kontaktnog termometra na vodiču i na stezaljkama.
Uz ispitivanje vodiča sa zagrijavanjem i bez zagrijavanja provedena su i ispitivanja ovjesnog i spojnog materijala, i to:

— zateznih – priključnih stezaljka
— nastavnih spojnica
— spojnica za popravak vodiča
— nosivih stezaljka
— bikoničnih prutova (u nosnoj stezaljki).

Sva navedena mehanička ispitivanja provedena su uz prisutnost kupca i/ili predstavnika kupca, a prema standardu RH NN 53/91; N.F2.010 [4], a neki od rezultata, ilustracije radi, priloženi su u nastavku.

2.3. Mjerenja na dalekovodu

Ispitivanja i mjerenja na rekonstruiranom dalekovodu 110 kV Ston – Komolac posljednja su grupa ispitivanja za konačnu verifikaciju karakteristika izabranog »vrućeg« (crnog) vodiča te pojedinih karakterističnih projektiranih i izvedenih veličina.
Tu prije svega mislimo na mjerenje sigurnosnih visina za definirane pogonske uvjete i realne meteorološke parametre.
Prva grupa takvih mjerenja obavljena je 22. 2. 1994. na dvama različitim mjestima unutar trase dalekovoda, između stupova broj 18 i 19 i stupova broj 38 i 39. U tu je svrhu na stup ispod donje konzole montiran rekorder tip VIBREC 300 kojim je mjerena temperatura i brzina vjetra. Na reperima ceste između st. br. 18 i 19 i između st. br. 38 i 39 mjerene su sigurnosne visine svakih 10 minuta s ultrazvučnim visonomjerom SUPARULE 300 D.
Na vodič je pričvršćen živin maksimum-termometar koji je trebao izmjeriti maksimalnu temperaturu u mjerenom razdoblju. U TS Ston i TS Komolac mjerila se snaga, odnosno struja opterećenja dalekovoda.
Mjerenje u rasponu između st. br. 38 i 39 nije se pokazalo uspješnim (problemi s termometrom i rekorderom).

ABNAHMEBERICHT / INSPECTION REPORT

berndorf f.a.s.

BERNDORF FREILEITUNGEN UND
ALUMINIUM - SONDERPRODUKTE GESELLSCHAFT M. B. H.
Leobersdorfer Straße 25, A - 2560 Berndorf / Austria

PROJEKT / PROJECT: 110 KV STON - KOMOLAC
KUNDE / CUSTOMER: HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA, HR-41000 Zagreb
HERSTELLER/MANUFACTURER: BERNDORF F.A.S., A-2560 Berndorf
BESTELL-NR. / PURCHASE NO.: CONTRACT NO. 04014
AUFTRAG-NR. / ORDER NO.: 04014

1. PRÜFER / INSPECTOR: INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU I ENERGETIKU d.d.
HR-41000 Zagreb, Hr. D.I. SRECKO BOJIC

2. ABNAHMEORT / PLACE OF INSPECTION: Berndorf
ABNAHMEDATUM / DATE OF INSPECTION: 13.04.1994

3. GEPRÜFTES MAT./ INSPECTED MATERIAL.: BTACSR/ACS 154/19
Aufbau: 33 x 2,44 TAL, 4 x 2,44 ACS

4. UNTERLAGEN FÜR DIE PRÜFUNG (Normen, Spezifikationen usw.):
DOCUMENTS FOR INSPECTION (Standards, Specifications etc.):
DIN 48200 / T5 + T8, DIN 48203, DIN 48204; SEILDATENBLATT

5. ERGEBNISSE DER PRÜFUNG / RESULTS OF INSPECTION:
44 Trommeln á 2770 m gemäß Trommelliste 1. bis 4. LKW
Gesamtgewicht netto 67.442 kg
44 DRUMS á 2770 m acc. DRUM LIST FOR THE 1st - 4th TRUCK
TOTAL WEIGTH NET 67.442 KGS

ANGENOMMEN / ACCEPTED [X]
BEDINGT ANGENOMMEN / ACCEPTED AS NOTED [ ]
ZURÜCK-GEWIESEN / REJECTED [ ]

6. BESEITIGUNG DER MÄNGEL BIS / REPAIR OF DEFICIENCIES UNTIL DAT: ---

DATUM UNDUNTERSCHRIFT / DATE AND SIGNATURE 14.04.1994

ABNEHMER / INSPECTOR	KUNDE / CUSTOMER	HERSTELLER / MANUFACTURER
IE-Zagreb	HEP - Zagreb	BERNDORF F.A.S.
D.I. Bojic	D.I. Delonga, D.I. First	

ABNPROT1.XLS

berndorf f.a.s.
Freileitungen und Aluminium Sonderprodukte
Gesellschaft m. b. H.
2560 Berndorf / Austria / Europe

CONDUCTOR
INSPECTION REPORT
(acc. to EN 10204 - 3.2)

No 15
Date 13-04-94

Purchaser: HEP	Our order no.: 4014 22-03-94	Your order no.: No. 04014 13-01-94
Product: BTACSR / ACS	Size: 154 / 19 mm²	Delivery - note:
Drum no.: E 16 / 131	Conductor length (m):	Net weight (kg):
Terms of delivery: DIN 48203 / T8	Wire standard: DIN 48200 / T5 / T8	Conductor standard:

Conductor diameter:

nominal	actual
17,08	17

Stranding:

	Number	Ø	Material		Number	Ø	Material
1. Lay	1+3	2,44	ACS	4. Lay			
	3	2,44	Tal	5. Lay			
2. Lay	12	2,44	Tal	6. Lay			
3. Lay	18	2,44	Tal	7. Lay			

Lay direction of outermost layer: right

Conductor weight p. m. (incl. grease): nominal / actual
Conductor weight p.m. (excl. grase): nominal 545 g / actual
Weight of grease (g/m): nominal / actual

	Length of Lay nominal min.	max.	Length of Lay actual	Lay Ø nominal	Lay Ø actual	Lay ratio nominal min.	max.	Lay ratio actual	Lay direction
1. Layer	95	205	133	7,32	7,2	13	28	18,5	right
2. Layer	122	195	133	12,20	12	10	16	11,1	left
3. Layer	171	239	183	17,08	17	10	14	10,8	right
4. Layer									
5. Layer									
6. Layer									
7. Layer									
8. Layer									

We hereby certify, that the material described above has been tested and complies with the terms of order

berndorf f.a.s.	HEP-ZAGREB	IE-ZAGREB	HFG
Freileitungen und Aluminium Sonderprodukte Gesellschaft m. b. H. Responsible for quality	D.I. Delonga D.I. First	ENERGY INSTITUT D.I.Bojic	2560 Berndorf Hr. Faber

Unterschrift

© HFG 1993 AN 15-94 XLS

Slika 4.

berndorf f.a.s.
Freileitungen und Aluminium Sonderprodukte
Gesellschaft m. b. H.
2560 Berndorf / Austria / Europe

CONDUCTOR
INSPECTION REPORT
(acc. to EN 10204 - 3.2)

No.: 15-1
Date.: 13-04-94

Purchaser: HEP	Our order no.: 4014 22-03-94	Your order no.: No. 04014 13-01-94
Product: BTACSR / ACS	Size: 154 / 19 mm²	Wire standard: DIN 48200 / T8 / T5
Drum no.: E 16 / 131	Length of conductor (m):	Net weight (kg):
Conductor weight p.m. (incl. grease):	Conductor weight p.m. (excl. grease):	Weight of grease (g/m)

Lay:	Length of Lay	Ø Lay	Lay ratio ist	Lay ratio soll	Lay direction	Stranding
1. Lay						
2. Layer						

No.	ø	Area	Load at 1% Extension	Strength at 1% Extension	Breaking load	Tensile strength	Elong.	Torsion test	Wrapping test	Electr. resistivity or conductivity at 20° C	Thickness of Al - cladding min.	max.	Breaking Elong.	Mikro-hardn.
	mm	mm²	N	N / mm²	N	N / mm²	%	n		S m/mm² or Ω mm²/m	mm	mm	%	MH
Nom.	2,44					1290		20		11,790000	0,09			
±	0,040													
1	2,42	4,60	6520	1418	7180	1561	1,96	42	ok	13,000000	0,16	0,18		
2	2,43	4,64	6350	1369	7250	1563	1,97	45	ok	12,870000	0,15	0,18		
3														
4														
Nom.	2,44					168				34,800000				
±	0,030													
1	2,45	4,71			940	199			ok	34,970000				
2	2,45	4,71			930	197			ok	35,030000				
3														

Notes: Test no.:

We hereby certify, that the material described above has been tested an complies with the terms of the order

berndorf f.a.s.	HEP-ZAGREB	IE-ZAGREB	HFG
Freileitungen und Aluminium Sonderprodukte Gesellschaft m. b. H. Responsible for quality	D.I.Delonga D.I. First	ENERGY INSTITUT D.I. Bojic	2560 Berndorf Hr. Faber

Unterschrift

© HFG 1993 AN-15A94 XLS

berndorf f.a.s.
Freileitungen und Aluminium Sonderprodukte
Gesellschaft m. b. H.
2560 Berndorf / Austria / Europe

WIRE
INSPECTION REPORT
(acc. to EN 10204 - 3.2)

No.: 15-2
Date: 13-04-94

Purchaser: HEP	Our order no.: 4014 22-03-94	Your order no.: No. 04014 13-01-94
Product: BTACSR / ACS 154 / 19 mm²	Size: Ø 2,44 mm	Wire standard: DIN 48200 / T5

No.	Ø	Area	Breaking load	Tensile strength	Elongation	Wrapping Test	Elektr. resistivity or conductivity at 20 °C	Note
	mm	mm²	N	N / mm²	%		S m/mm² or Ω mm²/m	
Nom.	2,44			168			34,800000	
±	0,030							
			2 LAY					
1	2,45	4,71	860	182		ok	35,050000	
2	2,45	4,71	870	185		ok	35,060000	
3	2,45	4,71	850	180		ok	34,990000	
			3. LAY					
1	2,45	4,71	900	191		ok	35,050000	
2	2,45	4,71	900	191		ok	35,060000	
3	2,45	4,71	890	189		ok	35,010000	
4	2,45	4,71	880	187		ok	35,070000	
5	2,45	4,71	890	189		ok	35,080000	

Notes:

We hereby certify, that the material described above has been tested and complies with the terms of order

berndorf f.a.s.	HEP-ZAGREB	IE-ZAGREB	HFG
Freileitungen und Aluminium Sonderprodukte Gesellschaft m. b. H. Responsible for quality	D.I.Delonga D.I.First	ENERGY INSTITUT D.I.Bojic	2560 Berndorf Hr.-Faber

Unterschrift

© HFG 1993 AN-15B94 XLS

Slika 5.

DALEKOVOD d.d.
Avenija Vukovar 37, Zagreb, CROATIA

25
Sample Test
1/1

1 PROTOKOL O ISPITIVANJU

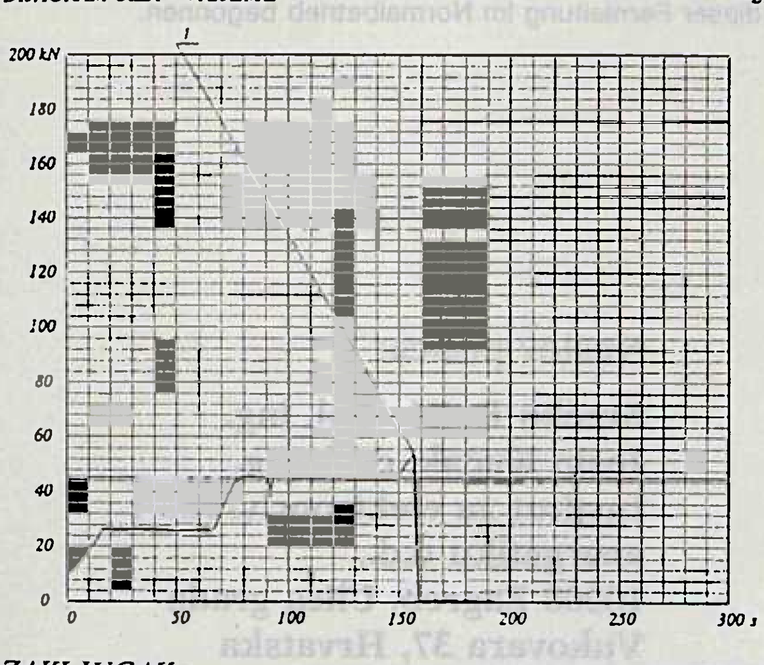
1.1 ISPITIVANI MATERIAL : Vodic BTAL/Stalum 154/19
1.2 KATALOSKI BROJ : 50.54.01.01 (x2) + 55.54.01
1.3 GARANTIRANA VRIJEDNOST : 45.3 kN
1.4 STANDARD ISPITIVANJA : JUS N.F2.010/1979.god. (NN RH 53/91)
1.5 DATUM ISPITIVANJA : 31.03.1994.

2 REZULTATI ISPITIVANJA

2.2

UZORAK Br.	UZORAK PODVRGNUT NAPREZANJU	OPIS ISPITIVANJA
1	54 kN	Lom kompletnog vodica na izlazu iz zat.komp.sto.

2.3 DIJAGRAM SILA - VRIJEME



2.4 STATISTIKA ISPITIVANJA

Min. vrijednost	54 kN
Max. vrijednost	54 kN
Srednja vrijednost	54 kN
Standardna dev.	0

3 ZAKLJUCAK : Crni vodic nije predhodno tretiran temperaturom,

DALEKOVOD ZAGREB
QUALITY ASSURANCE DEPARTMENT
M.P.

Ispitivanje proveo
ing. Ivica Klasan

DALEKOVOD d.d.
Avenija Vukovar 37, Zagreb, CROATIA

27
Sample Test
1/1

1 PROTOKOL O ISPITIVANJU

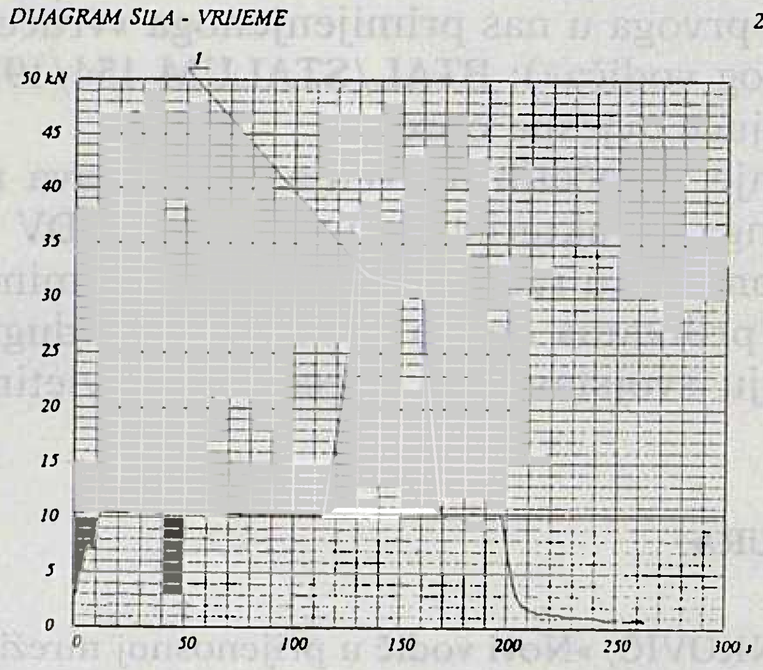
1.1 ISPITIVANI MATERIAL : Vodic BTAL/Stalum 154/19
1.2 KATALOSKI BROJ : 12.30.10
1.3 GARANTIRANA VRIJEDNOST : 10.38 kN
1.4 STANDARD ISPITIVANJA : JUS N.F2.010/1979.god. (NN RH 53/91)
1.5 DATUM ISPITIVANJA : 31.03.1994.

2 REZULTATI ISPITIVANJA

2.2

UZORAK Br.	UZORAK PODVRGNUT NAPREZANJU	OPIS ISPITIVANJA
1	33.1 kN	Pocetak izvlacenja vodica iz nosne stezaljke

2.3 DIJAGRAM SILA - VRIJEME



2.4 STATISTIKA ISPITIVANJA

Min. vrijednost	33.1 kN
Max. vrijednost	33.1 kN
Srednja vrijednost	33.1 kN
Standardna dev.	0

3 ZAKLJUCAK : Obavljeno je izvlacenje "crnog vodica" i preformiranih pruteva iz nosne stezaljke katal. broj 12.30.10

DALEKOVOD ZAGREB
QUALITY ASSURANCE DEPARTMENT
M.P.

Ispitivanje proveo
ing. Ivica Klasan

Slika 6.

Rezultati mjerenja u rasponu između st. br. 18 i 19 dani su u tablici 2.

Tablica 2.

Red. br.	Vrijeme	Struja (A) Komolac/Ston	Visina vodiča (m)
1.	13.40		10.11
2.	14.00		10.18
3.	14.20		10.18
4.	14.40		10.18
5.	14.50		10.16
6.	15.00		10.16
7.	15.10	540/525	9.79
8.	15.20	530/525	9.73
9.	15.30	520/510	9.74
10.	15.40	525/510	9.70
11.	15.50	520/510	9.70
12.	16.00	525/510	9.71
13.	16.10	520/510	9.72
14.	16.20	515/510	9.67
15.	16.30		9.89
16.	16.40		10.14
17.	16.50		10.15
18.	17.00		10.19

Maksimalna temperatura koju je registrirao termometar iznosila je 53,5 °C. Pomoću jednadžbe stanja dobivena je i temperatura vodiča pri danom opterećenju voda za maksimalni izmjereni provjes i dane meteorološke parametre u iznosu od 56,4 °C.
Navedeni rezultati u skladu su s rezultatima sličnih provedenih mjerenja [5].

Iz rezultata se jasno vidi da se za dane uvjete (parametri pogona i okoline) vodiči ponašaju unutar očekivanih i propisanih granica.
Iako se ova mjerenja mogu smatrati preliminarnima, s obzirom na probleme i broj mjernih točaka, pokazuju i opravdavaju u potpunosti svoju svrhu.
Za dobivanje kompletnije slike ponašanja »vrućih

(crnih) vodiča« u realnim i specifičnim uvjetima potrebno je dalekovod opremiti dopunskim instrumentarijem za kontinuirano praćenje u jednom dužem periodu.

3. ZAKLJUČCI

»Vrući vodiči« s obzirom na niz pozitivnih polaznih karakteristika sve češći su supstituti klasičnim Al/Č vodičima pri rekonstrukciji postojećih dalekovoda. Njihova implementacija u našoj prijenosnoj mreži, kao novo tehničko-tehnološko rješenje, traži sistematičnost i dosljednost u provjeri i verifikaciji deklariranih te standardima propisanih karakteristika, što je i bilo polazište za sva provedena ispitivanja na uzorcima prvoga u nas primijenjenoga »vrućeg vodiča« (»crnog vodiča«): BTAL/STALUM 154/19 mm² i odgovarajuće ovjesne opreme.
Poboljšanje započetih mjerenja i uspostava trajnog monitoringa karakterističnih veličina na DV 110 kV Ston – Komolac u raznim pogonskim režimima i klimatskim prilikama dobro je polazište za dugoročnu verifikaciju svojstava i u specifičnim uvjetima primjene.

LITERATURA

[1] Z. TONKOVIĆ, »Novi vodič u prijenosnoj mreži«, Energija, god. 43 (1994.) 3

[2] Berndorf F.A.S, Katalog proizvođača

[3] J. KUČAK, S. BOJIĆ, »Crno uže BTAL/STALUM 154/19 mm² za DV 110 kV Ston – Komolac i Đakovo – Našice, proizvodnje Berndorf, Austrija«, Preuzimna ispitivanja, Izvještaj br. 5456, IE — Zagreb, 1994.

[4] J. KUČAK, »Ovjesna i spojna oprema za DV 110 kV Ston – Komolac i Đakovo – Našice, proizvodnje Dalekovod Zagreb«, Kvalitativna ispitivanja, Izvještaj br. 5451, IE — Zagreb, 1994.

[5] Elektrizitätswirtschaft, (Ig. 89/1990.), Heft a

HOT CONDUCTORS TESTING WITH SUSPENSION EQUIPMENT AND MONITORING OF 110 kV OVERHEAD TRANSMISSION LINE STON – KOMOLAC

During the war in Croatia a lot of electricity power supply stations were damaged or pulled down, amog them 110 kV transmission lines Ston – Komolac and Đakovo – Našice.

According to priority and necessity of their repair and increasing their transmission ratings with minimum costs, new conductors having grater possibility of thermal loading were used.
Because of the new technology application, wide research of conductors and suspension equipment was realised and the observation of one transmission line in operation started.

DIE PRÜFUNG VON THERMISCH BELASTBAREN ALUMINIUMLEITERN UND DER DAZUGEHÖRIGEN AUFHÄNGEAUSRÜSTUNG, SOWIE BETRIEBSBEOBACHTUNGEN AN DER MIT SOLCHEN LEITERN GEBAUTEN 110 kV-FERNLEITUNG STON — KOMOLAC

Den im Laufe des Heimatabwehrkrieges zerstörten oder schwer beschädigten elektroenergetischen Objekten gehören auch die 110 kV-Fernleitungen Ston – Komolac und Đakovo – Našice.
Die Bevorzugung deren Instandsetzung und die Notwendigkeit bei gleichzeitiger Kostensenkung die Übertragungsleistung zu erhöhen, haben die Anwendung von Leitern mit erhöhten Wärmebelastung bedingt.
An der neueingerichteten Fernleitung Ston – Komolac wurden zahlreiche Prüfungen dieser Leiter und der dazugehörigen Aufhängeausrüstung durchgeführt. Gleichzeitig wurde mit der Beobachtung dieser Fernleitung im Normalbetrieb begonnen.

Naslov pisaca:

Srećko Bojić, dipl. ing.
Josip Kučak, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku d.d.,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska
Zvonimir Firšt, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda — Direkcija za upravljanje i prijenos — Ured potpore,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska
Davor Đurđević, dipl. ing.
Dalekovod,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska
Goran Čubra, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda — Prijenosno područje Split
21000 Split, Drvarska 5, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995 – 07 – 28

GRANIČNI TROŠKOVI I CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Dr. Jakša Topić — Marijan Magdić, Zagreb

UDK 621.3:338.52
PREGLEDNI ČLANAK

Istodobnost potrošnje i proizvodnje električne energije, jer nije moguće uskladištiti električnu energiju po prihvatljivim troškovima, dovodi do toga da instalirani kapacitet treba odgovarati potražnji električne energije. Zbog osobitosti potražnje električne energije pojavljuje se razdoblje vršnog i nevršnog opterećenja, slijedom čega se dijele i troškovi cjelokupnog sustava. Postupak graničnih troškova omogućuje utvrđivanje troškova za različita razdoblja, koji služe kao podloga za određivanje cijene električne energije.

Ključne riječi: istodobnost potrošnje i proizvodnje, vršno opterećenje, granični troškovi, cijena.

UVOD

Cijena električne energije, odnosno način formiranja cijene električne energije privlači pozornost mnogih subjekata, počevši od teoretičara pa do donositelja odluke o njezinoj veličini. A sve to radi stabilnosti poslovanja elektroprivrede, pravednosti prema potrošačima i ostalih ciljeva državne politike koja se želi provesti putem cijene električne energije.

Jedan od načina formiranja cijene električne energije, koji je zastupljen u svjetskim razmjerima, jest formiranje cijene električne energije na temelju graničnih (marginalnih) troškova. Namjera je ovog članka podsjetiti na osnovne teorijske i praktične postavke utvrđivanja cijena električne energije na temelju graničnih troškova. Naime, u našoj elektroprivrednoj praksi do sada nije bilo jednoznačnog određenja za postavku određivanja cijene električne energije na temelju graničnih troškova. U prilog ove akcije upućuju i aktivnosti tranzicije hrvatskog gospodarstva, u sklopu kojeg elektroprivreda s proizvodom električne energije kao infrastrukturnom pretpostavkom zauzima temeljno mjesto.

U članku se, zbog ograničenog prostora, analizira samo djelatnost proizvodnje električne energije.

1. POLITIKA CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Politika cijene električne energije treba dovesti do potpunog iskorištenja kapaciteta i optimalnog razvoja na dugi rok. Jedna od osobitosti električne energije jest istodobnost proizvodnje i potrošnje, tj. nemogućnost skladištenja električne energije pod prihvatljivim komercijalnim uvjetima. Poradi toga, da bi se zadovoljila potražnja električne energije, potrebni su kapaciteti koliko iznosi maksimalno opterećenje. S obzirom na to da je potražnja električne energije različita, njezino kretanje uvjetuje postojanje dvaju osobitih stanja: nevršnog i vršnog opterećenja. U razdoblju nevršnog opterećenja pojavljuje se višak kapaciteta, zbog čega je pravilno dimenzioniranje elektroenergetskog sustava bitan preduvjet racionalnog poslovanja elektroprivrede.

U elektroprivredi treba težiti optimalnom kapacitetu, jer su u ostvarenju maksimalnog kapaciteta, radi potpunog zadovoljenja potražnje, nazočna ograničenja zbog racionalne alokacije resursa. Optimalno korištenje kapaciteta nije maksimalno po svaku cijenu, već potpunije korištenje uz ograničenje koje nameću troškovi korištenja. Optimalna politika cijena dovodi do optimalnoga korištenja postojećeg kapaciteta i njegova optimalnog razvoja.

Cijena električne energije nije ekonomski homogen proizvod. Razlog tome je što električna energija proizvedena u različito vrijeme (nevršno i vršno razdoblje) uzrokuje različite troškove. Stoga nije riječ o jednoj, nego o nekoliko cijena električne energije. Zbog nediskriminacije[1] potrošača potrebno je troškove koji nastaju u različito vrijeme raspodijeliti na potrošače radi optimalne politike cijena. Raspodjela varijabilnih troškova ne stvara poteškoće, što se ne bi moglo reći za fiksne troškove, jer je potrebno ocijeniti kolik dio fiksnih troškova otpada na vršne, a kolik na nevršne potrošače. Bit optimalne politike cijena električne energije, u uvjetima vršnog opterećenja, jest alocirati fiksne troškove na potrošače vršnog i nevršnog razdoblja.

»Kad se ne bi radilo o činjenici da su količine koje se traže funkcija cijena outputa u svakom razdoblju, ne bi bilo poteškoća u problemu vršnog opterećenja, niti interesa za nj.«[2]

---

[1] *Smatra se da prodavač provodi diskriminacijske cijene ako su cijene proizvoda nerazmjerne troškovima proizvodnje* (Davidson, Price Discrimination in Selling Gas and Electricity, John Hopkins 1955).

[2] P. Steiner, Peak Loads, and Efficient Pricing, The Quarterly Journal of Economics, 11/57.

Cijene električne energije trebaju odgovarati troškovima zbog dvaju osnovnih razloga: reprodukcije utrošaka za proizvodnju električne energije i pravilne orijentacije potrošača glede izbora vrste energije. Izbor potrošnje energije sa stajališta potrošača ujedno je i najjeftinije sa stajališta društva. Ali najjeftinije vrste energije neće biti najjeftinije ni sa stajališta društva ako zbog bilo kojih razloga cijene ne odgovaraju troškovima, a to znači uvođenje izvanekonomskih elemenata u cijenu. Ovakva situacija dovodi potrošače do neoptimalnih odluka u pogledu izbora energije. Preniska cijena električne energije dovodi do neracionalnog trošenja, a previsoka opet do prevelike štednje ili prelaska na neku drugu energiju čija cijena možda opet nije realna.

Na temelju do sada rečenog moglo bi se načelno reći da se cijena električne energije temelji na troškovima i da bi pri formiranju cijene trebalo što više napustiti neekonomske elemente, jer se u protivnom narušava racionalno trošenje resursa.

Međutim, izjednačavanje cijene s troškovima ipak ne znači da se u potpunosti izbacuju svi neekonomski elementi politike cijene električne energije. Elektroprivreda je grana sa značajnim eksternim efektima (eksternim ekonomijama), pri čemu se onda uzimaju u obzir i takozvani društveni troškovi proizvodnje električne energije, a ne isključivo troškovi elektroprivrede. Na taj način dolazi do prividne suprotnosti između zahtjeva da cijena električne energije odgovara troškovima i zahtjeva da se u cijenu uključe i neekonomski elementi. Uključivanje neekonomskih elemenata znači neekonomskih sa stajališta elektroprivrede, dok su sa stajališta društva to ekonomski elementi. Dakle, to su troškovi u elektroprivredi i izvan elektroprivrede. Na taj se način dolazi do konstatacije da cijena električne energije treba odgovarati troškovima, ali se odmah postavlja pitanje kojim troškovima treba odgovarati cijena električne energije.

Ako se cijena električne energije formira na temelju troškova u elektroprivredi, znači da tržište dovodi do optimalne alokacije resursa u elektroprivredi. Ako to nije tako, upravo zbog značajnih eksternih ekonomija i disekonomija u radu i razvoju elektroprivrede, onda cijene električne energije nisu formirane na tržištu, već cijena električne energije poprima neke oblike obračunske cijene (shadow price).

Politika cijena električne energije treba ostvariti nekoliko ciljeva među kojima se ističu tri:

1. ostvarenje ravnoteže prihoda i rashoda u radu i razvoju elektroprivrede, gdje se učinkovitost mjeri vlastitim kriterijima,
2. ostvarenje općih ekonomskih interesa, što znači ostvarenje elektroprivrednih i društvenih interesa,
3. spriječiti diskriminaciju potrošača, što znači da svaki potrošač snosi svoje troškove potrošnje.

2. GRANIČNI (MARGINALNI) TROŠKOVI

Za analiziranje troškova potrebno je razlikovati nekoliko njihovih kategorija.

2.1. Ukupni troškovi

$$C = F + vq$$

C — ukupni troškovi
F — fiksni troškovi
v — varijabilni troškovi
q — količina proizvodnje.

Iz teorije troškova poznato je da fiksni troškovi ne ovise o količini proizvodnje, dok se varijabilni troškovi mijenjaju gotovo proporcionalno s opsegom proizvodnje.

2.2. Granični (marginalni) troškovi

2.2.1. *Kratkoročni granični troškovi*

Granični trošak je trošak dodatne jedinice proizvodnje. Izračunava se tako da se porast troškova dijeli brojem jedinica porasta proizvodnje:

$$\frac{\Delta C}{\Delta q} = \frac{(q+\Delta q)\,v + F - (qv + F)}{\Delta q} = v.$$

Uz pretpostavku da se fiksni troškovi ne mijenjaju, granični trošak jednak je varijabilnom trošku.

2.2.2. *Dugoročni granični troškovi*

Prethodno izračunati granični trošak (v) može se nazvati još i kratkoročnim graničnim troškom zato što se pretpostavlja da se, gledano kratkoročno, fiksni trošak ne mijenja, što znači da, gledajući sa stajališta elektroprivrede, postojeći kapacitet odgovara potražnji električne energije. Međutim, gledajući dugoročno, prethodna konstatacija ne vrijedi. Budući da svaka elektrana ima određeni kapacitet, te ako je potražnja električne energije veća od postojećega kapaciteta, treba izgraditi novi kapacitet. Na taj način može se reći da su i fiksni troškovi (F), gledajući dugoročno, funkcija opsega proizvodnje ($F = f(q)$):

$$C = f(q) + vq \qquad \frac{dC}{dq} = \frac{dF}{dq} + v \qquad \frac{dF}{dq} = r$$

$$\frac{dC}{dq} = y \qquad y = r + v$$

r — troškovi razvoja
y — dugoročni granični (marginalni) troškovi.

Fiksni troškovi odnose se uglavnom na troškove kapaciteta, koji troškovi se mogu onda nazvati troškovima razvoja (r). Na temelju prethodnoga može se zaključiti da dugoročne granične (marginalne) troškove (y) predstavljaju troškovi razvoja i varijabilni troškovi. Prema tome, gledano dugoročno, i fiksni i varijabilni troškovi jesu varijabilni troškovi.

3. GRANIČNI TROŠKOVI U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Električna se energija u sustavu proizvodi u elektranama, koje se mogu, za ovu analizu, svrstati u 3 skupine: termoelektrane (uključujući i nuklearne), protočne hidroelektrane i akumulacijske hidroelektrane. Prethodne elektrane imaju različito značenje u elektroenergetskom sustavu, te stoga imaju i različito značenje za određivanje graničnih troškova elektroenergetskog sustava.

U nastavku će se analizirati granični troškovi za sustav: termoelektrana, protočnih i akumulacijskih hidroelektrana, te kombinirani sustav termoelektrana i hidroelektrana.

3.1. Granični troškovi termosustava

U slučaju postojanja samo termoelektrana, zadovoljenje potražnje električne energije ostvarit će se angažiranjem termoelektrana redoslijedom prema veličini varijabilnih troškova. Treba pretpostaviti da niže varijabilne troškove zbog tehničkog napretka imaju kasnije izgrađene termoelektrane, te će se one tako uključivati u pogon. Prema tome, granični trošak elektroenergetskog sustava termoelektrana jest varijabilni trošak termoelektrane koja je posljednja ušla u pogon. Ova se elektrana još naziva i graničnom elektranom.

3.2. Granični troškovi sustava protočnih hidroelektrana

Osobitost protočnih hidroelektrana jesu niski varijabilni troškovi, koji su zapravo blizu nule. To bi značilo da su onda i granični troškovi na istoj razini. U takvim uvjetima i u uvjetima dovoljnog kapaciteta cijena električne energije bila bi vrlo niska, dok bi u uvjetima nedovoljnog kapaciteta trebala uključiti i troškove razvoja, te bi bila previsoka. Izlaz je iz ove situacije u određivanju graničnih troškova na razini da se potražnja električne energije zadrži u okviru izgrađenog kapaciteta.

3.3. Granični troškovi sustava hidroelektrana s akumulacijom

I kod hidroelektrana s akumulacijom, kao i kod protočnih hidroelektrana, varijabilni troškovi, a to znači i granični troškovi, vrlo su niski ili blizu nule. Razlike su između ta dva tipa hidroelektrana u energetskom smislu, koje se odražavaju i na ekonomskom području. Kod hidroelektrane s akumulacijom može se odrediti (predvidjeti) visok stupanj vjerojatnosti vremena proizvodnje, dok kod protočnih hidroelektrana to ovisi o protoku rijeke. Budući da se proizvodnja u hidroelektrani s akumulacijom može kontrolirati, nema potrebe, s ekonomskog stajališta, razlikovati uporabu energije u vršnom i nevršnom razdoblju. Drugim riječima, cijena električne energije ista je bez obzira na to u kojem se razdoblju troši.

Kako su granični troškovi vrlo niski, ili jednaki nuli, način određivanja troškova za ovaj tip elektrane isti je kao i za hidroelektrane protočnog tipa, što znači da bi troškove trebalo odrediti na razini koja omogućuje usklađenje kapaciteta i potražnje.

3.4. Granični troškovi kombiniranog sustava

Elektroenergetski sustav što ga čine termoelektrane te protočne i akumulacijske hidroelektrane jest stvarnost.

U slučaju postojanja termoelektrana i protočnih hidroelektrana granična elektrana je termoelektrana, a njezini granični troškovi jesu granični troškovi sustava. Razlog tome je energetsko-ekonomske naravi, jer hidroelektrane protočnog tipa proizvode energiju u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, a termoelektrane podmiruju potražnju koju hidroelektrana protočnog tipa ne može zadovoljiti, ponajprije potražnju u vršnom razdoblju. S obzirom na dinamiku potražnje mijenja se i granična termoelektrana, pa se općenito može reći da su u ovom slučaju granični troškovi sustava troškovi termoelektrane koja se zadnja uključuje u proizvodnju. Operativno to bi značilo da potrošači u vršnom razdoblju podmiruju varijabilne i fiksne troškove termoelektrane. Ako termoelektrana osim potrošača u vršnom razdoblju opskrbljuje i dio potrošača u nevršnom razdoblju, potrošači u nevršnom razdoblju trebaju snositi varijabilne troškove termoelektrane ako se ne koriste u potpunosti kapacitetom termoelektrane. Ako su potrošači u nevršnom razdoblju doveli do maksimalnog kapaciteta termoelektrane, trebaju snositi i dio fiksnih troškova termoelektrane.

Hidroelektrane s akumulacijom mogu početi i zaustaviti rad u bilo koje vrijeme. Stoga se ove elektrane koriste za podmirenje potražnje u vršnom razdoblju. Iz toga slijedi da potrošači u vršnom razdoblju trebaju snositi troškove hidroelektrane s akumulacijom. Međutim, ako se vršno opterećenje poveća iznad kapaciteta hidroelektrane s akumulacijom, potražnju će podmiriti termoelektrana, zbog čega fiksni i varijabilni troškovi tog povećanja padaju na teret potrošača vršnog razdoblja. Na taj način troškovi termoelektrane ulaze u sustav troškova vršnog opterećenja, jer razvoj termoelektrana ovisi o vršnom opterećenju. Prema tome, u sustavu termoelektrana i hidroelektrana s akumulacijom granična elektrana sustava jest termoelektrana koja je zadnja puštena u proizvodnju. Kako je već rečeno, troškove granične termoelektrane snose potrošači vršnog razdoblja, iako termoelektrane ne moraju proizvoditi za potrošače vršnog razdoblja.

Na temelju prethodnog može se konstatirati da je, u kombiniranom elektroenergetskom sustavu (svi tipovi elektrana), granična elektrana neka termoelektrana, te su njezini troškovi granični troškovi elektroenergetskog sustava.

4. GRANIČNI TROŠKOVI I CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Osnovno ekonomsko polazište je da cijena treba odražavati reprodukciju resursa. Tržište (konkurencija) određuje do koje razine će se priznati troškovi (utrošak resursa) proizvodnje određenog proizvoda. U elektroprivredi utrošak resursa ne određuje tržište, ali zbog značenja koje električna energija ima u gospodarstvu treba cijenu električne energije odrediti prema troškovima. Određivanje cijene električne energije zahtijeva određenu pravednost. S obzirom na istodobnost potrošnje i proizvodnje električne energije, kapacitet treba odgovarati potražnji električne energije. Svi potrošači električne energije ne troše električnu energiju istodobno, što znači da svi potrošači ne izazivaju jednaki utrošak resursa. Stoga je potrebno pravedno dodijeliti svakom potrošaču određeni dio troškova elektroenergetskog sustava. Mnoštvo potrošača, za određivanje cijene, ne treba shvatiti doslovno, već shodno zakonitostima potražnje električne energije treba razlikovati potrošače prema razdoblju kad troše električnu energiju. U pravilu, tih razdoblja moglo bi biti nekoliko, ali zbog svrsishodnosti i ekonomičnosti zadržana su dva: vršno i nevršno. Dijeljenje troškova na potrošače kad oni prema svojoj potrebi angažiraju kapacitet omogućuje metodološki postupak graničnih troškova, jer su to troškovi dodatne jedinice proizvodnje.

Svrha određivanja cijene električne energije prema graničnim troškovima sustava jest optimalni način potrošnje električne energije. Već je istaknuto da postoje kratkoročni i dugoročni granični troškovi, a shodno tome kratkoročne i dugoročne cijene.

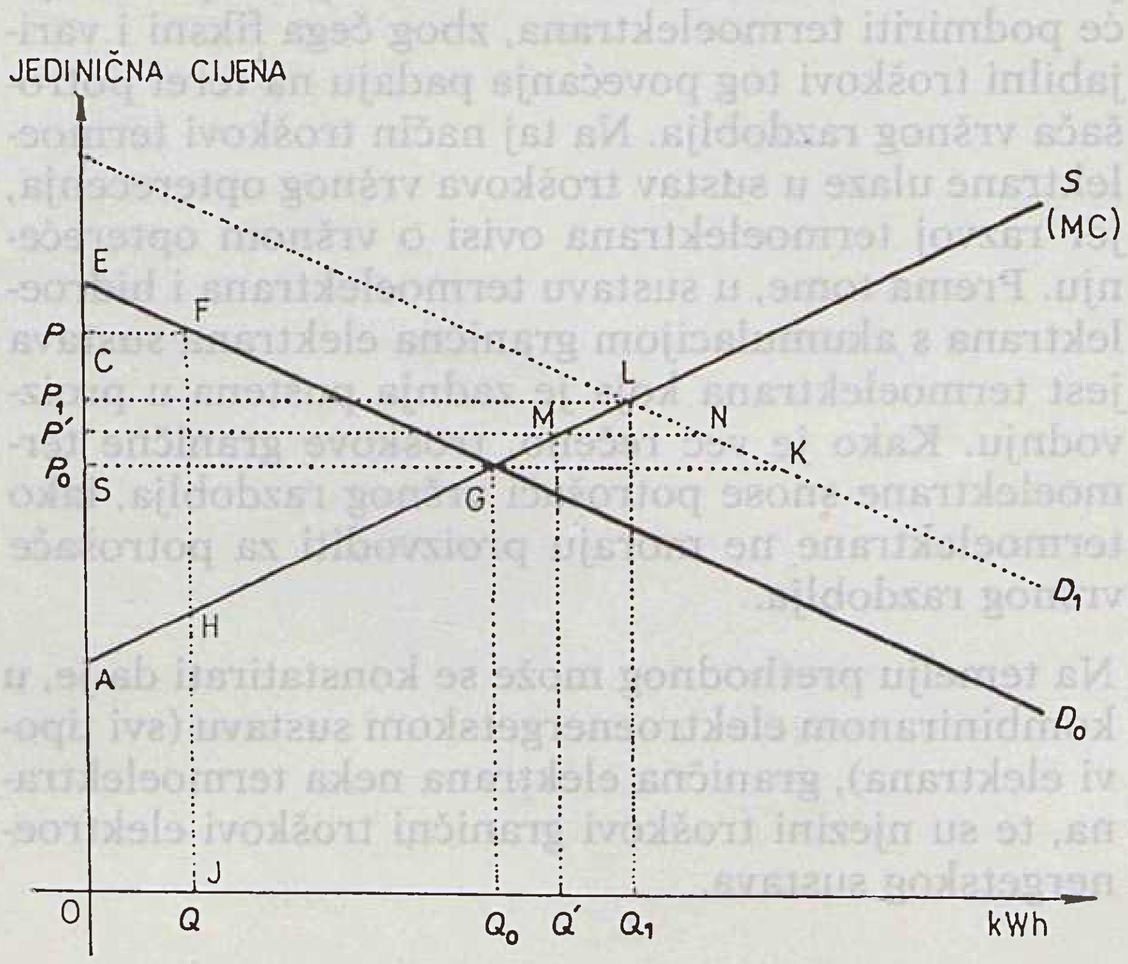
Gledano na kratki rok, cijena se treba izjednačiti s varijabilnim troškovima sustava. To u operativnom smislu znači da potrošači vršnog opterećenja snose varijabilne i fiksne troškove ako se maksimalni kapacitet koristi u vršnom opterećenju. Ako se taj kapacitet koristi i u nevršnom razdoblju, potrošači nevršnog razdoblja snose varijabilne troškove i dio troškova kapaciteta. Prema tome, potrošači svakog razdoblja pokrivaju varijabilne troškove, a dodatno na to i dio troškova kapaciteta koji je razmjeran dužini trajanja razdoblja.

Cijena na dugi rok treba također odgovarati dodatnom trošku, ali dugoročnom, koji sadržava varijabilne troškove i troškove razvoja. Novu dodatnu jedinicu treba instalirati kad je ona potrebna potražnji. Kad je postignut optimalni kapacitet, cijene se određuju prema načelima kratkoročne politike cijena.

Prethodna slika pojašnjava polazište graničnih troškova. Krivulja $EFGD_0$ jest krivulja potražnje električne energije (spremnost, voljnost potrošača za korištenje i plaćanje). Krivulja AGS (MC) jest krivulja ponude (kapacitet predstavljen graničnim troškovima). Pri cijeni P i količini Q, određenoj prema potražnji ukupni prihod od prodaje predstavljen je površinom OEFJ, a troškovi površinom OAHJ. Netoprihodi (ukupni prihod minus troškovi) je površina AEFH. Maksimalni netoprihod AEG očekuje se kad je cijena jednaka graničnim troškovima, točka optimuma G (P_0, Q_0).

Gledajmo sada dinamički. Pretpostavimo da krivulja D_1 znači porast električne energije za neko razdoblje. U odnosu na prethodno razdoblje, ako je cijena bila dobro određena, potražnja će se povećati za GK. Međutim, za povećanu potražnju GK postojeći kapacitet (MC) nije dostatan, te se treba povećati. S povećanjem kapaciteta povećat će se i cijena, te će sada biti P_1. Kako se optimum ostvaruje izjednačavanjem cijene i graničnog troška, proizlazi da se optimum ostvaruje za količinu Q_1.

Poznavanjem kretanja potražnje (D) i raspoloživost kapaciteta (S,MC) može se predviđati vremenska dinamika izgradnje kapaciteta.



Slika 1. Ponuda i potražnja električne energije

5. ODSTUPANJA CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE OD GRANIČNIH TROŠKOVA

5.1. Eksterni efekti

Elektroprivreda je djelatnost s velikim eksternim efektima (eksterne ekonomije i disekonomije) koje bi mogli još nazvati društvene koristi i troškovi. Na primjer, sve vrste polucija, zatim štetno djelovanje promjene prirodnog režima voda na krajobraz ili poljoprivredu, društveni su granični troškovi. Mogu se pojaviti i koristi, pa bismo govorili o društvenim graničnim koristima.

U slučaju pojave eksternih disekonomija potrošači bi trebali osim graničnih troškova elektroenergetskog sustava platiti još i društvene granične troškove. Pri pojavi eksternih ekonomija potrošači bi trebali plaćati manji iznos nego što su granični troškovi elektroenergetskog sustava.

5.2. Stalni, rastući i opadajući prinosi

Stalni prinosi pojavljuju se kada za jedinicu korisnosti treba utrošiti uvijek istu količinu resursa. Rastući prinosi znače sve manji utrošak resursa za jedinicu korisnosti, a opadajući prinosi događaju se ako

treba utrošiti sve više resursa za jedinicu korisnosti. Rastući prinosi pojavljuju se uglavnom kao posljedica tehničkog napretka, na primjer veći stupanj iskoristivosti goriva u termoelektranama zbog novih tehnologija. Kao primjer opadajućih prinosa može se navesti činjenica iskorištenja najpovoljnijih lokacija hidroelektrana (sljedeće su specifično skuplje).

Ako se pri određivanju cijene električne energije na temelju graničnih troškova ne uzmu u obzir pojave rastućih ili opadajućih prinosa, nastaje situacija da potrošač, pokrivajući granične troškove sustava, ne podmiri sve troškove, ili plaća više, pa se stvara višak.

Stoga je potrebno, ako je riječ o rastućim prihodima, formirati cijenu električne energije na način da pokrije granične troškove i uključiti dodatak da se pokriju svi troškovi. Obrnuto, u uvjetima opadajućih prinosa potrebno je cijenu formirati nešto nižu nego što su granični troškovi, da potrošači ne bi plaćali neopravdano visoku cijenu.

5.3. Nedjeljivost kapaciteta elektroenergetskog sustava

Zbog kontinuiranog porasta potražnje električne energije i skokovite (diskontinuirane) izgradnje kapaciteta pojavljuju se povremeni viškovi i manjkovi kapaciteta. Ta odstupanja dovode do djelomične nekonzistentnosti graničnog troška kao temelja za formiranje stabilnih cijena, jer promjena kapaciteta mijenja i granične troškove sustava. Politikom cijene električne energije taj nedostatak se može izbjeći, ali treba imati na umu da se, dok traje višak kapaciteta, u obzir uzimaju samo varijabilni troškovi, a kad se povećava kapacitet cijena, treba pokriti i troškove razvoja.

5.4. Potrošačevi troškovi

Potrošnja električne energije mora biti jednostavno mjerena, a cijena jednostavna i stabilna. Poštivaju li se dosljedno granični troškovi i cijena, cijena bi se trebala često mijenjati, što bi operativno dovelo do mnogobrojnih tarifnih stavova, na koji način bi tarifni sustav bio kompliciran i neekonomičan. Stoga je potrebno respektirati potrošačeve troškove, ali isto tako nastojati da cijene odražavaju što više granične troškove sustava.

6. SVJETSKA ISKUSTVA U PRIMJENI GRANIČNIH TROŠKOVA

6.1. Ocjena tarifnog sustava za prodaju električne energije od Međunarodne banke

Prema uvidu Međunarodne banke sadašnji tarifni sustav (tarifni sustav je operacionalizacija troškova i cijena) za prodaju električne energije u Republici Hrvatskoj kao zemlji u tranziciji, ocijenjen je dobrim. Međutim, nakon definiranja planova razvoja predlaže se izradba tarifnog sustava na temelju graničnih troškova. Na taj bi se način uklonili neki sadašnji nedostaci:

1. prodajna cijena električne energije za sve potrošače niža je od troškova proizvodnje,
2. tarifni stavovi nisu u izravnoj vezi da cijenu plaćaju potrošači koji izazivaju troškove, već industrijski potrošači plaćaju veću prosječnu tarifu, a kućanstva i uslužni sektor plaćaju niže cijene.

Prosječna razina cijena električne energije znatno je niža od međunarodne razine. Zato je potrebno revidirati cijene u skladu s troškovima, te posebno osigurati da cijena u vršnom razdoblju bude usko vezana s troškovima vršnih kapaciteta. Zbog toga je potrebno uvesti metodu dugoročnih graničnih troškova kao podlogu za određivanje cijena električne energije za različite kategorije potrošnje, te se zbog toga preporučuje ispravljanje sadašnje razine cijene električne energije.

S tim u vezi, Međunarodna banka pokreće izradu studije, čiji je cilj:

1. određivanje dugoročnih marginalnih troškova za opskrbu električnom energijom potrošača različite naponske razine i različite kategorije potrošnje,
2. na temelju dugoročnih marginalnih troškova utvrditi optimalnu cijenu električne energije. Predložena tarifna struktura će definirati razinu tarife za krajnje potrošače i tako transformiranu cijenu primijeniti između proizvodnje i prijenosa, te između prijenosa i distribucije. Tarife moraju odražavati dugoročni marginalni trošak, što je moguće striktnije, ali se također brinuti da se održi profit poduzeća.

6.2. Razvoj tarifnog sustava u SAD

Za upoznavanje svjetskih iskustava vezanih za tarifni sustav prodaje električne energije, u nastavku se ukratko iznosi razvoj tarifnog sustava u SAD. Za tarifni sustav SAD mogla bi se utvrditi 4 osobita stanja (razdoblja).

Prvo stanje odnosi se na razdoblje kad mjerna tehnika nije bila razvijena ni raspoloživa. Tada je cijena određivana na temelju troškova koji su ovisili o broju i snazi električnih aparata i drugim varijablama kao što su broj soba u kući i površina koja se osvjetljava. Tarife su se određivale administrativno na temelju povećanih (dodatnih) troškova prema energetskim normativima.

Drugo stanje obilježava razvoj mjernih uređaja, kojima se može utvrditi intenzitet i vrijeme utjecaja potrošača na sustav. Razvoj tehnike omogućio je na taj način mjerenje troškova sustava, kao podloge za stvaranje konzistentnog tarifnog sustava. Ključna točka, pored primjene tehnike mjerenja, u troškovnom smislu je temeljenje tarifa na prosječnim troškovima sustava.

Treće stanje evaluira iz prethodnog kad su povećane cijene goriva, povećane kamatne stope, ekonomija razmjera dobiva na značenju. Tražila se pravednost u namirivanju troškova, na način da troškove snose oni potrošači koji su ih izazvali. Granični troškovi su temelj određivanja cijena, jer se postupkom granič-

nih troškova mogu odrediti troškovi koje pojedini potrošači izazivaju. Razlog uvođenja graničnih troškova je taj, jer se smatra da prosječni troškovi šalju »krive signale o cijenama«, te stimuliraju neracionalnu upotrebu energije.

Četvrto stanje proteže se u budućnost. Na temelju Energy Policy Act of 1992. desile su se dvije značajne promjene. Prenosna mreža je otvorena za sve proizvođače i drugo svaki kvalificirani proizvođač može predložiti izgradnju elektrane. Na taj način dolazi do drugačijeg funkcioniranja elektroenergetskog sustava, mijenjaju se troškovi sustava zbog slobodne izgradnje elektrana, a električna energija postaje sve više roba. Ovoj konstataciji doprinosi i konkurencija energenata, tj. mogućnost opskrbe potrošača drugim oblicima energije. Sve ove očekivane promjene odrazit će se i na metodologiju izrade tarifnog sustava.

7. ZAKLJUČAK

Određivanje cijena električne energije na temelju graničnih (marginalnih) troškova, smatra se suvremenim postupkom. Za tu konstataciju postoje dva temeljna razloga: ekonomski i tehnički.

Ekonomski razlog je u pravednosti određivanja troškova potrošaču u smislu plaćanja troškova koje on svojom potrošnjom električne energije nameće elektroenergetskom sustavu (vršno i nevršno razdoblje).

Današnja i buduća razvijenost mjerne tehnike omogućuje mjerenje intenziteta utjecaja potrošača na troškove elektroenergetskog sustava (vrijeme uključivanja).

LITERATURA

[1] Dr. J. BENDEKOVIĆ, »Politika cijena električne energije u cilju optimalizacije kapaciteta elektroenergetskog sistema«, Zagreb, 1975.

[2] R. TURVEY, D. ANDERSON, »Electricity Economics«, John Hopkins, 1977.

[3] D. M. KEITH, »Four Stages of Tariff Development in the United States and Their Potential Application in Eastern Europe«, 1994.

MARGINAL COSTS AND ELECTRICITY PRICING

Since the electricity can not be stored at acceptable costs, simultaneous consumption and production of electricity brings about the fact that the installed capacity should correspond to electricity demand. Due to the characteristics of electricity demand, there are periods of peak and off-peak loads and the costs of the entire system are distributed accordingly. The marginal costs method enables the determination of costs for different periods which serve as the basis for electricity pricing.

DER STROMPREIS ALS FOLGE DER GRENZKOSTEN

Mangels einer kostengünstigen Stromspeicherung und die Gleichzeitigkeit von Stromerzeugung und Stromverbrauch führt zur Notwendigkeit installierte Leistungen dem Konsum anzugleichen. Die Eigenart des Konsums bedingt die Erscheinung jeweiliger Zeitspannen der Höchstlast; ausserhalb welcher niedrigerere Lasten bestehen. Dies bedingt eine dementsprechende Teilung von Kosten. Das Grenzkostenverfahren ermöglich die Feststellung der Kosten für verschiedene Zeitspannen. Diese Kosten dienen als Grundlage der Bestimmung jeweiliger Strompreise.

Naslov pisaca:

Dr. Jakša Topić, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. ek.
Institut za elektroprivredu i energetiku d.d.,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995 – 07 – 10

REKONSTRUKCIJA SABIRNICA 110 kV U TS 110/30 kV RAKITJE

Božidar Radmilović — Želimir Gongola, Zagreb

UDK 621.316.35
PREGLEDNI ČLANAK

Opisuje se postupak pripreme, projektiranja, organizacija i izvođenje radova na rekonstrukciji 110 kV sabirnica u TS 110/30 kV Rakitje — Zagreb, koje su izgrađene 1952. godine.

Ključne riječi: rasklopno postrojenje 110 kV, sabirnice, rekonstrukcija.

1. UVODNA RAZMATRANJA

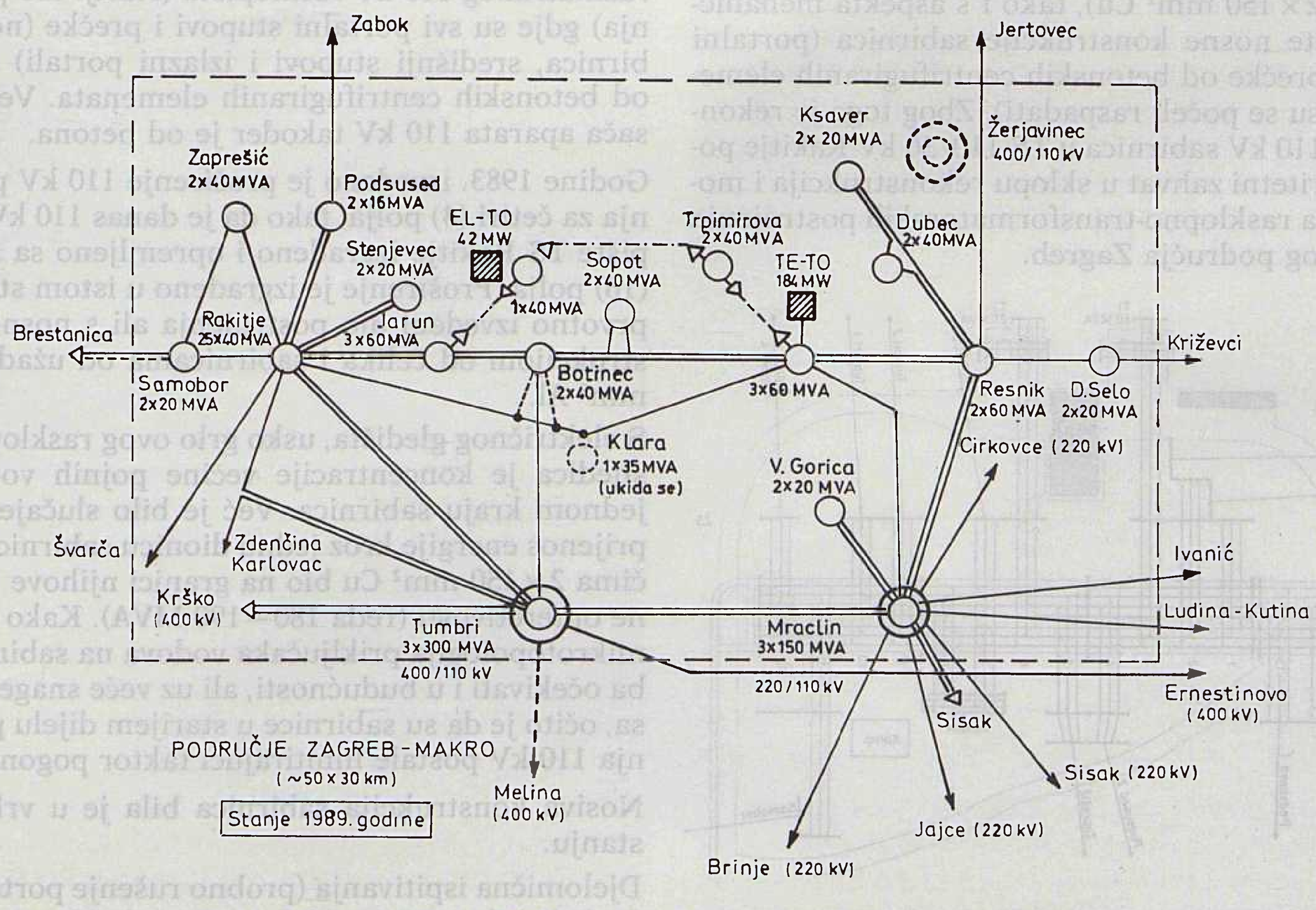
TS 110/30 kV Rakitje locirana je na zapadnom rubu grada Zagreba. Izgrađena je i puštena u pogon 1952. godine kao prvo cjelovito rasklopno-transformatorsko postrojenje te vrste na ovom području. Tijekom proteklog, gotovo 45-godišnjeg razdoblja karakteristike ovog postrojenja — funkcionalne, energetske ali i fizičke — pretrpjele su bitne promjene.

Od nekad praktički glavne pojne točke 30 kV mreže grada Zagreba i njegove šire okolice (instalirana snaga transformacije 2×25 MVA u početku, a sada 25+40 MVA), TS Rakitje napaja danas oko 6–7% konzuma područja »Zagreb-makro« s tendencijom smanjenja ove funkcije.

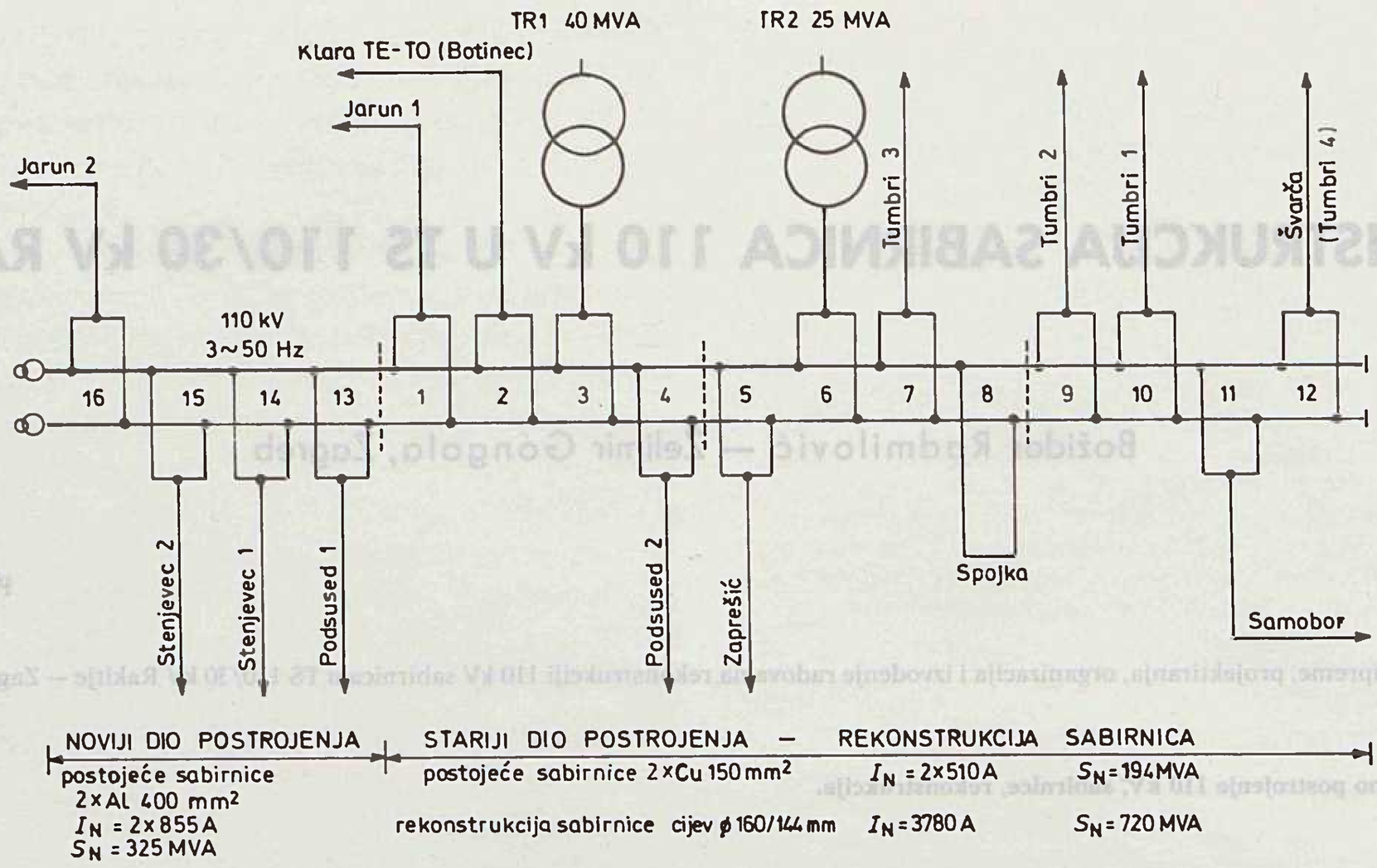
Nasuprot tome, danas je TS Rakitje s uvedenih trinaest (13) 110 kV dalekovoda značajno čvorište 110 kV prijenosne mreže od interesa za područje Zagreba i sjeverozapadnu Hrvatsku, uz tendenciju daljnjeg povećanja te uloge. Na ovu karakteristiku objekta kao čvornog rasklopišta 110 kV mreže, osim same veličine postrojenja, znatno utječe i blizina postojećih i budućih pojnih TS 400/110 kV, kao i njihovo međusobno povezivanje.

To su:

— TS 400/110/30 kV Tumbri (Zagreb 1) s transformacijom 3×300 MVA, koja je s TS Rakitje povezana s tri (3), a u budućnosti će biti povezana s četiri (4) dalekovoda 110 kV;



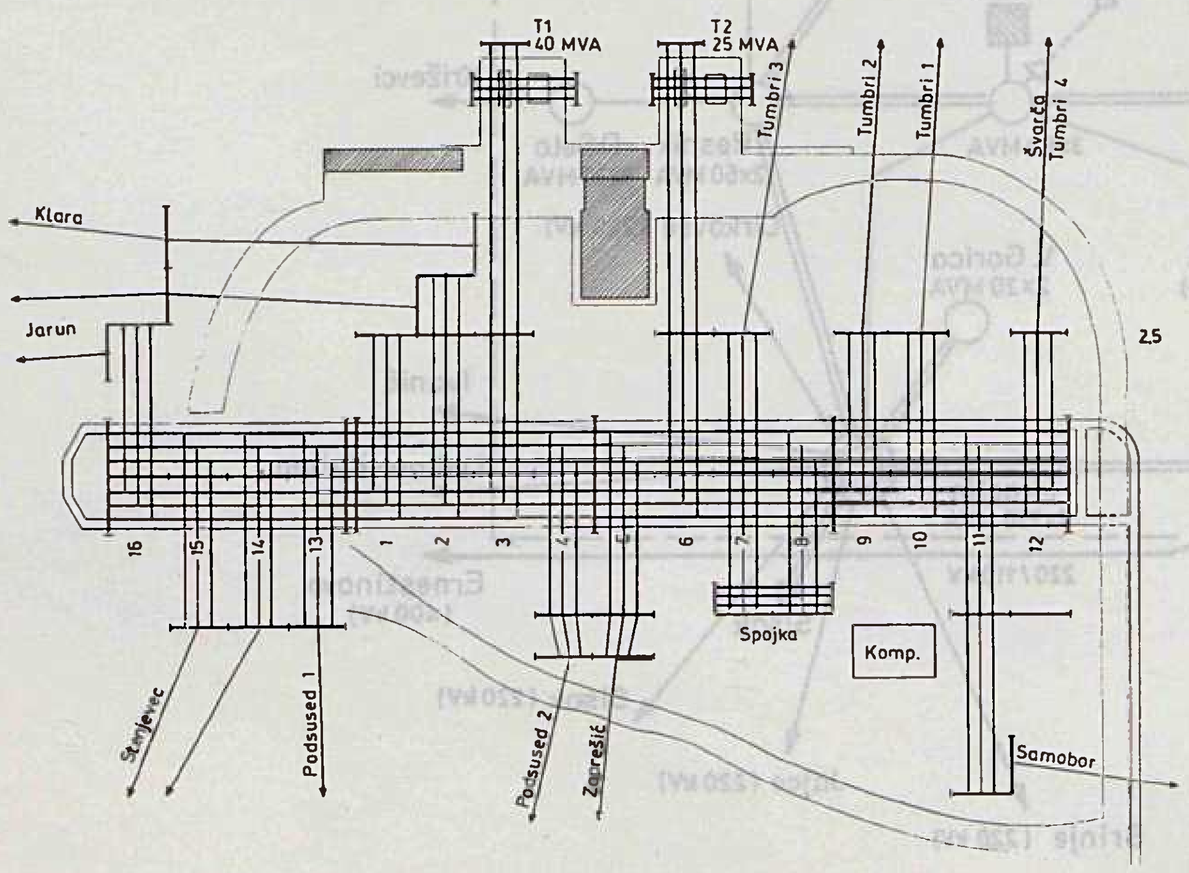
Slika 1. Mreža 400 – 220 – 110 kV područja »Zagreb-makro«, stanje 1989.



Slika 2. TS Rakitje — jednopolna shema 110 kV postrojenja

— buduća TS 400/110 kV Zagreb — zapad (Zagreb 3) koja je locirana na udaljenosti oko 3 km od TS Rakitje. Ta trafostanica trebala bi biti povezana na TS Rakitje s tri (3) »teška« 110 kV voda, tako da bi 110 kV postrojenje TS Rakitje postalo jedno podrasklopište ove TS 400/110 kV.

Da bi TS 110/30 kV Rakitje mogla u potpunosti obavljati svoju osnovnu funkciju čvornog rasklopišta 110 kV mreže, moraju svi elementi ovog postrojenja biti odgovarajuće dimenzionirani te dovoljno pouzdani. Taj zahtjev nije bio ispunjen na jednom od najvažnijih dijelova 110 kV postrojenja, a to su sabirnice. Nisu zadovoljavale kako sa aspekta strujne opteretivosti (vodiči 2 × 150 mm² Cu), tako i s aspekta mehaničke kvalitete nosne konstrukcije sabirnica (portalni stupovi i prečke od betonskih centrifugiranih elemenata koji su se počeli raspadati). Zbog toga je rekonstrukcija 110 kV sabirnica u TS 110/30 kV Rakitje postala prioritetni zahvat u sklopu rekonstrukcija i modernizacija rasklopno-transformatorskih postrojenja Prijenosnog područja Zagreb.



Slika 3. TS Rakitje — dispozicija 110 kV postrojenja

2. STUDIJSKO-PROJEKTANTSKI ZAHVATI

2.1. Stanje prije rekonstrukcije

Rasklopište 110 kV u TS Rakitje izvedeno je kao postrojenje s dva sistema sabirnica, središnjim portalnim stupovima i sabirničkim rastavljačima u paraleli, te sa spojem prekidač — sabirnički rastavljači iznad sabirnica. Same su sabirnice polazno izvedene s vodičima 150 mm² Cu. Godine 1967. izvedeno je pojačanje sabirnica, tj. sabirnice su izvedene vodičima 2 × 150 mm² Cu. To se odnosi na dvanaest (12) polja razmatranog 110 kV rasklopišta (stariji dio postrojenja) gdje su svi portalni stupovi i prečke (nosači sabirnica, središnji stupovi i izlazni portali) izvedeni od betonskih centrifugiranih elemenata. Većina nosača aparata 110 kV također je od betona.

Godine 1983. izvedeno je proširenje 110 kV postrojenja za četiri (4) polja, tako da je danas 110 kV rasklopište TS Rakitje izgrađeno i opremljeno sa šesnaest (16) polja. Proširenje je izgrađeno u istom stilu kao i prvotno izvedeni dio postrojenja ali s nosnom konstrukcijom od čelika i sabirnicama od užadi 2 × 400 mm² Al.

S električnog gledišta, usko grlo ovog rasklopišta posljedica je koncentracije većine pojnih vodova na jednom kraju sabirnica. Već je bilo slučajeva da je prijenos energije kroz jednu dionicu sabirnica s vodičima 2 × 150 mm² Cu bio na granici njihove dopuštene opteretivosti (reda 180 – 190 MVA). Kako se takva mikrotopologija priključaka vodova na sabirnice treba očekivati i u budućnosti, ali uz veće snage prijenosa, očito je da su sabirnice u starijem dijelu postrojenja 110 kV postale limitirajući faktor pogona.

Nosiva konstrukcija sabirnica bila je u vrlo lošem stanju.

Djelomična ispitivanja (probno rušenje portala izvan funkcije), koja su izvedena prije nekoliko godina, po-

kazala su zadovoljavajuću mehaničku čvrstoću betonske konstrukcije, ali je daljnja erozija pogoršala izgled, a time i stanje ovih konstrukcija. Nužnost pojačanja sabirnica i nepostojanje odgovarajućeg rješenja za sanaciju betonskih konstrukcija rezultirali su odlukom da se one zamijene odgovarajućim čeličnim konstrukcijama.

2.2. Izbor tehničkog rješenja

U siječnju 1988. godine izrađen je u »Elektroprijenosu« Zagreb, a u suradnji s »Elektroprojektom« Zagreb, elaborat pod nazivom »Rekonstrukcija sabirnica 110 kV u TS Rakitje — Idejno rješenje«.
Predmetnim elaboratom ponuđena su četiri (4) varijantna rješenja, od kojih su tri obrađivala zahvate na postojećem postrojenju, a četvrto je bio prijedlog za izgradnju novoga, metalom oklopljenoga, plinom izoliranoga postrojenja s kabelskim priključcima vodova i transformatora.
»Elektroprojekt« Zagreb je u suradnji s »Elektroprijenosom« Zagreb i »Dalekovodom« Zagreb izradio u lipnju 1988. godine na zahtjev Stručnog savjeta »Elektroprijenosa« Zagreb materijal pod nazivom

»TS Rakitje — Rekonstrukcija sabirničkog sistema 110 kV — Procjena investicijskih troškova za 4 varijantna rješenja rekonstrukcije i vremenskog trajanja radova«

uz dodatke:

»Organizacija radova na rekonstrukciji« i
»Dalji predvidivi razvoj 110 kV mreže u okolici TS Rakitje«.

Gradnja novoga oklopljenoga, plinom izoliranoga postrojenja procijenjena je na otprilike šesterostruku vrijednost od prosječne procijenjene vrijednosti ostalih triju (3) varijantnih rješenja, te je kao takva ocijenjena neopravdanom.

Ostala tri varijantna rješenja utemeljena su na ugradnji cijevnih sabirnica, a razlikovala su se u sljedećim predloženim zahvatima u poljima:

a) promjeni rasporeda sabirničkih rastavljača, tj. rušenju »paralele« i izgradnje »brazde« na novim postoljima, a izvođenju spojeva između aparata cijevima ispod sabirnica;
b) ne diranju aparata u poljima, rušenju centralnog sabirničkog portala smještenog između dvaju sistema sabirnica i izgradnji novih vodnih portala između kojih se razapinje uže iznad obaju sistema sabirnica za spoj između prekidača i sabirničkih rastavljača;
c) zadržavanjem postojeće konfiguracije u potpunosti polja, što zahtijeva zamjenu betonskoga centralnoga sabirničkog portala čeličnim na istom mjestu gdje je i postojeći betonski, a izvođenjem spoja između prekidača i sabirničkih rastavljača užetom razapetim iznad jednoga sabirničkog sistema.

Relativni odnos troškova za realizaciju varijantnih rješenja procijenjen je kao a:b:c = 100:112:106. Eliminacijom varijante »b« zbog cijene i ocijenjene smanjene sigurnosti pogona, kao i mogućih problema u održavanju postrojenja (spoj iznad obaju sistema sabirnica u svim poljima), detaljno su analizirane varijante »a« i »c«. Iako nešto skuplja, odabrana je varijanta »c« jer je ocijenjeno da se određeni dio radova potrebnih za ostvarenje ove varijante, može raditi i za vrijeme kad je postrojenje u pogonu. Tako se znatno skraćuju vremena isključenja pojedinih dijelova postrojenja, tj. manje ugrožava ispravno funkcioniranje 110 kV prijenosne mreže.

Za sabirnice su izabrane cijevi od Al legure promjera 160 × 8 mm, opteretive s 3 780 A odnosno 720 MVA. Takav izbor omogućuje i budući priključak do tri (3) »teška« voda prijenosne moći po 300 MVA na jednom kraju sabirnica. Cijevne sabirnice montiraju se na odgovarajuće potporne izolatore uz odabrani razmak faza od 2,50 m i uzdužni razmak podupora od 9,00 m. Ispod sabirnica (uzduž kabelskoga kanala) uređuje se transportna staza za prolaz radnih vozila visine do 3,70 m. Sabirnički sistemi dimenzioniraju se za kratkospojna naprezanja za struje početnoga kratkog spoja do 40 kA, odnosno za udarne struje kratkog spoja od 100 kA.

U sklopu zahvata na rekonstrukciji sabirnica projektira se i izvodi rekonstrukcija rasvjete platoa, rekonstrukcija i pojačanje internih prometnica u postrojenju.

3. REALIZACIJA REKONSTRUKCIJE SABIRNICA

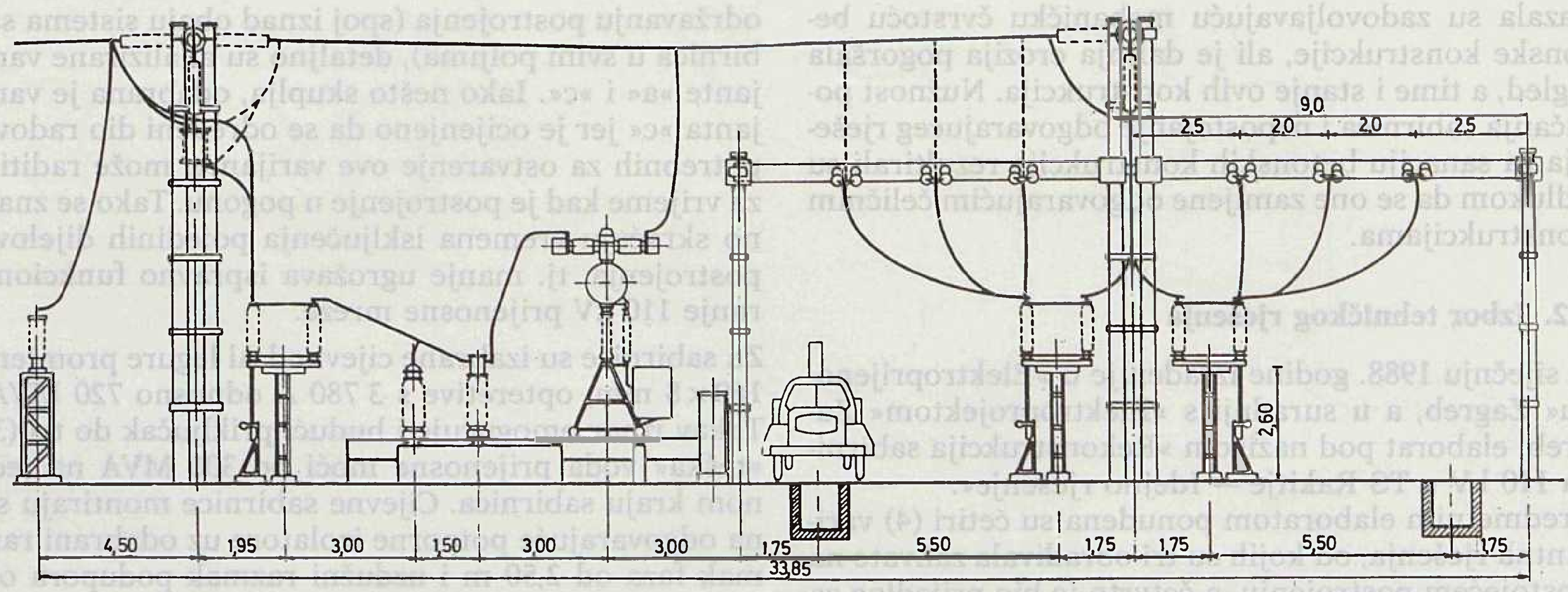
3.1. Pripremni radovi

U pripremama za zahvat na rekonstrukciji sabirnica trebalo je ponajprije opremiti 110 kV DV polje Jarun 2 (polje broj 16), tj. uvesti predmetni dalekovod u proširenje TS Rakitje koje će za vrijeme radova na rekonstrukciji staroga dijela postrojenja ostati u funkciji rasklopišta. Nakon završetka tih radova mogao se razdvojiti uvod dalekovoda Jarun 1 i TE-TO, koji su se po potrebi mogli spojiti rastavljačem (preko pomoćne drvene piramide smještene u TS Rakitje).
Druga pripremna aktivnost se sastojala u demontaži spojeva unutar polja broj 1, 2 i 3, a to znači da su isključeni dalekovodi:

DV 110 kV Rakitje — Jarun 1,
DV 110 kV Rakitje — TE-TO i
Transformator 1 (TR 1 110/30 kV, 40 MVA).

U navedenim poljima zamijenjeni su pomoćni betonski portali čeličnima te su obavljene pripreme za pogon transformatora 1 u blok spoju na DV 110 kV Jarun 1. Uz distantnu i nadstrujnu zaštitu na dalekovodu, zaštita transformatora od unutarnjih kvarova ostvarena je putem VF veze po DV 110 kV Jarun 2 koja je djelovala na isključenje DV 110 kV Rakitje — Jarun 1 u TS 110/30/10 kV Jarun.

Privremenim isključenjem i segmentiranjem 110 kV sabirnica u postrojenju, dijeljenjem postrojenja u dva rasklopišta stvoreni su uvjeti za premoštenje sabirnica, to jest uspostavljanje direktnog povezivanja dalekovoda:



Slika 4. TS Rakitje — presjek tipičnog vodnog polja 110 kV, stanje prije rekonstrukcije

Tumbri 2 — Rakitje – Zaprešić i
Tumbri 3 — Rakitje – Podsused,

dok je veza dalekovoda

Tumbri 1 — Rakitje – Švarća

realizirana između krajnjih stupova dalekovoda ispred TS Rakitje.

Tako konfigurirana mreža 110 kV dalekovoda omogućila je isključenje svih 12 polja 110 kV rasklopišta trafostanice odjednom bez ikakvih isključenja konzuma, uz djelomično smanjenu sigurnost napajanja.

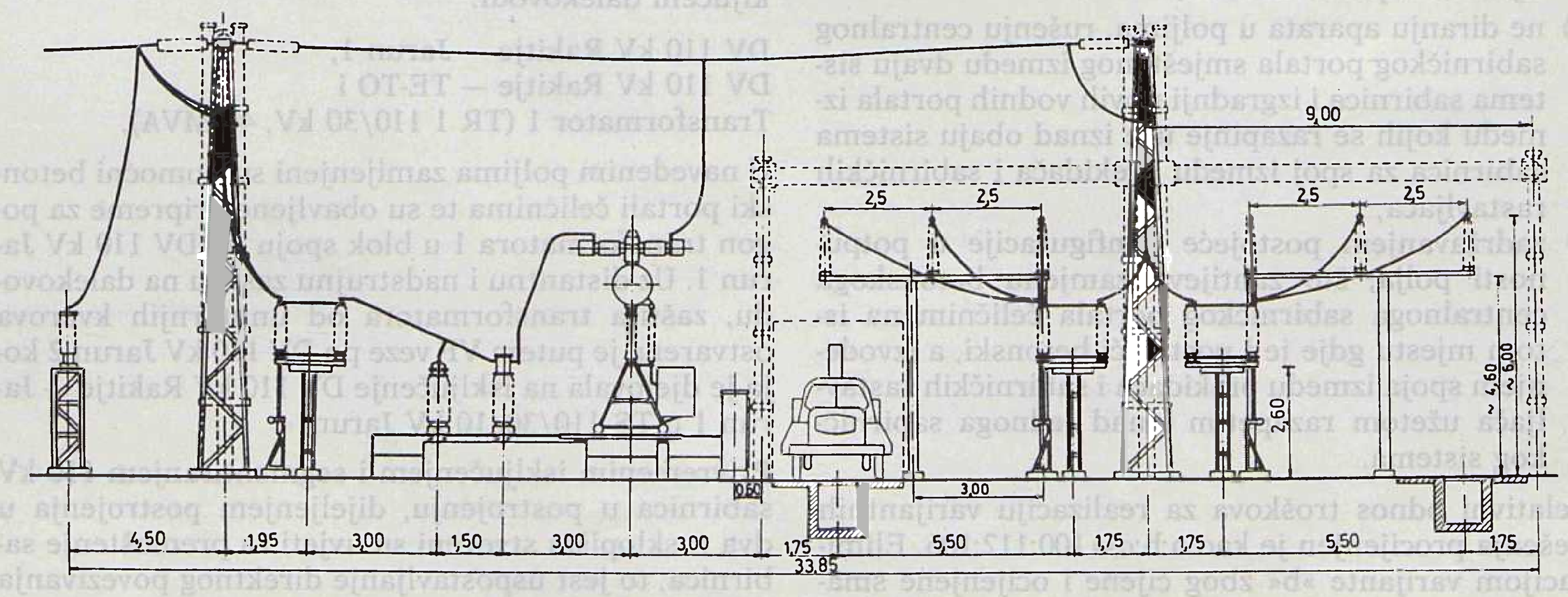
3.2 Predradnje i organizacija radova

Projekt tehnologije radova koji je naručen i izrađen u »Elektroprojektu« Zagreb imao je svrhu da se sagledavanjem što je moguće većeg broja aktivnosti i procjene potrebnoga radnog vremena za iste, odredi razdoblje u kojem će biti moguće ostvariti projektiran zahvat na rekonstrukciji. Razradom projekta tehnologije radova je uočena potreba preprojektiranja temelja nosača sabirnica tako da se umjesto predviđenoga ručnog iskopa temeljnih jama mogao primijeniti strojni, te su postignute znatne uštede vremena pri realizaciji iskopa.

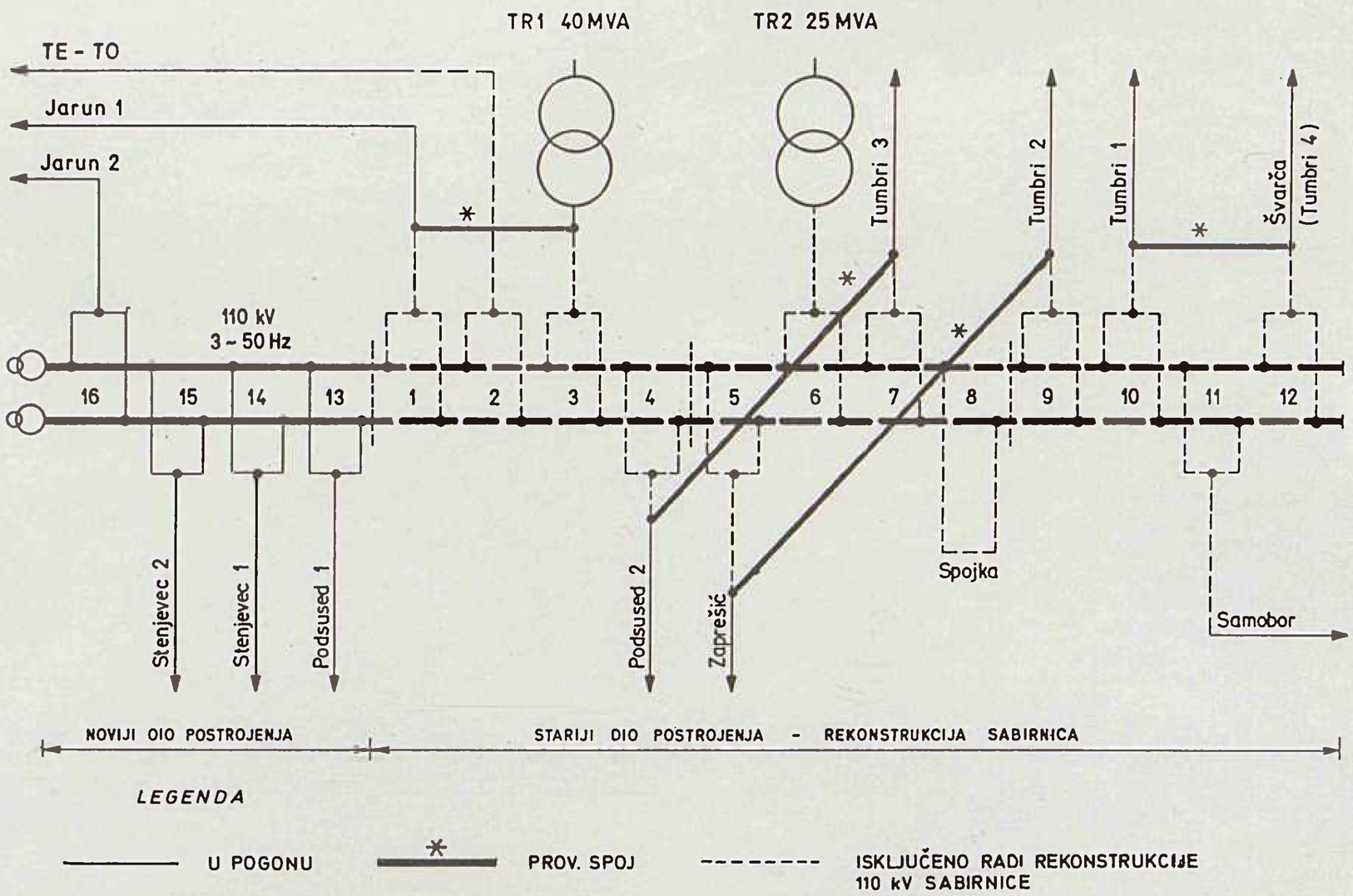
Odabirom »Dalekovoda« Zagreb kao nositelja posla na rekonstrukciji, koji je svojom paletom znanja i opremljenošću za ovakve zahvate pokrivao gotovo sve poslove, uz »Institut za građevinarstvo« Zagreb, koji je obavljao specijalističke poslove ugradnje sidrenih vijaka, postignuti su optimalni uvjeti za realizaciju ovoga velikoga i složenoga posla u zaista kratkom vremenu uoči nastupajuće zime.

3.3. Izvođenje radova na rekonstrukciji sabirnica

Uspostavljanjem takve konfiguracije 110 kV mreže koja je zadovoljavala određenu sigurnost pogona glede sigurnosti napajanja i stabilnosti, te isključenjem svih dvanaest polja u kojima je trebalo realizirati rekonstrukciju sabirnica, stvoreni su povoljni uvjeti u vezi s pravilima zaštite na radu u visokonaponskim postrojenjima HEP-a. Ograđivanjem dijela postrojenja koji je ostao pod naponom, u isključenom dijelu postrojenja omogućeno je slobodno kretanje ljudi i strojeva (rovokopač, dizalica, kamion) bez kojih bi ovakav zahvat bio nezamisliv. Korištenjem transportnih staza duž sabirnica, koje su ostvarene betoniranjem uz vanjske stijenke kabelskih kanala, omogućen je pristup autodizalici za teške terete, kojom j obavljena demontaža starih betonskih prečki i stupo-



Slika 5. TS Rakitje — presjek tipičnog vodnog polja 110 kV, stanje po rekonstrukciji



Slika 6. TS Rakitje — shema isključenja i premoštenja dijela postrojenja 110 kV radi rekonstrukcije sabirnica

va portala, kao i montaža novih čeličnih konstrukcija.

Organizacija radova pri kojoj je osnova za brzo izvođenje radova bio odabir takvog redoslijeda pri kojem nije dolazilo do blokade pristupa u pojedine radne zone, rezultirala je primjerenim kratkim rokovima za završetak pojedine faze rada, pa tako i cjelokupnog zahvata na rekonstrukciji sabirnica. Pri montaži cijevnih sabirnica bilo je stanovitih problema s pripasivanjem stezaljka na nedovoljno centrične cijevi, što je rješavano doradom stezaljka.

Vraćanje rekonstruiranog postrojenja u punu funkciju obavljeno je po posebnom pisanom programu koji je prilagođavan mogućnostima izvođača radova, kao i prilikama u elektroenergetskoj prijenosnoj mreži. Svi veći zahvati na prespajanjima dalekovoda planirani su i realizirani u dane vikenda, i to tako da je aktivnost bila određena za subotu, a nedjelja je bila određena kao rezervni dan.

Takvim planiranjem, uz izuzetno povoljne vremenske uvjete za izvođenje radova, ostvaren je cijeli zahvat rekonstrukcije praktički bez radova nedjeljom, a za vrijeme radova nije bilo isključenja konzuma.

4. ZAKLJUČAK

Temeljem kvalitetno izrađene projektne dokumentacije, korektno planiranih i stručno nadziranih aktivnosti, moguće je realizirati i vrlo složene zahvate u elektroenergetskoj mreži u primjerno kratkim rokovima i bez isključivanja ili redukcije konzuma.

PITANJA ZA DISKUSIJU

Za raspravu ostaje pitanje kakvo je stanje betonskih sabirničkih konstrukcija i drugih betonskih postolja u starijim visokonaponskim rasklopištima HEP-a (građenih do ~ 1965. godine) i kakvi se zahvati predviđaju na saniranju njihova eventualno lošeg stanja.

110 kV BUSBAR RECONSTRUCTION IN THE 110/30 kV RAKITJE SUBSTATION

The paper describes the preparation, design, organisation and implementation of the works on the reconstruction of the 110 kV busbar in the 110/30 kV Rakitje-Zagreb substation built in 1952.

DER UMBAU VON 110 kV – SAMMELSCHIENEN IM 110/30 kV-UMSPANNWERK »RAKITJE«

Beschrieben wird das Vorgehen bei der Vorbereitung, dem Entwerfen, dem Planen und der Durchführung der Arbeiten betreffend den Umbau der, im Jahre 1952 im 110/30 kV Umspannwerk »Rakitje – Zagreb« gebauten, 110 kV-Sammelschienen.

Naslov pisaca:

Božidar Radmilović, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za razvoj i inženjering
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska
Želimir Gongola, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za upravljanje i prijenos
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995 – 07 – 06

ISKUSTVA PRI PROJEKTIRANJU I UGRADNJI ZAŠTITNIH UŽETA S UGRAĐENIM SVJETLOVODNIM NITIMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Gordan Mirošević — Ivo Šegvić, Zagreb

UDK 621.316.9:621.315.45
PREGLEDNI ČLANAK

U članku je dan kratak prikaz svrhe i tehnološke mogućnosti ugradnje svjetlovodnih niti na dalekovodna užeta koje su aktualne u svjetskoj praksi. Isto tako, izložena su i dosadašnja zapažanja nastala pri projektiranju i ugradnji zaštitnih užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima u našoj državi. Osim toga, istaknuti su specifični elementi ovjesne i spojne opreme koji su nužni za ugradnju navedenih užeta na dalekovodne stupove, kao i posebni uvjeti koje je potrebno imati na umu pri njihovu projektiranju i ugradnji.

Ključne riječi: zaštitno uže, svjetlovodne niti, specifična oprema, posebni uvjeti montaže.

1. UVOD

Tehnički napredak, tehnološko usavršavanje, primjena sve novijih generacija računala u upravi i industriji, kao i sveopća robotika u posljednjem desetljeću ovog stoljeća uvjetovali su sve veću potrebu za kvalitetnom, sigurnom i brzom razmjenom informacija. Posljedica je razvoj niza telekomunikacijskih sustava (TKS-a), od globalnoga do lokalnoga karaktera, čije je osnovna značajka mogućnost ostvarivanja što većeg broja neovisnih veza (kanala) uz istodobno osiguranje nužne kvalitete i sigurnosti, odnosno njihove raspoloživosti.

Funkcioniranje elektroenergetskog sustava (EES-a) jedne zemlje, čitave regije, pa i šire, danas je gotovo nezamislivo bez uspješno organiziranog te tehnički i tehnološki usavršenog TKS-a unutar samoga EES-a. To je potrebno prije svega zato što su danas izvori električne energije, čvorne točke i potrošači, kao posljednji u lancu svakog EES-a, udaljeni na stotine i tisuće kilometara, te je stoga vođenje takvog sustava, djelotvorna zaštita svih vitalnih elemenata, kao i uspješno organizirana razina komunikacije u svim segmentima izuzetno složena i odgovorna zadaća koju je danas nezamislivo ispuniti bez pune i pravodobne koordinacije svih sudionika u spomenutom lancu.

Razvoj TKS-a unutar EES-a gotovo se u cijelosti oslanja na razvojna dostignuća telekomunikacija u pojedinim razdobljima, uz odgovarajuće specifičnosti i komparativne prednosti organiziranja TKS-a unutar EES-a, koje se zasnivaju na mogućnosti ostvarenja veza preko mreža prijenosnih vodova.

Tako danas u svijetu, pa prema tome i u nas, postoji nekoliko starijih sustava veza unutar EES-a, koje se u osnovi zasnivaju na radiovezama između pojedinih točaka ili na VF-vezama, gdje kao medij za prijenos VF-signala služe vodiči dalekovoda. Osim navedenih sustava veza, koriste se i klasični sustavi veza uporabom koaksijalnih poštanskih kabela ili pak jedne hibridne tvorevine koja se u osnovi sastoji od kombinacije prethodno spomenutoga koaksijalnoga kabela s bakrenim paricama i dalekovodnog užeta koji se u načelu ugrađivao kao zaštitno uže i obavljao je dvojaku funkciju, tj. funkciju zaštitnog užeta i telekomunikacijske veze (tzv. SLK-kabel).

Osnovni nedostatak svih prethodno navedenih sustava veza, koji su u načelu analognoga karaktera, jest ograničenost broja kanala, kao i znatno slabljenje kakvoće, odnosno nepostojanost veze pogotovo u okruženju jakih električnih i magnetskih polja koja su neizbježni produkt svakog EES-a.

Tek komercijalna primjena optike i svjetlovodnih niti kao medija za prijenos informacija, odnosno kompletna digitalizacija, koja svoju masovniju primjenu u telekomunikacijama doživljava u posljednjih desetak godina, osigurala je kvalitetan, pouzdan i siguran prijenos informacija gotovo neograničenih mogućnosti. Ovo potonje prije svega stoga što prijenos podataka svjetlovodima pruža neuporedivo veći broj raspoloživih veza u usporedbi sa svim prethodno opisanim sustavima veza, uz potpunu neovisnost u smislu kakvoće prijenosa u prisutnosti električnog i magnetskog polja.

2. SVJETLOVODNE NITI KAO SEGMENTI DALEKOVODA

Neosporne prednosti, te stoga i uvođenje svjetlovodne tehnologije u prijenosu informacija unutar EES-a uslijedila su na različitim tehnološkim razinama, no načelno danas razlikujemo nekoliko bitnih pristupa ugradnji svjetlovodnih niti i uspostavi telekomunikacijskih veza preko njih unutar EES-a uz korištenje pojedinih segmenata dalekovoda i dalekovodnih trasa:

— ugradnju zaštitnih užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima (tzv. OPGW)
— namatanje posebno konstruiranih svjetlovodnih kabela na postojeća užeta (tzv. WRAP)
— ugradnju samonosivih optičkih kabela.

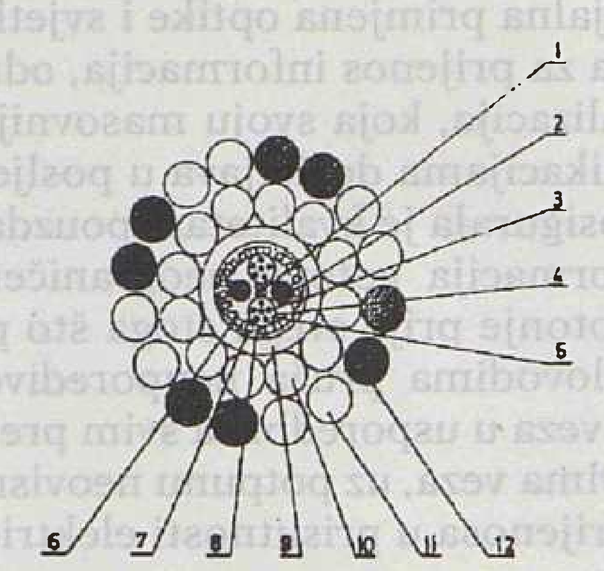
U ovom dijelu članka bit će detaljnije izložena samo primjena svjetlovodnih niti kao segmenta zaštitnog užeta (OPGW), jer su sva dosadašnja iskustva s ugradnjom svjetlovoda u našu elektroenergetsku mrežu upravo utemeljena na ovom sistemu.

2.1. Osnovna konstruktivna rješenja zaštitnih užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima

Tehnički i tehnološki gledano ovo načelo implementiranja svjetlovodnih niti u elemente dalekovoda, konkretno zaštitnog užeta, oslanja se na pozitivnim iskustvima stečenim s SLK-kabelima opisanima u uvodnom dijelu članka, uz korištenje svih prednosti svjetlovodnih niti, ali uzimajući u obzir i stanovite specifičnosti koje iskustva unose u takav hibridni proizvod.

U načelu razlikujemo dva osnovna tipa užeta izrađena na ovom principu. To je, kao prvo, jednostavnije uže koje je direktno naslijedilo ideju na kojoj je realiziran SLK-kabel, tj. u konkretnom slučaju opletanje klasičnoga plastičnoga kabela s ugrađenim svjetlovodnim nitima, žicama vodljivog i nosivog sloja, čime se dobiva uže koje u svojoj jezgri ima kabel sa svjetlovodnim nitima, dok su vanjski slojevi žičani slojevi užeta.

Ovaj tip OPGW ima razvijen niz podtipova koji su razvijeni radi postizanja nešto povoljnijih svojstava u smislu poboljšanja mehaničkih i električkih svojstava (npr. aluminijska jezgra umjesto plastične i sl.). Na slici 1. prikazan je spomenuti tip OPGW užeta primijenjen u našoj mreži prema [2].



1. Aramidna vlakna
2. Nemetalna vlakna
3. Svjetlovodne niti
4. Plastična cjevčica
5. i 8. Petrolat
6. Retex
7. Aramidna vlakna
9. PE plašt
10. i 11. Aldrey Ø 2,5 mm
12. Alumoweld Ø 2,75 mm

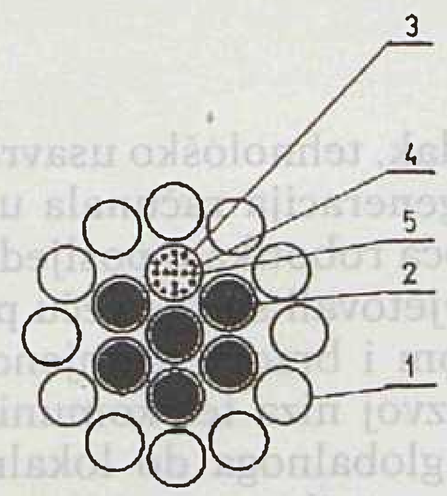
Slika 1.

Drugo, tehnološki savršenije uže, nastalo je kao rezultat ideje da se ukloni osnovni nedostatak prethodno opisanog tipa užeta, a to je povećanje dimenzija u odnosu na klasična zaštitna užeta uz zahtjev istih ili sličnih mehaničkih i električnih svojstava.

Naime, ovaj zahtjev se tijekom pogona pokazao opravdanim kako bi se zaštitna užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima bez većih zahvata, osim na novim dalekovodima, mogla ugrađivati i na postojeće dalekovode, čime se bitno povećava fleksibilnost i osigurava mogućnost povezivanja većega broja vitalnih točaka EES-a.

U osnovi, težilo se proizvodu koji bi prije svega svojim vanjskim dimenzijama morao odgovarati klasičnim, dosad primjenjivanim užetima.

Problem je riješen tako da je konstruirano uže koje je svojim konstruktivnim rješenjima identično »klasičnom« užetu, s tom razlikom što se jedna ili više žica jezgre užeta umjesto kao pune, specijalnim postupkom izrađuju kao šuplje cjevčice od nehrđajućeg materijala. Na taj način osigurava se prostor za ugradnju svjetlovodnih niti uz očuvanje osnovnih dimenzija identičnih »klasičnom« užetu. Nedostatak nosivog elementa u jezgri užeta uklanja se primjenom odgovarajućih kvalitetnijih slitina preostalih elemenata nosivog i vodljivog sloja užeta radi očuvanja mehaničkih i električnih svojstava. Na slici 2. prikazan je presjek ovakvog tipa OPGW-a primijenjenog u našoj mreži prema [1] i [3].



1. Slitina AlMgSi 0,5
2. Stalum Ø 3,20 mm
3. Metalna cjevčica Ø 3,20 mm
4. Silikonska ispuna
5. Svjetlovodne niti

Slika 2.

Bez obzira na tip OPGW-a, broj svjetlovodnih niti koji se ugrađuju prilično je fleksibilno definiran i načelno se kreće do 20 i više niti, što je sa stajališta telekomunikacija i više nego dostatan broj. U našem slučaju ugrađivani su OPGW-i s 10 odnosno 20 niti.

Osim navedenoga, potrebno je istaknuti kako je kvaliteta prijenosa informacija svjetlovodnim nitima u mnogočem ovisna o naprezanjima kojima su one izložene, kao i o eventualnoj prisutnosti vlage. Stoga je kod obaju tipova OPGW-a zamjetno da su primijenjena odgovarajuća konstruktivna rješenja koja potpuno eliminiraju prisutnost vlage u zoni svjetlovodnih niti, a ujedno se njihova ukupna duljina u odnosu na kompletno uže planira tako da u prosjeku iznosi 2 – 6% više, kako bi se izbjegli nepoželjni učinci variranja naprezanja užeta i njegove duljine tijekom montaže ili kasnije u pogonu. Svjetlovodne niti osjetljive su i na temperaturne promjene i sve posljedice koje one mogu prouzročiti, te je stoga za svaki tip OPGW-a obvezna navedena podnosiva struja jednopolnoga kratkog spoja u trajanju 1 sekunde, što je potrebno posebno imati na umu pri odabiru odgovarajućeg tipa OPGW-a.

3. POSEBNOSTI OVJESNE I SPOJNE OPREME ZA OPGW

Osnovne značajke i konstruktivna rješenja ovjesne i spojne opreme za ugradnju OPGW-a na dalekovodne stupove načelno se u pojedinim elementima bitno razlikuju od znatno jednostavnije opreme za zavješenje »klasičnih« zaštitnih užeta. To se prije svega odnosi na činjenicu da se OPGW fizički ne prekida na svakom zateznom stupu, odnosno njegovim se zavješenjem ne smije izazvati mehaničko oštećenje samog užeta. Tako i samo nastavljanje OPGW nije moguće izvesti u rasponu, kao što se to radi s klasičnim užetima svih tipova, već je za to predviđena i prilagođena posebna spojna oprema (spojnica), koja se na prikladnom mjestu redovito ugrađuje na zateznom stupu.

Spajanje OPGW-a izvodi se na zateznim stupovima zato što je na njima moguće ostvariti mehaničko rasterećenje užeta, odnosno njegovo zatezanje u smjeru raspona uz istodobno osiguranje dodatne duljine neprekinutog užeta, koje se može duž konstrukcije stupa spustiti na razinu prikladnu za rad i samo fizičko spajanje (obično na tlu neposredno uza stup).

Potrebnu količinu užeta od vrha stupa (uobičajena točka zavješenja OPGW-a) do tla i rezervnu količinu, koja služi za montažu spojnice, predviđa projektant u sklopu proračuna ukupno potrebne duljine užeta i ona je namotana na bubanj s kojeg se razvlači uže.

Uobičajene maksimalne duljine užeta proizvođača (na jednom bubnju), bez nastavljanja, ovisne su o raspoloživim duljinama svjetlovodnih niti, ali uobičajeno se kod većine kreću od 4 do 6 km. Dakako da udaljenosti između točaka nastavljanja užeta mogu biti i kraće ako to projektant ocijeni potrebnim zbog nekih drugih zahtjeva koji se u odgovarajućem projektu postavljaju.

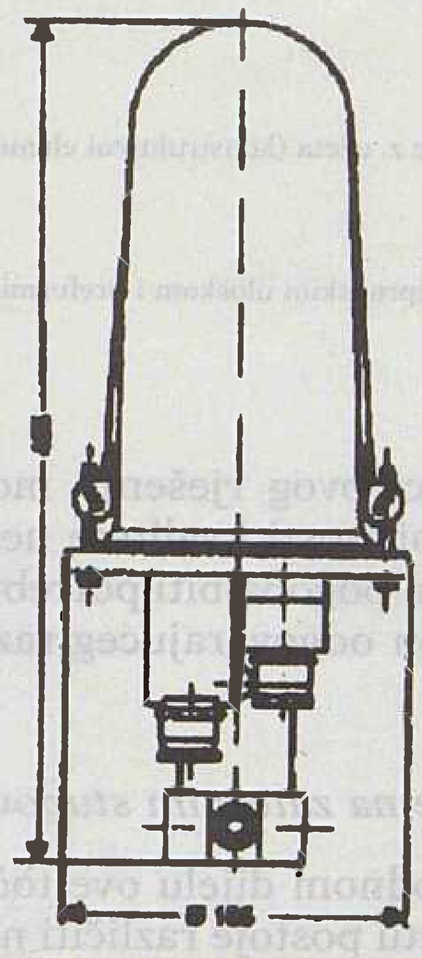
Potrebno je istaknuti da je svaka spojnica izvor gušenja signala, te se zbog toga teži ugradnji što manjeg broja spojnica.

3.1. Spojnica za OPGW

Postoje različite konstrukcije predmetnih spojnica, čiji je vanjski oblik ovisan o proizvođaču. Međutim, osnovna je značajka svih spojnica da se unutar kućišta, koje može biti metalno i plastično i sl., nalaze odgovarajuće kasete u koje se smještaju slobodne svjetlovodne niti nakon međusobnog spajanja.

Isto se to izvodi tako da se odvoji nosivi dio užeta od dijela užeta unutar kojeg su smještene svjetlovodne niti (cjevčica ili plastični kabel), te da se sve uvede u tijelo spojnice, pri čemu se kompletno uže samo pričvršćuje na stijenke spojnice preko uvodnice, a nosivi element niti i same niti prosljeđuju do dijela spojnice gdje se izvodi smještaj kaseta uz prethodno međusobno zavarivanje. Pri tome se u kasete smještaju samo niti.

Na svim prijelazima i odvajanjima ugrađuju se odgovarajuće zaštitne obloge bilo u obliku termoskupljajućih bandaža, bilo u obliku silikonskih masa koje sprečavaju prodor vlage i nečistoća do svjetlovodnih niti. Na kućištu spojnice nalazi se odgovarajuće konstruktivno rješenje za njezino učvršćenje na stupu. Na slici 3. prikazana je jedna od inih izvedba spojnice kod koje je spomenuta kaseta za niti smještena unutar posebno oblikovanoga metalnoga kućišta.



Slika 3.

3.2. Ovjesna oprema

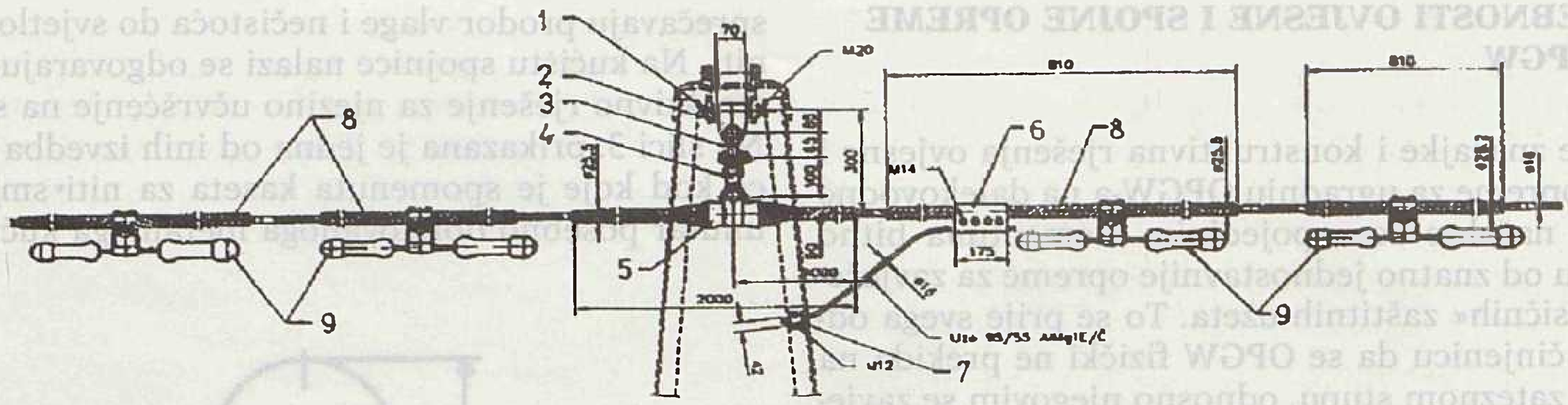
Kao i tehnologija razvoja konstrukcije OPGW-a i ovjesna oprema naišla je na zagovornike različitih pristupa rješenju problema zavješenja OPGW-a. Pri tome je problem ovješenja OPGW-a na nosivim stupovima gotovo u čitavom svijetu riješen na jedinstven način dok se pristup zavješenju na zateznim stupovima razvio u više tehnološki različitih smjerova.

3.2.1. *Ovješenje na nosivim stupovima*

Na nosivim stupovima ovjesnu opremu je trebalo prilagoditi u tom smislu da se, u odnosu na klasično nosivo ovješenje pomoću vijčane stezaljke, onemogući oštećenje užeta odnosno svjetlovodnih niti u OPGW-u pri izvedbi vijčanog spoja. Stoga je na nosivim stupovima ovješenje OPGW-a izvedeno pomoću odgovarajućeg tijela nosive stezaljke, neoprenskog uloška i preformiranog pruta.

Na slici 4. vidljiva je jedna od mogućih izvedbi ovješenja pomoću neoprenskog uloška primijenjen u skladu s literaturom [1] i [3].

Na osnovi sastava konstruktivnih elemenata ovješenja (zastavice s vijkom i vilice s očkom) vidljiva je primjenljivost elementa pune gibljivosti spoja. Osim navedenoga, vidljivo je da je i ovješenje zaštitnih naprava (one se vijčano priključuju na uže) također predviđeno izvesti preko preformiranih prutova kako bi se spriječilo oštećenje niti zbog izvedba vijčanog spoja. Pri tome je preporučljivo da duljina preformiranog pruta bude u svakom slučaju nešto veća od ukupne duljine zaštitne naprave.



1. Konzolica za ovješenje z. užeta (konstruktivni element stupa)
2. Zastavica s vijkom
3. Vilica s očkom
4. Vilica s očkom 90°
5. Nosiva stezaljka s neoprenskim uloškom i preformiranim prutom
6. Strujna stezaljka
7. Priključna stezaljka
8. Preformirani put
9. Zaštitna naprava (Stockbridge)

Slika 4.

Mogući nedostaci ovog rješenja mogu se ubuduće očitavati u postojanosti kvalitete neoprenskog uloška, što će tijekom pogona biti potrebno kontrolirati i eventualno nakon odgovarajućeg razdoblja i zamijeniti.

3.2.2. *Zavješenje na zateznim stupovima*

Kao što je u uvodnom dijelu ove točke (3.2) navedeno, danas u svijetu postoje različiti načini izvedbe zavješenja zaštitnog užeta na zateznim stupovima. Temeljem anketa koje su provedene tijekom proteklih godina, [4], ipak su se iskristalizirala dva (2) osnovna tipa zateznih zavješenja OPGW-a.

Prvi, tzv. vijčani način zavješenja sastoji se u tome da se za prihvat OPGW-a na konstrukciju stupa koristi posebno konstruirana vijčana stezaljka koja onemogućuje primjenu takve sile zatezanja koja bi oštetila konstrukciju OPGW-a, odnosno niti, a da istodobno osigurava dovoljnu silu prianjanja OPGW-a u svom tijelu.

Takav način zavješenja uglavnom se rjeđe primjenjuje, između ostalog i zato što je konstrukcija takve stezaljke relativno složena i prilagođena samo odgovarajućem tipu OPGW-a.

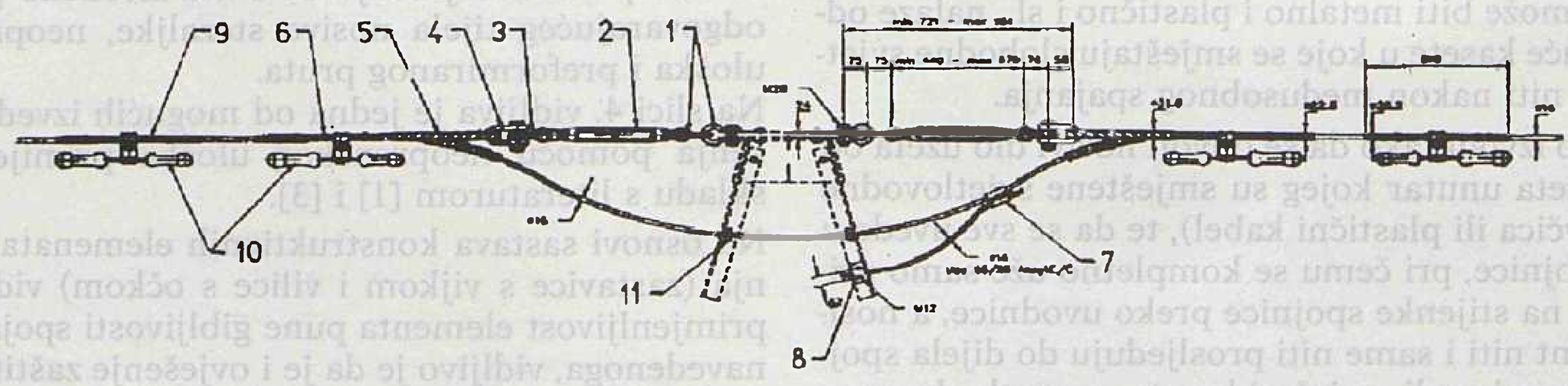
Drugi, znatno češće primjenjivani način zavješenja OPGW-a na konstrukciju stupa jest primjena odgovarajućih, posebno konstruiranih preformiranih prutova. Zavješenje pomoću spomenutoga preformiranog pruta prikazano je na slici 5, a primijenjeno je u skladu s [1] i [2].

Zatezni i zaštitni preformirani prutovi konstruirani su tako da im je s unutarnje strane pomoću specijalnih ljepila nanesen sloj kvarcnog pijeska. Taj sloj služi da se pri ugradnji na uže dodatno poveća trenje na površini nalijeganja. Prutovi su preformirani tako da su korak použavanja i dimenzije usklađene s odgovarajućim tipom užeta. Smjer použavanja podložne (zaštitne) spirale (pruta) uvijek mora biti suprotan od onog na OPGW-u, odnosno na zateznom prutu.

Osim navedenoga, za zavješenje OPGW-a na stup karakteristična je primjena odgovarajućih produžnika. Oni su potrebni radi udaljavanja OPGW-a od konstrukcije stupa kako bi se za izvedbu strujnog mosta osigurao dostatan prostor u smislu očuvanja dopuštenoga radijusa savijanja.

Spomenuti produžnici izvode se kao kruti sa mogućnosti regulacije ili bez nje. Mogućnost regulacije ostvaruje se ugradnjom krutih produžnika s odgovarajućim brojem perforiranih provrta koji služe za grubu regulaciju ili ugradnjom regulacijskih vijčanih produžnika (zatezača), koji su vidljivi na slici 5.

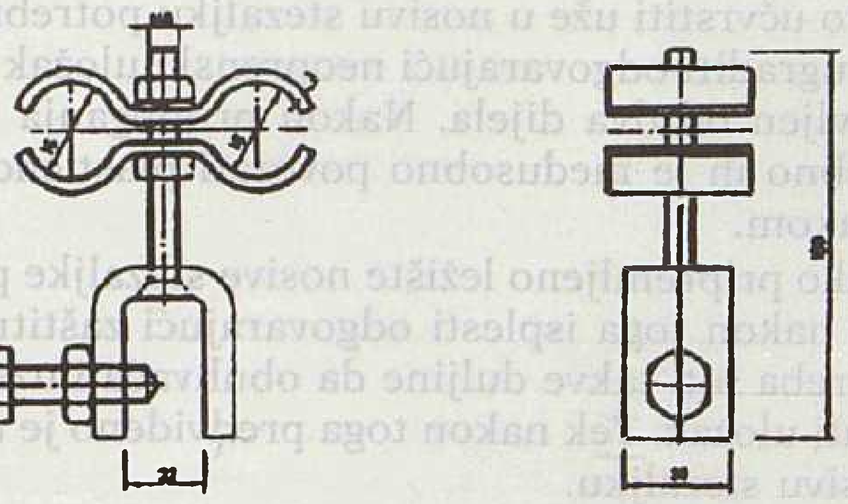
Prednost ugradnje regulacijskih produžnika sastoji se u tome da se olakša montaža OPGW-a na stup uz grubo određivanje provjesa, a tek nakon definitivnog učvršćenja da se omogući fino udešavanje provjesa u rasponu, odnosno forma strujnog mosta.



1. Škopci
2. Zatezač (regulacijski produžnik)
3. Vilica s očkom
4. »Kaušn« vilica
5. Zatezni preformirani prut
6. Zaštitni preformirani prut
7. Strujna stezaljka
8. Priključna stezaljka
9. Preformirani prut za Stockbridge
10. Zaštitna naprava (Stockbridge)
11. Nosač s obujmicom

Slika 5.

Od ostalih elemenata ovjesne opreme potrebno je istaknuti tzv. vijčane nosače s obujmicom za učvršćenje OPGW-a duž konstrukcije stupa na mjestu gdje je predviđena ugradnja spojnice. Oni su funkcionalno izvedeni i prilagođeni tako da se lako i jednostavno mogu ugraditi na bilo kojem mjestu uzduž konstrukcije stupa. Izgled nosača OPGW-a s obujmicom prikazan je na slici 6.



Slika 6.

Također je potrebno istaknuti kako se zbog osjetljivosti OPGW-a, a posebno ugrađenih svjetlovodnih niti, posebna pozornost pridaje zaštiti užeta od eolskih vibracija, te se u sastavu ovjesne opreme predviđaju i zaštitne naprave čija je zadaća da negativne efekte navedene pojave svedu na najmanju moguću mjeru.

4. POSEBNI UVJETI ZA MONTAŽU OPGW-a

Kao što je to više puta isticano, zaštitno uže s ugrađenim svjetlovodnim nitima specifične je konstrukcije, te stoga prilikom njegove ugradnje izvođač mora poštivati odgovarajuće proizvođačke zahtjeve, kako u pogledu primijenjene opreme i alata koji se koriste za razvlačenje, tako i u pogledu tehnologije razvlačenja užeta i udešavanja provjesa.

Osim navedenoga, u izravnoj svezi s ugradnjom OPGW-a dodatno je potrebno predvidjeti i organizirati odgovarajuća ispitivanja prije preuzimanja, tijekom ugradnje i nakon ugradnje užeta temeljem kojih je potrebno donijeti sud o korektnosti montaže OPGW-a.

Ovo potonje uglavnom se odnosi na ispitivanja u svezi s kvalitetom telekomunikacijskih veza koje su u izravnoj ovisnosti o korektnosti montaže odnosno manipuliranja OPGW-om.

4.1. Transport i isporuka užeta

OPGW se poput »klasičnih« užeta isporučuje na odgovarajućim bubnjevima. Pri tome promjer bubnja ne bi smio biti manji od $70 \times D$ (D = promjer OPGW-a u mm). Osim toga, znatno je povoljnije da se uže isporučuje na metalnim bubnjevima, posebno za veće duljine OPGW-a, jer se na taj način sprečava oštećenje užeta pri montaži, koje može nastati zbog nedovoljno čvrste konstrukcije drvenih bubnjeva.

Krajevi užeta moraju biti na odgovarajućem mjestu pričvršćeni na bubnju zapečaćeni kako bi se spriječio prodor vlage i nečistoće u tijelo užeta.

Duljina OPGW-a po pojedinom bubnju mora točno odgovarati proračunatoj duljini užeta na osnovi projektne dokumentacije, te nisu dopuštena odstupanja u negativnom smislu, a isto tako nije dopušteno da se eventualno pojedine kraće dionice namataju i isporučuju na istim bubnjevima, jer to iziskuje dodatne poteškoće u transportu već raspakiranog bubnja na novu lokaciju, što na nepristupačnim i teškim terenima treba izbjegavati.

Ukupna težina bubnja i vanjski promjer ovise o maksimalnoj duljini koju je predviđeno razvući, ali načelno se predlaže da se znatnije ograniči na terenima teško pristupačnim za mehanizaciju. Načelno, ukupni promjer bubnja ne bi trebao biti veći od 2,2 m, a težina 4 t (u iznimnim slučajevima do 6,5 t).

Bubnjeve je preporučljivo utovarivati autodizalicom, dok njihovo kotrljanje nije dopušteno, pogotovo ako je riječ o drvenim bubnjevima. Kotrljanje bubnjeva, ako za to stvarno postoje razlozi, može se eventualno tolerirati za slučaj isporuke OPGW-a na metalnom bubnju, ali ga treba izbjegavati.

Pri montaži bubanj je potrebno postaviti na odgovarajući stalak od čvrste (metalne) konstrukcije koji mora biti u sprezi s kočnicom kako bi se spriječilo nekontrolirano okretanje bubnja pri razvlačenju užeta. Spomenuta kočnica mora omogućavati konstantno kočenje kod svih brzina razvlačenja užeta, a preporučljivo je da promjer kola za kočenje ne bude manji od promjera jezgre bubnja, odnosno u krajnjem slučaju 1 m. Utori na kolu kočnice moraju odgovarati za predviđeni promjer užeta, odnosno moraju imati odgovarajuću širinu i dubinu, kako u protivnom ne bi došlo do neželjenog oštećenja kabela. Preporučuje se da udaljenost kočnice od stalka s bubnjem ne bude manja od 5 m.

4.2. Razvlačenje užeta

Daščanu zaštitu odnosno neki od drugih vidova direktne mehaničke zaštite namotanog užeta na bubnju i pripadnu foliju potrebno je skinuti s bubnja neposredno prije ugradnje OPGW-a na dalekovodu (nakon izvršenog transporta do točke od koje je predviđeno izvoditi razvlačenje). Osim toga, prije razvlačenja užeta potrebno je pripremiti sav materijal i opremu duž zateznog polja, odnosno dionice na kojoj je predviđeno razvući predmetno uže, što podrazumijeva i ugradnju odgovarajućih koloturnika na stupove.

Koloturnici u načelu moraju imati zaštićene utore s neoprenom ili moraju imati ugrađeni uložak od tvrde gume kako se tijekom razvlačenja ne bi oštetilo uže. Promjer koloturnika mora iznositi najmanje $(25-30) \times D$. Takav promjer koloturnika preporučuje se i za montažu OPGW-a užeta preko kutnih stupova za kutove loma trase od 160° do 180°.

Za kutove loma trase od 120° do 160° preporučuje se ugradnja koloturnika većeg promjera $(30-35) \times D$, dok se u slučaju montaže OPGW-a na kutnim stupovima gdje je kut loma trase manji od 120°, a ako se ne predviđa nastavljanje užeta ili ugradnja spojnice na istome, predlaže da minimalan promjer koloturnika iznosi $(50-60) \times D$.

Ako bi primjena koloturnika tako velikih promjera izazivala dodatne probleme pri montaži, predlaže se ugradnja po dva ili više manjih koloturnika kako bi se tijekom razvlačenja postigao zadovoljavajući kut savijanja koji bi dao dostatnu sigurnost da se neće oštetiti svjetlovodne niti.

Uže se ne smije razvlačiti izravno, već pomoću tzv. vučnog užeta određenih mehaničkih svojstava u ovisnosti o užetu koje se razvlači.

Brzina razvlačenja užeta mora biti ujednačena ($\approx$ 10 – 20 m u minuti), te je potrebno obaviti sve predradnje da se tijekom razvlačenja izbjegnu nagli zastoji, trzaji i nekontinuiranost razvlačenja.

Sila razvlačenja užeta ne smije prekoračiti odgovarajuće vrijednosti koje uobičajeno specificira proizvođač užeta. Međutim, uvažavajući činjenicu o velikoj osjetljivosti svjetlovodnih niti na longitudinalna istezanja praksa je da sila razvlačenja u načelu ne prelazi 20% vrijednosti prekidne sile užeta.

Ovisno o uvjetima na trasi, brzinu razvlačenja i silu razvlačenja treba kontrolirati te stoga vitlo mora biti opremljeno uređajima za njihovu indikaciju.

Za vrijeme razvlačenja poželjno je da na svakom stupu (posebno na mjestu gdje trasa mijenja smjer) bude monter koji će pratiti razvlačenje užeta i eventualno pravodobno reagirati ako prijeti opasnost od njegova oštećenja. Provjes užeta pri razvlačenju mora biti konstantan i toliki da uže ne dolazi u doticaj s terenom i objektima iznad kojeg se razvlači.

Razvučeno uže potrebno je učvrstiti s jedne strane zateznog polja pomoću odgovarajućeg zateznog pruta, dok je na drugoj strani zateznog polja ugradnju potrebno izvesti tek nakon udešenja provjesa u svim rasponima uzduž zateznog polja odgovarajućim zatezanjem, odnosno otpuštanjem užeta. Jednom korišten zatezni prut (npr. za zatezanje) ne smije se koristiti i za konačnu ugradnju.

Nakon definitivnog zatezanja i ugradnje užeta unutar jednog zateznog polja potrebno je obaviti precizno udešavanje provjesa dodatnim zatezanjem, odnosno otpuštanjem zatezača ili regulacijom duljine krutih produžnika, koji su sastavni dio ovjesne opreme na zateznom stupu.

4.3. Montaža užeta na stupove

Kao što je u prethodnom dijelu teksta spomenuto, montažu užeta na zatezne stupove predviđeno je izvesti pomoću odgovarajućih zateznih preformiranih prutova, pri čemu je prvo uže potrebno obložiti odgovarajućim zaštitnim preformiranim prutom, koji je potrebno namatati oko užeta u smjeru suprotnom od použenja zaštitnog užeta, što služi ostvarenju što čvršće i sigurnije veze zateznog pruta.

Zaštitni prut se oblaže u nešto većoj ukupnoj duljini nego zatezni prut, a na njega je još dodatno predviđeno ugraditi i odgovarajuće prigušivače vibracija. Na tako postavljen zaštitni prut potrebno je namotati zatezni prut koji se na kraju formira u obliku savijene petlje. Smjer použenja zateznog pruta mora odgovarati smjeru použenja OPGW-a.

Montažu spomenutih prutova potrebno je izvesti pažljivo kako se pri oblaganju užeta ono ne bi slučajno opteretilo ili kako se ne bi oštetio sloj kvarcnog pijeska koji služi za povećanje trenja, a nalazi se s unutarnje strane zaštitnog i zateznog pruta. Krajeve prutova potrebno je s posebnom pažnjom prisloniti uz uže.

Montaža užeta na nosivom stupu nešto je manje složena i sastoji se od toga da je na mjestu gdje je predviđeno učvrstiti uže u nosivu stezaljku potrebno najprije ugraditi odgovarajući neoprenski uložak koji je sastavljen od dva dijela. Nakon prilijeganja na uže potrebno ih je međusobno povezati plastičnom izolir-trakom.

Na tako pripremljeno ležište nosive stezaljke potrebno je nakon toga isplesti odgovarajući zaštitni prut koji treba biti takve duljine da obuhvaća i uže i spomenuti uložak. Tek nakon toga predviđeno je ugraditi nosivu stezaljku.

Vođenje užeta duž konstrukcije stupova na mjestima gdje je predviđena ugradnja spojnice ili gdje je predviđeno ostavljanje rezerve užeta potrebno je izvesti pomoću odgovarajućih vijčanih nosača čije dodirne stijenke trebaju biti plastificirane ili obložene nekim drugim materijalom radi zaštite OPGW-a. Na svim mjestima gdje se izvodi pritezanje spomenutih nosača, kao i na mjestima gdje se izvode strujni mostovi, odnosno gdje se neposredno ostvaruje prihvat OPGW-a korištenjem vijčane opreme (paralelne strujne stezaljke, razni alati za natezanje i sl.), potrebno je paziti da ne nastane oštećenje užeta, a načelno se preporučuje dotezanje vijaka pomoću moment-ključa.

Radijus savijanja užeta pri vođenju duž konstrukcije stupa ne bi smio biti manji od 25 × D.

Glede ugradnje i montaže spojnice treba reći da ju je nakon izvedbe preporučivo postaviti na visinu ne manju od 5 m u odnosu na okolni teren, kako bi se preduhitrili i eventualno izbjegli naknadni vandalski akti. To se ne odnosi na spojnice koje se ugrađuju u krugu postrojenja. One se uobičajeno ugrađuju na približno 1,5 m od tla, čime se omogućuje jednostavniji pristup i održavanje, a ujedno se smanjuje potrebna duljina podzemnoga uvodnog optičkoga kabela koji je zbog svoje konstrukcije bitno ranjiviji od OPGW-a za slučaj montaže iznad tla.

Prilikom konačnog postavljanja spojnica na odgovarajuće mjesto na trupu stupa potrebno je pripaziti da se od viška OPGW-a formira odgovarajuća rezervna petlja duž konstrukcije stupa, pazeći da radijus savijanja iznosi minimalno 25 × D, te da uže ne bude direktno pristupačno s tla.

5. ZAKLJUČAK

Ugradnja OPGW-a u proteklih 10-ak godina naišla je na veliku primjenu u gotovo svim elektroenergetskim sustavima u svijetu. Polako ali sigurno prednosti koje primjena OPGW-a na dalekovodima donosi, pridonijele su sve većoj svijesti o potrebi primjene spomenutih užeta i u našem EES-u.

U konkretnom slučaju tijekom 1993. i 1994. godine ugrađena su dva tipa OPGW-a na novim dalekovodima u našoj državi, što je na stanovit način jednostavniji problem s obzirom na to da omogućuje projektantu pravilan izbor kako trase, tako i razmještaja stupova koji će u svakom pogledu zadovoljavati za odabran tip užeta.

Usavršavanje telekomunikacijskog sustava sve više nameće misao o stvarnoj potrebi zamjene zaštitnih užeta na postojećim dalekovodima odgovarajućim OPGW-ima. Ta spoznaja postaje sve dominantnija jer se sa stajališta održavanja dalekovoda, zbog dotrajalosti tijekom dugogodišnjeg pogona, sve više javlja i onako potreba zamjene postojećih zaštitnih užeta.

Na taj način omogućuje se spoj više gospodarskih interesa koji u cjelini pridonose kvalitetnijem funkcioniranju cjelokupnog sustava.

Problematika zamjene postojećih zaštitnih užeta novim OPGW-om složenija je u usporedbi s prethodno opisanom ugradnjom OPGW-a na novim dalekovodima. Međutim, s razvojem tehnologije OPGW-a danas je omogućena primjena OPGW-a u gotovo svim slučajevima u kojima su se do sada primjenjivala odgovarajuća klasična zaštitna užeta.

Na kraju je potrebno istaknuti kako je primjena OPGW-a u našem EES-u za sada pokazala nesumnjive prednosti, pri čemu su usvojeni svi bitni elementi ove tehnologije, dok će se iskustva stjecati u razdoblju koji je pred nama. Međutim, to ipak nije dovoljan razlog da se u budućem razdoblju ne razmotre i neka druga tehnološka rješenja ugradnje svjetlovodnih niti na dalekovodna užeta, prije svega u svijetu dosta primjenjivani tzv. WRAP-sistem koji je prikladniji za ugradnju na dalekovodima s relativno novim užetima klasičnog tipa.

LITERATURA

[1] Glavni projekt DV 2 × 110 kV HE Dubrovnik – Plat – Komolac, izradio »Dalekovod« d.d. srpanj 1993. g., Reg. broj DC657

[2] Glavni projekt DV 2 × 110 kV Dujmovača-Meterize/Vrboran, izradio »Dalekovod« d.d. ožujak 1994. g., Reg. broj DC648

[3] Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na:
DV 110 kV TS Rab – TS Novalja, Reg. broj 676, izradio »Dalekovod« d.d. ožujak 1994. g.
DV 110 kV TS Novalja – TS Pag, Reg. broj 677, izradio »Dalekovod« d.d. ožujak 1994. g.
DV 110 kV TS Pag – TS Gorica, Reg. broj 678, izradio »Dalekovod« d.d. ožujak 1994. g.
DV 110 kV Nin – Gorica, Reg. broj 679, izradio »Dalekovod« d.d. ožujak 1994. g.
DV 110 kV Zadar – Nin, Reg. broj 680, izradio »Dalekovod« d.d. lipanj 1994. g.,

[4] Results of the Questionnaire »Fittings for Fibre Optic Cables on Overhead lines«, CIGRE, SC22 WG11 TF3 August 1993. g.

[5] Installation Practices for Fiber Optic Ground Wire in Germany, C. Jürdes, Montreal 1993. g.

[6] Proizvođački katalozi: ELKA, FELTEN&GUILLEAUME, ALCOA FUJIKURA, MOSDORFER i RIBE

EXPERIENCES IN DESIGNING AND ERECTING OPTICAL GROUND WIRES IN THE REPUBLIC OF CROATIA

In this paper, a short review of the purpose and technological possibilities of building in fiber optics on the transmission line wires is given. Likewise, special fitting and joint devices are given in the paper. Former observations, a result of designing and erecting optical ground wires in Croatia, are presented. Likewise, special fitting and joint devices required for erection of optical ground wires on transmission line towers are highlighted as well as special erecting conditions which should be taken into consideration while designing and erecting.

DIE ERFAHRUNGEN BEIM ENTWERFEN UND BEIM EINBAU DER SCHUTZSEILE MIT EIGEBAUTEN OPTISCHEN FASERN IN DER REPUBLIK KROATIEN

Im Artikel ist der Zweck und die technischen Möglichkeiten des zur Zeit in der Welt angewandten Einbaues von optischen Fasern in die Fernleitungsseile erörtert. Ebenfalls sind die bisher in unserem Lande, beim Entwerfen und bei der Montage der Schutzseile mit eingebauten optischen Fasern, gemachten Beobachtungen dargestellt. Neben dem sind die kennzeichnenden, für die Montage solcher Seile, notwendigen Teile der Aufhänge- und Verbindungs- Armaturen, und die beim Entwerfen und beim Einbau ins Auge zu fassende Sonderbedingungen, hervorgehoben.

Naslov pisaca:

Gordan Mirošević, dipl. ing.
Dalekovod d.d.,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska
Ivo Šegvić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za upravljanje i prijenos,
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995 – 07 – 12

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

NOVI STATUT HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE D.D.

Hrvatska elektroprivreda bila je dužna prema zakonu uskladiti svoje opće akte sa Zakonom o trgovačkim društvima. U novom statutu djelatnost elektroprivrede utvrđena je prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (NN 6/95). Prema toj klasifikaciji predmet poslovanja Hrvatske elektroprivrede kao dioničkog društva jest:

- 40.1. proizvodnja i distribucija električne energije
- 40.2. proizvodnja plina, distribucija plinovitih goriva distribucijskom mrežom
- 40.3. opskrba parom i toplom vodom
- 45. građevinarstvo
- 60.23. ostali prijevoz putnika cestom
- 60.24. prijevoz robe (tereta) cestom
- 70. poslovanje nekretninama
- 73.1. istraživanje i eksperimentalni razvoj u prirodnim, tehničkim i tehnološkim znanostima
- 74.15. upravljanje holding-društvima
- 74.2. arhitektonske i inženjerske djelatnosti i tehničko savjetovanje
- 74.3. tehničko ispitivanje i analiza
- 80.4. obrazovanje odraslih i ostalo obrazovanje
- upravljanje elektroenergetskim sustavom
- kupnja, prodaja i razmjena električne energije i plina
- servisiranje vatrogasnih uređaja
- uvoz i izvoz električne energije
- zastupanje inozemnih tvrtka
- nabava opreme i repromaterijala za izgradnju i korištenje elektroenergetskog sustava
- međunarodni prijevoz stvari u cestovnom prometu
- usluge kontrole kvalitete vode, tekućih i krutih goriva, maziva, turboulja i trafoulja.

Temeljni kapital iznosi 5 400 518,00 DEM. Podijeljen je na 10 801 036 dionica serije A, koje glase na donositelja. Nominalna je vrijednost jedne dionice 500 DEM.

Prema Zakonu o trgovačkim društvima organi Društva su: uprava, nadzorni odbor i glavna skupština, koju čine dioničari.

Organizacija Hrvatske elektroprivrede d.d. regulira se posebnim aktima.

SBK

PONOVNO USPOSTAVLJANJE JEDINSTVENOGA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE

Nakon vojno-redarstvene akcije »Oluja« stvoreni su uvjeti za ponovno stavljanje u pogon dalekovoda DV 400 kV Konjsko — Obrovac — Meline, DV 220 kV Konjsko — Brinje, te DV 110 kV Gračac — Lički Osik, čime se uspostavlja jedinstven elektroenergetski sustav Hrvatske. Stavljanjem u pogon navedenih dalekovoda i uključenjem otočne veze 110 kV u paralelni rad povezuje se četverostruko sjeverna i južna Hrvatska, što donosi povećanu sigurnost, kvalitetniju isporuku električne energije i ekonomičniji rad svih elektrana u elektroenergetskom sustavu.

SBK

RHE OBROVAC OPET U RUKAMA HEP-a

Nakon vojno-redarstvene akcije »Oluja« u kolovozu ove godine RHE Obrovac, te HE Miljacka, Golubić i Krčić ponovno su u rukama Hrvatske elektroprivrede. Ove hidroelektrane, ukupne snage 305 MW, mogu proizvesti u prosječnoj hidrološkoj godini oko 520 GWh električne energije.

Iako su postrojenja RHE Obrovac u relativno dobrom stanju, ali zapuštena, trebat će više od godinu dana da bi se dovela u stanje kakvo je bilo prije rata. Generatori nisu pet godina servisirani, te je potreban remont i cjelovito ispitivanje cijelog postrojenja.

Nekadašnja HE Manojlovac, sada HE Miljacka, kako se zvala i od izgradnje 1906. godine do 1956, nema većih oštećenja. Isto tako, vizualnim pregledom HE Golubić i Krčić ustanovljeno je da nema većih oštećenja. Nakon uspostavljanja 35 kV mreže dalekovodom 35 kV Knin—Miljacka preko TS 110/35 kV Vrbnik, HE Miljacka spojena je s elektroenergetskim sustavom Republike Hrvatske. Sada se HE Golubić može pustiti u pogon, a nakon probnog rada HE Miljacke i HE Krčić.

SBK

POVEZIVANJE JADRANSKIH OTOKA KABELIMA 110 I 35 kV

Prema planu razvoja elektroenergetske mreže 1995—2000. godina predviđeno je povezivanje svih većih jadranskih otoka međusobno ili s kopnom kako bi se poboljšala opskrba električnom energijom. Time će se eliminirati dosadašnji problemi opskrbe električnom energijom i omogućiti intenzivniji razvoj turizma i ostaloga gospodarstva, poboljšati životni standard stanovništva na otocima i utjecati na smanjenje iseljavanja otočnog stanovništva. Vrijednost investicije iznosi oko 55 milijuna DEM.

Do kraja ove godine završit će se povezivanje jadranskih otoka 110 i 35 kV kabelima. Dosada su postavljeni novi 35 kV kabeli na dionicama:

Dionice	Duljina km
Mljet – Pelješac	15,5
Korčula – Lastovo	16
Hvar – Vis	21
Brač – Šolta	3,5
Šolta – Čiovo	9,5
Obonjan – Žirje	10
Ugljan – Dugi otok	12,5
Silba – Ilovik	8,5
Ilovik – Lošinj	1,8
Lošinj – Koludrac	0,4
Koludrac – Lošinj	0,7

Osim toga, postavljen je i 110 kV kabel kopno — Brač. Tim kabelom zatvorena je »južna elektroenergetska petlja«, koja omogućuje južnom dijelu Hrvatske kvalitetno napajanje na 110 kV naponu.

SBK

TS PEHLIN 220/110/35 kV U SUSTAVU DALJINSKOG VOĐENJA

Hrvatska elektroprivreda i dalje investira u sustav daljinskog vođenja, uključujući pojedine elektroenergetske objekte koliko to materijalni uvjeti dopuštaju. Tako je na red došla i TS Pehlin 220/110/35 kV, koja je djelomično prilagođena za daljinsko vođenje. Početkom kolovoza raspisano je javno nadmetanje za utvrđivanje podobnosti za uvođenje u daljinski sustav ovog objekta. Potrebno je izraditi adekvatnu dokumentaciju za prilagođenje objekta, nabaviti potrebnu opremu i izvesti radove. Planirano je da radovi počnu tijekom listopada ove godine. Predviđeno je etapno izvođenje radova tijekom 1995. i 1996. godine, ovisno o financijskim sredstvima Hrvatske elektroprivrede.

SBK

TS 35/10 kV VELIKA PRED DOVRŠETKOM

Početkom kolovoza ove godine objavljeno je javno nadmetanje radi odabira najpovoljnije ponude za dovršenje TS 35/10 kV Velika. Nadmetanje obuhvaća izradu projektne dokumentacije za tehničko rješenje, isporuku i montažu opreme, te puštanje pod napon. Ponude se prikupljaju do polovice rujna, nakon čega će uslijediti javno otvaranje ponuda i izbor najpovoljnijeg ponuđača.

SBK

TEHNIČKI UVJETI ZA OBRAČUNSKA MJERNA MJESTA

Početkom lipnja ove godine usvojena je još jedna granska norma za djelatnost elektroprivrede. Direkcija za distribuciju donijela je gransku normu oznake N.222.03, klasifikacijskog broja 4.20/95, naziva Tehnički uvjeti za mjernu opremu na obračunskom mjernom mjestu na niskom i srednjem naponu (brojila i tarifni uređaji — izmjene i dopune). Ova je norma objavljena u Biltenu HEP broj 49 od 14. srpnja ove godine, od kada se i primjenjuje. Granska norma obuhvaća uvjete za brojila električne energije, uvjete za tarifne uređaje, uvjete za uklopne satove, te tehničke uvjete za prijamnike MTU.

SBK

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

NAPREDUJU RADOVI NA KONSTRUKCIJI EUROPSKOG NUKLEARNOG REAKTORA

Radovi na razvoju europskoga nuklearnog reaktora na vodu pod tlakom (EPR) ušli su u drugu fazu. U roku 2 do 3 godine treba izraditi osnovnu konstrukciju za novu generaciju takvog tipa reaktora. Cijeli se razvojni program odvija u međusobnoj suradnji francuske i njemačke elektroprivrede i proizvodnih poduzeća Fromatome i Siemensa (vidjeti Energija, god. 43 (1994), br. 2). Ukupni troškovi za radove u daljoj fazi procijenjeni su na 220 milijuna DEM, a snosi ih istim udjelom francuska i njemačka strana.
Cilj je suradnje da se, prema iskustvima u nuklearnoj tehnici stečenim u objema zemljama, razvije reaktor veće ekonomičnosti i veće sigurnosti. Time će se stvoriti tehnička baza za buduće odluke u projektiranju novih nuklearnih elektrana, a dobit će se i spoznaje korisne za nuklearke u pogonu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 9

Mrk

U SVIJETU IMA OKO 55 MILIJUNA TOPLINSKIH PUMPA

Prema podacima međunarodne agenture za energiju (IEA), u svijetu je danas montirano 55 milijuna toplinskih pumpa, od čega gotovo tri četvrtine u Japanu. U SAD-u i cijelom ostalom svijetu je ostatak u približno jednakom udjelu. Švicarska je sa svojih 43 000 uređaja na europskom vrhu. Za usporedbu, u Njemačkoj ima oko 50 000 uređaja za grijanje pomoću toplinskih pumpa.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 9

Mrk

KABELSKA VEZA ITALIJA – GRČKA

Komisija EU u Bruxellesu vidi nove mogućnosti da se ostvari davni plan povezivanja Grčke s Italijom. Podmorski bi kabel vodio od Taranta u Italiji na otok Krf, zatim kopnom do Peloponeza. Opisana veza bila bi potrebna radi sigurnosti opskrbe Grčke električnom energijom, jer je kopnena veza kroz Srbiju prekinuta već tri godine. Do sada se ovaj plan nije mogao ostvariti zbog vrlo visokih troškova.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 10

Mrk

NJEMAČKO – RUSKA SURADNJA NA PROBLEMU PLUTONIJA

Tijekom 1993. godine za studije o korištenju plutonija iz nuklearnog oružja za nuklearno gorivo raspolagalo se svotom od 20 milijuna DEM. Ova je tehnička studija rađena u sklopu njemačko – ruske suradnje u svezi s razoružanjem. O napretku radova i daljnjim mjerama odlučit će zajednička mješovita komisija.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 13

Mrk

PORAST GDP-a I POTROŠNJE PRIMARNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ

Premda je unutrašnji bruto-proizvod (GDP) u starom (zapadnom) dijelu Njemačke u posljednjih 15 godina porastao za 36%, potrošak primarne energije ostao je konstantan. U novopriključenom (istočnom) dijelu Njemačke postoje još mnogi privredni problemi. Za jednaki gospodarski učinak još se uvijek u istočnom dijelu Njemačke troši dva puta više primarne energije nego u zapadnome. No kretanja su vrlo povoljna u tom dijelu zemlje. GDP je od 1991. do 1994. porastao 24% pri istodobnom smanjenju primarne energije za 15,7%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94 (1995), br. 13

Mrk

UGRADNJA NOVIH TURBINSKIH LOPATICA, POVEĆANJE SNAGE

Ugradnjom novih turbinskih lopatica, poboljšanog tipa, i boljim vođenjem pare unutar turbine dobiveno je u njemačkim nuklearnim elektranama dodatnih 300 MW. To je objavio njemački atomforum. Nove su lopatice konstruirane pomoću kompjutora na temelju trodimenzionalnog prikaza.
Računa li se da je prosječno iskorištenje njemačkih nuklearki 7 000 sati godišnje, dodatno proizvedena energija iznosila bi oko 2 TWh godišnje. Ako se u sljedećim godinama provede takva ugradnja i u ostalim nuklearnim elektranama, moglo bi se dobiti još daljnjih 300 MW.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 13

Mrk

PLINOVOD NORVEŠKA – FRANCUSKA

Prema izjavi norveškog ministra gospodarstva planira se izgradnja plinovoda dugog 860 km od Norveške do francuskoga grada Dunkerquea. Norveška se vlada nada da bi se ostvarenjem ovog projekta norveški izvoz povećao za 25%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 14

Mrk

GRIJANJE ELEKTRIKOM U ZAPADNOM DIJELU NJEMAČKE

U zapadnom dijelu Njemačke bilo je 1993. godine gotovo 2,4 milijuna potrošača koji su se grijali elektrikom. Oni su potrošili 23,2 TWh, što je 1,8% više energije od prethodne 1992. godine. Grijanje strujom ne traži izgradnju novih elektrana, jer se akumulacijsko grijanje priključuje ponajviše noću.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 16

Mrk

IZDACI ZA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ

Apsolutne brojke o svotama koje pojedine države troše za istraživanja i razvoj nisu toliko značajni pokazatelji i osnova za usporedbe, već je mnogo značajnije koliki postotak od bruto unutarnjeg proizvoda (GDP) troše za te namjene. Sljedeći pregled daje taj postotak za 12 najrazvijenijih zemalja za 1992.

	%		%
Švedska	3,1	Velika Britanija	2,1
Japan	2,8	Nizozemska	1,9
SAD	2,7	Norveška	1,8
Njemačka	2,5	Austrija	1,6
Francuska	2,4	Italija	1,4
Finska	2,2	Španjolska	0,9

Elektrizitätswirtschaft,, god. 94(1995), br. 12

Mrk

IZVOZ ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ NORVEŠKE

Elektroprivredna poduzeća Nizozemske i Njemačke potpisala su ugovore s norveškim poduzećima za iskorištenje vodne energije o dobavi električne snage od 3 000 MW. Prijenos bi se vršio sa 4 visokonaponska istosmjerna kabela, od kojih jedan već postoji (kabel Norveška—Danska).
Ostvarenje ovog projekta proučava njemačka tvrtka Siemens s tehničke i gospodarske strane. Treba istražiti dinamičke prilike u mreži na jugu Norveške, kao i međusobne utjecaje blizu položenih kabela. Osim toga, treba razjasniti koje će harmoničke rezonancije i interferencije nastati između trofaznog i istosmjernog sustava u normalnom pogonu i prilikom kvara.

ETZ, god. 116 (1995), br. 13/14

Mrk

OSNOVAN SAVEZ ZA SOLARNU TEHNOLOGIJU

U travnju 1995. godine osnovan je u sklopu bavarske istraživačke organizacije FORSOL, grupa kojoj je zadaća istraživanje solarnih modula velikih površina izrađenih u tehnici tankih slojeva, čija je iskoristivost između 10% i 12%. Istraživanja su preuzele tvrtke Siemens Solar i ASE (Primijenjena solarna energija) uz korporaciju sa sveučilištima i istraživačkim institutima. Za četverogodišnje istraživanje predviđena je svota od 28,5 milijuna DEM. Postoji nada da će se stvoriti značajni impulsi za sniženje troškova proizvodnje.

ETZ, god. 116(1995), br. 13/14

Mrk

POVEZIVANJE MREŽA ISTOČNOEUROPSKIH ZEMALJA S UCPTE

Strategija priključka istočnoeuropskoga centralnoga elektroenergetskog sustava na mrežu UCPTE proučava i razvija njemačko-francuski konzorcij, u kojem sudjeluju EDF i njemačka elektroprivredna poduzeća. Mreže Poljske, Češke, Slovačke i Mađarske trebale bi se priključiti već 1995. godine. Zatim treba još priključiti Rumunjsku i Bugarsku. U sklopu istraživanja na modelu će biti simulirani različiti tehnički i ekonomski scenariji za razmjenu energije i oblik mreže. Uzimajući u obzir dva vremenska razdoblja, godinu neposredno poslije priključka i godinu 2005, izradit će se planovi akcije kojima će se utvrditi investicije i termini za buduće projekte. Osim toga će se promotriti mogućnosti priključka baltičkog područja na sustav UCPTE.

ETZ, god. 116(1995), br. 15

Mrk

POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE U SVIJETU

Prema podacima Ujedinjenih naroda, u skladu sa statistikama, proizlazi da stanovnik Norveške troši godišnje 25 382 kWh, što bi dostajalo za 17 000 stanovnika Čada, koji troše prosječno godišnje 15 kWh po stanovniku. Norveška troši prosječno godišnje po stanovniku najviše električne energije. Razlog je tome električno grijanje stanovništva i industrije s intenzivnom potrošnjom električne energije. Prosječni potrošak po stanovniku svijeta iznosi 2 188 kWh godišnje.

ETZ, god. 116(1995), br. 16

Mrk

POSLJEDICE PRIVATIZACIJE U VELIKOJ BRITANIJI

U posljednje su vrijeme učestale kritike potrošača električne energije i plina na liberalizaciju tržišta ovih energenata. Najveći potrošači u zemlji proračunali su da je od privatizacije 1990. godine cijena električne energije povećana za 50%. U isto vrijeme u londonskom Donjem domu predstavnik laburista je iznio da će zbog izjednačenja cijena između elektrike i plina malopotrošači u Velikoj Britaniji morati plaćati električnu energiju 84% skuplje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 17

Mrk

OSNOVANO EUROPSKO NUKLEARNO VIJEĆE

Od predstavnika europskih elektroprivrednih poduzeća i nuklearne industrije osnovano je Europsko nuklearno vijeće (European Nuclear Council). Predstavnici su iz Njemačke, Belgije, Finske, Francuske, Velike Britanije, Nizozemske, Španjolske, Švedske i Švicarske. Za prvog predsjednika izabran je Francuz Remy Carle iz elektroprivrednog poduzeća EDF.
Cilj je nove europske organizacije da unapređuje sigurnost pogona nuklearki i radi na prihvaćanju nuklearne energije u Europi i izvan nje. Težište je zajedničkog rada na komuniciranju s političarima i s javnošću.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 15

Mrk

ENERGIJA ZA RAZVIJENE I NERAZVIJENE

Na Zemlji sada živi oko 5,6 milijardi ljudi. Od toga u industrijski razvijenim zemljama živi 24%, a u nerazvijenim 76%. Oni svi troše ukupno energiju od 7,6 milijardi tona ekvivalentne nafte godišnje. Međutim, od te ukupne energije na razvijene otpada 70%, a samo 30% na nerazvijene. Od ukupne emisije ugljičnog dioksida od 22,3 milijarde tona godišnje 67% je iz industrijski razvijenih zemalja.

ETZ, god. 116(1995), br. 12

Mrk

MARSHALLSKI OTOCI NUDE TRAJNO ZBRINJAVANJE NUKLEARNOG OTPADA

Vlada Marshallskih otoka ponudila je zemljama koje imaju u pogonu nuklearne elektrane da mogu trajno zbrinuti nuklearni otpad na jednom ili više od 1 225 otoka. Istaknuto je da je ovaj dio zemlje geološki vrlo stabilan i da je već 35 milijuna godina bez tektonskih i vulkanskih smetnji.
Novac koji bi bio tim putem dobiven upotrijebio bi se prije svega za dekontaminaciju otoka Bikinija i Eniwetoka, na kojima su se izvodili pokusi s nuklearnim oružjem.
Osim toga, pomoglo bi se ljudima oboljelima od radioaktivnog zračenja.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 15

Mrk

15 NAJVEĆIH PROIZVOĐAČA NAFTE

Saudijska Arabija, SAD i Rusija bili su i 1994. godine najveći proizvođači nafte. Oni su, naime, proizveli više od trećine ukupne svjetske proizvodnje od ukupno 3,2 milijarde tona. Prema prethodnoj godini Saudijska Arabija i SAD proizvele su 1% do 2% manje, a Rusija 9%. Naprotiv, povećana je proizvodnja zabilježena u Velikoj Britaniji za 27% i Nizozemskoj za 14%.
15 najvećih proizvođača proizvelo je sljedeće količine nafte u milijunima tona:

	t 10^6		t 10^6
Saudijska Arabija	403	Velika Britanija	126
SAD	393	Arapski Emirati	108
Rusija	311	Kanada	105
Iran	181	Kuvajt	102
Meksiko	157	Nigerija	102
Kina	146	Indonezija	75
Norveška	131	Libija	65
Venezuela	128		

ETZ, god. 116(1995), br. 11

Mrk

FRANCUSKA NAJVEĆI IZVOZNIK ELEKTRIČNE ENERGIJE

U zapadnom elektroenergetskom sustavu (UCPTE) Francuska je 1994. godine bila najveći izvoznik električne energije s približno 62 000 GWh. Švicarska je izvezla 11 700 GWh, a Austrija 10 000 GWh. Najveći uvoznik bila je Italija s gotovo 37 600 GWh, Nizozemska s 10 800 GWh, zatim Luksemburg s 4 200 GWh i Belgija s 3 800 GWh.

ETZ, god. 116(1995), br. 11

Mrk

OPAŽANJE NADZEMNIH VODOVA IZ HELIKOPTERA

Nadzemni vodovi sa svojim užadima velika su opasnost za niskoleteće helikoptere u tami ili pri slaboj vidljivosti. Mala debljina vodiča otežava detekciju radarom, no pokazalo se da objekti u obliku užeta reflektiraju zrake to bolje što im je valna duljina manja. U svezi s tim načelom izradila je tvrtka Darnief (Njemačka) radar koji zrači u vidljivom ili infracrvenom valnom području. S valnim duljinama od 0,9 mm (infracrveno) može se zapreka veće površine prepoznati na daljinu od 600 m, a uže promjera 10 mm na daljinu 300 m. No, u praktičnom se pogonu ti podaci ne mogu postići. Vodovi se ipak mogu opaziti na udaljenosti 90 m do 130 m, što bitno povećava sigurnost letjelice. Ako se pak upotrijebe valne duljine od 1,5 μm, mali objekti se raspoznavaju već na daljinama 500 do 600 m.
Radarski je uređaj malen i lagan, vrlo male snage.

ETZ, god. 116(1995), br. 11

Mrk

PROTIV OBUSTAVLJANJA NUKLEARKI U ŠVEDSKOJ

Švedski gospodarstvenici, strukovni savezi i elektroprivreda izjasnili su se protiv svojedobne (1980) odluke parlamenta da Švedska do godine 2010. obustavi rad svojih nuklearnih elektrana. Navodi se da je to nemoguće i nerealno, a osim toga na taj način nije moguće ispuniti obvezu iz Rio de Janeira da se smanji emisija ugljičnog dioksida. Nitko ne zna kako bi se nadoknadila električna energija iz nuklearki i izravnao gubitak radnih mjesta zbog znatnog poskupljenja struje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 17

Mrk

ZEMNI PLIN IZ SIBIRA ZA EUROPU

Energetsko gospodarstvo u Europskoj uniji očekuje jak utjecaj na europsko energetsko tržište potpisivanjem konačnog ugovora s Rusijom o dobavi zemnog plina s krajnjeg sjevera Sibira. Plinovod bi se gradio iz Sibira preko Poljske do zapadne Europe, a trebao bi ući u pogon početkom sljedećeg tisućljeća. Dobava bi iznosila 67 milijardi m^3 zemnog plina godišnje, od čega bi 14 milijardi m^3 bilo za poljsko tržište.

Elektrizitätswirtchaft, god. 94(1995), br. 17

Mrk

TROŠKOVI IZGRADNJE NUKLEARNE ELEKTRANE

U svezi s razgradnjom francuske nuklearne elektrane (s vodom podtlakom), elektroprivredno poduzeće EDF objavilo je da će nakon 40-godišnjeg pogona trebati 15 godina da se razgradi reaktor, a troškovi će iznositi 15% ukupnih investicijskih troškova. Za zbrinjavanje tako nastalog otpada potrebno je izdati 25% troškova izgradnje. To odgovara 4,1% povećanja cijene po kWh. Zbog toga je EDF potkraj 1994. godine stavila u pričuvu 30 milijardi franaka.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 17

Mrk

EUROPSKA AGENTURA ZA OBNOVLJIVE ENERGETSKE IZVORE

Europski parlament u Bruxellesu osnovao je, na njemački prijedlog, njemačko-francusko-talijansku radnu skupinu. Ona će u suradnji s Komisijom EU osnovati Europsku agenturu za obnovljive energetske izvore.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94(1995), br. 17

Mrk

UDK 621.31 ENJAAC 44 (1 – 6) 1 – 310 ISSN 0013 - 7448

energija

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Zagreb, prosinac 1995.

SADRŽAJ ENERGIJE U 1995. GODINI

UDK 621.31 ENJAAC 44 (5–6) — (1995) 223–310 ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 44 (1995) Zagreb 1995 Br. 5–6

IZDAVAČI — PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

Redakcija završena 1996–01–03

SADRŽAJ

Fotografija na omotnoj strani
HE DUBRAVA

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 625-328 i 625-111/2328, telefax 533-692, 511-612

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn). Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Žiro račun kod ZAP, Zagreb — Hrvatska elektroprivreda (za »Energiju«) broj 30101-604-495

Tisak i klišeji — Print: ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

Uredništvo časopisa se ispričava čitateljima i suradnicima zbog zakašnjenja u izlasku ovog broja časopisa. Razlozi tome zakašnjenju su reorganizacijske promjene izvan samog časopisa, koje su se odrazile i na časopis. Nastojat ćemo do kraja godine dostići naš uobičajeni ritam, pa vas molimo za razumijevanje. Koristimo se prilikom da vas obavijestimo da je imenovan novi Izdavački savjet ENERGIJE.

Glavni urednik

TEMELJNE ODREDNICE RAZVOJA HRVATSKOGA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA DO 2010. GODINE

Ante Jelčić, Zagreb

UDK 621.31
STRUČNI ČLANAK

Predviđanje potrošnje električne energije i planiranje dugoročnog razvoja elektroenergetskog sustava za državu u nametnutom ratu i prijelazu iz planskog gospodarenja u tržišno nezahvalan je posao. No, u ovom je članku to prikazano za Hrvatsku.

Ključne riječi: predviđanje potrošnje električne energije, planiranje razvoja elektroenergetskog sustava

1. UVODNE NAPOMENE

Uredna opskrba potrošača energijom, a osobito električnom energijom, preduvjet je svekolikoga gospodarskog razvoja i civilizacijskog napretka. Poradi toga, posebna pozornost u svjetskim razmjerama pridaje se planiranju razvoja energetskog, odnosno elektroenergetskog sustava. Hrvatski elektroenergetski sustav razvijao se u prošlosti kao integralni dio negdašnjega jugoslavenskoga elektroenergetskog sustava i kao takav bio je relativno pouzdan. Ta pouzdanost temeljila se pretežito na korištenju komparativnih prednosti susjednih elektroenergetskih sustava.

Ako se pak pouzdanost hrvatskog elektroenergetskog sustava promatra izolirano, tada je ona upitna, i to prije svega zbog nepovoljne strukture izvora električne energije. Naime, od ukupno instaliranih približno 4 300 MW (koliko je Hrvatska imala instalirano 1990. godine) polovicu kapaciteta *pokrivaju* hidroelektrane čija je proizvodnja ovisna o dotoku vode i stoga je podložna sezonskim oscilacijama. Približno četvrtinu instaliranih kapaciteta *pokrivaju* termoelektrane na loživo ulje, a njihova proizvodnja ovisi o nestabilnom svjetskom tržištu naftnih derivata. Osim toga, gotovo četvrtina proizvodnih kapaciteta izgrađena je u drugim državama negdašnje Jugoslavije.

Sudbina proizvodnih objekata koji su za potrebe Hrvatske izgrađeni u drugim državama negdašnje Jugoslavije, osim NE Krško, za sada je neizvjesna. Važno je naznačiti da je riječ o 650 MW instalirane snage u termoelektranama na ugljen izgrađenih u Srbiji i Bosni i Hercegovini, koje su — uz NE Krško — bile praktički jedine temeljne elektrane u hrvatskom elektroenergetskom sustavu. Hoće li Hrvatska moći iskoristiti električnu energiju proizvedenu u tim objektima ubuduće, najvjerojatnije će biti riješeno tek temeljem sukcesije država slijednica negdašnje Jugoslavije.

U ovoj analizi daljnjeg razvoja hrvatskog elektroenergetskog sustava ne računa se na objekte izgrađene u Srbiji i Bosni i Hercegovini. Ako se, pak, dogodi da ti objekti za Hrvatsku elektroprivredu budu raspoloživi, onda će se odgoditi dio planirane nove izgradnje i smanjiti proizvodnja u termoelektranama na loživo ulje.

2. RAZVOJ POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Temeljem analize ostvarene potrošnje u prošlosti, prognozirana je potrošnja električne energije u Hrvatskoj do 2010. godine. Pri tome su korišteni podaci i analize provedene u novelaciji studije »Mogući scenariji razvoja Hrvatske elektroprivrede«. U prosudbi razvoja potrošnje električne energije do 2010. godine analizirana je potrošnja po sektorima, te je — temeljem pretpostavaka o postupnom povećanju udjela uslužnih djelatnosti u ukupnom društvenom proizvodu i restrukturiranju industrije u korist tehnologija s manje intenzivnom potrošnjom energije po jedinici proizvoda — određena ukupna potrošnja električne energije po godinama do 2010. godine.

Tablica 1. Maksimalna opterećenja i godišnja potrošnja električne energije u presječnim godinama za viši (VS) i niži (NS) scenarij potrošnje

Godina	Maksimalno opterećenje (MW)		Godišnja potrošnja (GWh)	
	NS	VS	NS	VS
1990.	2 421	2 421	14 749	14 749
1993.	2 035	2 035	10 743	10 743
1995.	2 050	2 050	11 350	11 350
2000.	2 200	2 435	12 700	15 260
2005.	2 615	2 780	15 000	17 590
2010.	3 070	3 175	17 570	20 180

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 225 – 230

Potrošnja električne energije u 1990. godini (zadnja predratna godina) iznosila je 14 749 GWh, da bi u 1993. godini zbog posljedica rata i gospodarskih poteškoća iznosila samo 10 743 GWh. Razvoj potrošnje električne energije do 2010. godine ovisit će o brzini restrukturiranja hrvatskog gospodarstva, spremnosti na uvođenje ekonomskih cijena u energetici, energetske učinkovitosti, te organiziranosti energetskog sektora.

Kako se trenutačno ne mogu preciznije definirati spomenuti parametri, to su iskazane dvije razine očekivane potrošnje električne energije do 2010. godine (viši i niži scenarij). Gotovo je sigurno da će stvarna potrošnja električne energije u spomenutom razdoblju biti unutar granica višeg i nižeg scenarija. Za planiranje aktivnosti na pripremi izgradnje proizvodnih postrojenja poželjno je računati s višim scenarijem rasta potrošnje i prema njemu dimenzionirati elektroenergetski sustav. Planirani porast potrošnje električne energije za razdoblje 1990 – 2010. godine za viši scenarij iznosi prosječno 1,58 posto godišnje.

Ako se promatra razvoj potrošnje od godine s najmanjom ostvarenom potrošnjom (1993. godina) do 2010. godine, onda prosječni godišnji porast iznosi 4,0 posto, što je primjereno za očekivani intenzivni razvoj gospodarstva u poslijeratnom razdoblju.

3. POSTOJEĆI PROIZVODNI KAPACITETI I MANJAK SNAGE I ENERGIJE ZA OČEKIVANU POTROŠNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

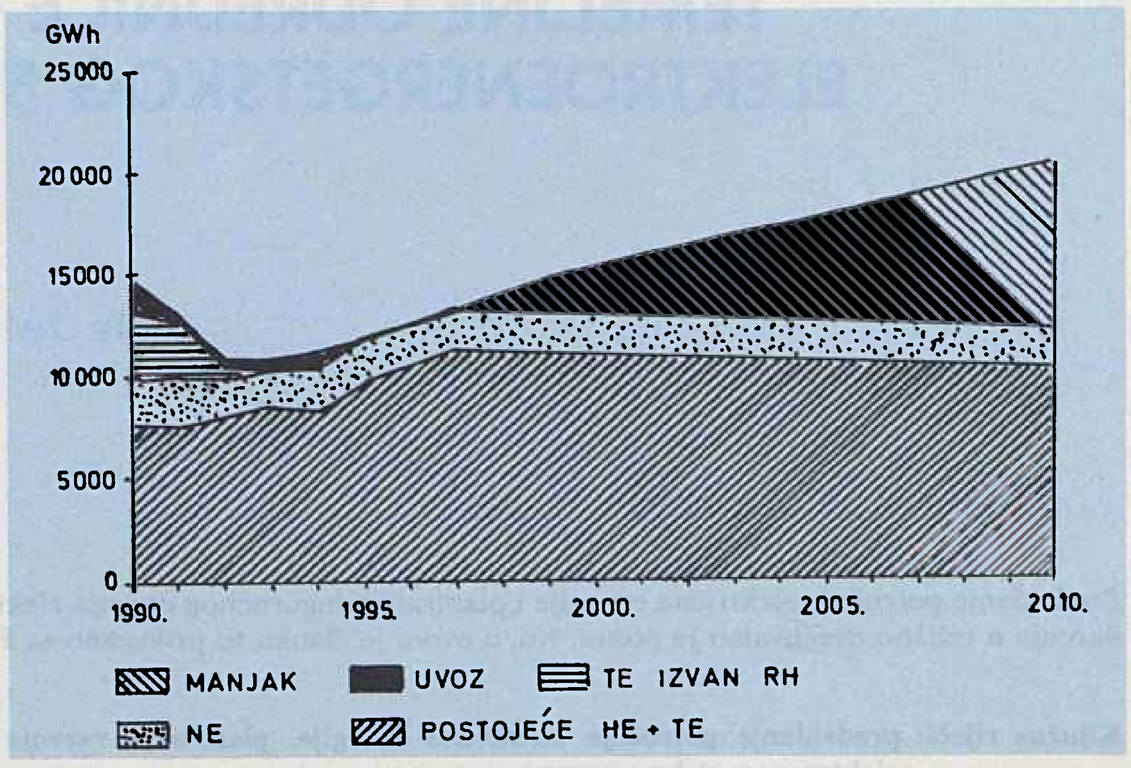
Tablica 2. Raspoloživi proizvodni kapaciteti

Proizvodne skupine objekata	Instalirana snaga (MW)	Godišnja proizvodnja (GWh)
Hidroelektrane	2 075	6 600
TE na ugljen	105	500
TE na loživo ulje	740	3 789
TE-TO	270	833
Plinske elektrane	190	—
Dizelske elektrane	51	—
NE Krško (50%)	332	2 028
Ukupno TE + NE	1 688	7 150
Sveukupno	3 763	13 750

Godišnja proizvodnja hidroelektrana računana je uz pretpostavku ostvarenja prosječnih dotoka, dok je godišnja proizvodnja termoelektrana koje rabe loživo ulje računana na temelju angažiranja raspoložive snage na pragu elektrana tijekom 5 500 sati godišnje: TE Plomin 1 — 4 800 sati godišnje, termoelektrana-toplana — 3 500 sati godišnje, te NE Krško — 6 500 sati godišnje, a plinske i dizelske elektrane planirane su u hladnoj pričuvi. Tako visoko godišnje angažiranje termoelektrana ima kao cilj upozoriti na praktički maksimalne mogućnosti proizvodnje električne energije iz postojećih izvora koja se može ostvariti u iznimno povoljnim okolnostima, dok je realno moguća proizvodnja manja za 1 000 – 2 000 GWh godišnje.

Tablica 3a. Manjak snage u presječnim godinama

Godina	1995.	2000.	2005.	2010.
Manjak snage (MW)	—	580	1 015	1 540



Slika 1. Razvoj potrošnje električne energije i mogućnosti proizvodnje u postojećim objektima

Iz postojećih proizvodnih objekata u 2010. godini realno je očekivati moguću proizvodnju na razini od 11 500 GWh, što znači da za zadovoljenje planirane potrošnje električne energije dotad treba izgraditi približno 1 540 MW snage u novim objektima s mogućnošću godišnje proizvodnje od približno 8 700 GWh.

4. ENERGETSKO UTEMELJENJE ZA DALJNJI RAZVOJ ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Približno 40 posto svojih energetskih potreba Hrvatska trenutačno osigurava uvozom. Zastupljenost uvoza u budućnosti znatno će se povećati, jer Hrvatska nema znatnijih pričuva primarnih oblika energije.

Raspoložive količine i otkrivene pričuve prirodnog plina, sirove nafte i ugljena u Hrvatskoj ni danas, a pogotovo u budućnosti neće moći zadovoljiti potrebe krajnjih potrošača (industrija, kućanstva, transport, usluge), tako da za proizvodnju električne energije iz prirodnog plina, nafte i ugljena dolazi u obzir samo njihov uvoz.

Iz nalazišta u Hrvatskoj trenutačno se crpi približno 2,0 milijarde m³ prirodnog plina godišnje, čime se podmiruje približno 70 posto domaćih potreba. Te količine postupno će se smanjivati, da bi 2010. godine bile umanjene za polovicu. Uz domaću proizvodnju, iz Rusije se godišnje uvozi približno 1,0 milijarda m³ prirodnog plina. Za buduće potrebe ozbiljno se računa s ukapljenim prirodnim plinom iz Afrike i Srednjeg istoka koji bi se morskim putom dopremao do terminala na otoku Krku, otkud bi se plinovodom transportirao prema srednjoj Europi. Kapacitet dopreme, terminala i plinovoda bio bi približno 10,0 milijardi m³ prirodnog plina godišnje, od čega bi hrvatski dio iznosio 1,8 milijardi m³.

Za provedbu ovog projekta pod nazivom ADRIA-LNG formiran je konzorcij INE i stranih partnera koji je najavio da će početkom 1996. godine donijeti konačnu odluku o izvođenju projekta.

Proizvodnja sirove nafte iz domaćih izvora trenutačno iznosi približno 2,0 milijuna tona godišnje, čime se podmiruje malo manje od polovice domaćih potreba. Proizvodnja sirove nafte iz vlastitih izvora postupno će opadati a potrebe za naftnim derivatima će sve više rasti, što znači da će i uvoz sirove nafte biti sve veći. Primjerice, u 2010. godini očekuje se uvoz sirove nafte na razini koja će biti tri puta veća od domaće proizvodnje.

Hrvatska nema znatnijih pričuva ugljena na kojima bi mogla temeljiti proizvodnju električne energije. U obzir dolazi samo otvaranje novog ugljenokopa Poljanica-Šušobreg za pogon TE Jertovec 2, ako to gospodarske analize pokažu opravdanim. Hrvatska, također, nema zaliha nuklearnoga goriva.

Glede obnovljivih energetskih izvorišta, u koje se ubrajaju vodne snage, Sunčeva energija, energija vjetra, biomasa, te uvjetno obnovljivi oblik energije — geotermijska energija, Hrvatska nije u tako nepovoljnim okolnostima kao s neobnovljivim energetskim oblicima.

Ukupni potencijal vodnih snaga u Hrvatskoj procjenjuje se na približno 20 TWh godišnje. Od tog potencijala tehnički je iskoristivo približno 12 TWh, a već je iskorišteno 6,6 TWh u 17 izgrađenih hidroelektrana. Omogućavanje korištenja većeg dijela neiskorištenog hidropotencijala pograničnih rijeka ovisit će o usklađivanju interesa Hrvatske i susjednih država. Zbog mogućnosti različitih interesa za korištenje i uređenje zajedničkog vodnog blaga i prostora, iskorištenje dijela hidroenergetskog potencijala može izostati ili biti dugoročno odgođeno. S druge strane, dio hidroenergetskog potencijala može ostati neiskorišten zbog ekoloških i drugih problema, pa se realno procjenjuje da je dugoročno moguće iskoristiti još približno 3,0 TWh godišnje u novim hidroelektranama.

Ostali obnovljivi oblici energije za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj su relativno izdašni, ali na današnjem stupnju tehnološkog razvoja takvi izvori, zbog visokih troškova izgradnje i niske učinkovitosti, ne mogu izdržati ekonomsku konkurenciju s ostalim izvorima električne energije. Oni mogu biti samo dopuna osnovnim izvorima, pa se zato zovu dopunskim izvorima električne energije. Istina, i ovakvi izvori pri specifičnoj namjeni — primjerice na otocima i udaljenim gospodarstvima — imaju svoje ekonomsko opravdanje.

5. ELEKTRANE — KANDIDATI ZA IZGRADNJU

Elektrane — kandidati za izgradnju prikazane su u tablicama 3. i 4. Razina gotovosti tehničke dokumentacije za izgradnju pojedinih objekata je različita, što znači da su i ekonomsko-energetski pokazatelji za neke objekte vjerodostojniji od drugih. Primjerice, za neke objekte završen je glavni projekt, za neke idejni projekt, a za neke samo idejno rješenje, pa podatke iz tabličnog prikaza treba shvatiti kao odraz trenutačnih spoznaja o tim objektima. No, za potrebe ove analize mogu se smatrati dovoljno pouzdanim.

Tablica 3. Podaci o termoelektranama — kandidatima za izgradnju

Naziv elektrane	Snaga (MW)		Gorivo	Moguća god. proiz. (GWh)	Specifični potrošak topline (KJ/kWh)		Ukupne investicije (10^3 USD)	Specifič. investicije 10^3 USD/MW
	gener.	prag			kondenz.	protutlak		
TE-TO Zagreb 4	221,5	215,0	z. plin	1 390	6 990	4 167	172 000	800,0
TE-TO Zagreb-dogr.	172,0	166,0	z. plin	1 080	7 500	4 228	115 700	697,0
EL-TO Zagreb 3	180,5	175,0	z. plin	1 135	7 500	4 260	141 300	807,4
EL-TO Zagreb-dogr.	111,0	105,0	z. plin	680	7 500	4 050	77 700	740,0
KPTE Osijek 3	180,5	175,0	z. plin	1 135	7 500	—	141 300	807,4
KPTE Belišće	40,4	39,0	z. plin	250	11 161	5 598	30 000	769,2
TE Jertovec 2	160,0	147,0	lignit	880	9 800	—	276 800	1 883,0
TE uvozni ugljen	350,0	318,5	uv. ug.	1 910	9 000	—	545 000	1 711,2
TE Duvno	350,0	319,0	lignit	1 900	9 700	—	605 500	1 898,1

Tablica 4. Podaci o hidroelektranama — kandidatima za izgradnju

Naziv elektrane	Snaga na pragu (MW)	Prosječna god. proizv. GWh	Ukupne investicije (10^3 USD)	Specifične investicije (10^3 USD/MW)	Specifične investicije (USD/kWh)	Gotovost dokumentacije
AS Čaprazlije	—	135,0	39 200	—	0,29	glavni projekt
HE Novo Virje	150,0	641,0	305 200	2 034,6	0,48	idejni projekt u izradi
AK i HE Kosinj	63,0	426,0	250 000	—	0,59	idejni projekt
HE Senj 2*	342,0	—	279 800	818,1	—	idejno rješenje
HE Podsused	43,0	219,0	144 100	3 351,1	0,66	glavni projekt u izradi
HE Lešće	42,0	106,0	89 100	2 121,5	0,84	glavni projekt
HE Drenje	39,0	189,0	129 400	3 318,0	0,68	idejni projekt
HE Ombla	54,0	156,0	83 800	1 553,7	0,54	idejni projekt
VES Brodarci	10,0	50,0	35 400	3 540,0	0,71	glavni projekt
HE Miljacka 2	53,0	181,0	112 700	2 126,4	0,62	idejni projekt

* Izgradnjom HE Senj 2, uz pretpostavku izgrađene AK Kosinj, smanjuje se uporabno vrijeme HE Senj sa 6 500 sati/godišnje na 2 500 sati/godišnje, što znatno povećava vrijednost proizvedene električne energije u sustavu Like i Gacke

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 225 – 230

Za proračune boniteta termoelektrana korištene su ove cijene za energetsko gorivo:

ugljen 2,4 USD/GJ
plin 3,9 USD/GJ
mazut 3,4 USD/GJ.

Do tih cijena došlo se analizom trenutačnog stanja i procjenom mogućeg razvoja u bližoj budućnosti na međunarodnom energetskom tržištu.

6. IZBOR OPTIMALNE STRUKTURE IZGRADNJE

Za svaku elektranu — kandidata izračunat je energetski doprinos u elektroenergetskom sustavu koji se određuje simulacijom okolnosti u EES-u prije i poslije izgradnje elektrane, uz zadanu sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom. Nakon obavljenog proračuna pokazalo se da su najpovoljnije za izgradnju kombi plinske elektrane, zatim termoelektrane koje se koriste ugljenom i hidroelektrane. Međutim, tako izračunan bonitet pojedinih objekata, ne uzimajući u obzir i druge relevantne parametre, mogao bi navesti na donošenje pogrešnih odluka. Naime, uz parametre koji su korišteni za utvrđivanje boniteta elektrana — kandidata (investicijski troškovi, troškovi pogona, troškovi goriva, troškovi redukcija, preostala vrijednost objekta i sl.) treba uzeti u obzir i:

- dostupnost primarnih energetskih izvorišta (domaće i inozemne pričuve, mogućnost transporta i sl.) i
- potrebu za diversifikacijom primarnih energetskih oblika za proizvodnju električne energije.

Uzimajući u obzir sve to, pa i činjenicu da postojeće termoelektrane za pogon koriste gotovo isključivo loživo ulje i manjim dijelom prirodni plin, dolazi se do spoznaje da za proizvodnju električne energije treba uvesti i ugljen kao treći energent. U protivnom bi postojala prevelika ovisnost o loživom ulju i prirodnom plinu koji nigdje u svijetu nemaju tretman temeljnih goriva za proizvodnju električne energije. Dakle, prema ovom opredjeljenju temeljne elektrane u daljnjem razvoju hrvatskog elektroenergetskog sustava trebaju biti termoelektrane na ugljen, a tek kao dopuna kombi plinske elektrane koje se koriste prirodnim plinom, i to ponajprije tamo gdje je moguća i kogenerativna proizvodnja toplinske energije te preostali hidropotencijal.

Nove proizvodne kapacitete na loživo ulje ne treba graditi, jer približno 1 000 MW snage u već izgrađenim objektima imalo je u zadnjih deset godina prosječno godišnje uporabno vrijeme manje od 3 000 sati. Razlog tome je visoka cijena i nedostatak loživog ulja. Danas je svjetska praksa da se termoelektrane na loživo ulje prerađuju na pogon s ugljenom čak i u zemljama s velikom proizvodnjom i pričuvama sirove nafte kao što je Rusija.

Jedina opcija koja može zamijeniti potrebnu izgradnju termoelektrana koje se koriste ugljenom kao temeljnim izvorom električne energije u Hrvatskoj jest izgradnja nuklearne elektrane. Ta opcija, premda gospodarski nije nepovoljna, u ovom trenutku nije u prvom planu ponajprije zbog socijalne prihvatljivosti kako u Hrvatskoj, tako i u njezinu okruženju. No ona ostaje i mora biti otvorena i za Hrvatsku jer, prema procjeni priznatih svjetskih stručnjaka vrlo će brzo ponovno biti aktualna (potreba smanjenja uporabe fosilnih goriva zbog učinka staklenika).

Glede konkretnih objekata, a prema danas dostupnim spoznajama, Hrvatska elektroprivreda svoj razvoj do 2010. godine treba temeljiti na sljedećem:

- dovršiti započetu izgradnju TE Plomin 2 (210 MW) i povećati pouzdanost TE Plomin 1,

Tablica 5. Prikaz elektrana odabranih za izgradnju

Red. br.	Naziv objekta	Snaga na pragu (MW)	Godišnja proizvodnja (GWh)	Potrebna godina ulaska u pogon	Investicijska ulaganja (10^3 USD)
1.	TE Plomin 2	198	1 180	1998.	230 000
2.	TE na uvozni ugljen	2 × 318,5	3 820	2003, 2008.	1 090 000
	Ukupno TE na ugljen	835	5 000		1 320 000
3.	TE-TO Zagreb-dogradnja	166	1 080	1999.	115 700
4.	EL-TO Zagreb-dogradnja	105	680	2002.	77 700
5.	KPTE Osijek 3	174	1 135	2000.	141 300
	Ukupno KPTE na plin	446	2 895		334 700
6.	AS Čaprazlije	—	135	1999.	39 200
7.	HE Novo Virje	150	641	2005.	305 200
8.	AK i HE Kosinj	63	426	2001.	250 000
	Ukupno HE	213	1 202		594 400
	Sveukupno	1 494	9 097		2 249 100

Tablica 6. Struktura proizvodnje električne energije

God.	Potrošnja el. energije (GWh)	Proizvodnja elektrana (GWh)					Uvoz (GWh)	Raspoloživo (GWh)
		HE	TE (lož. ulje)	TE (plin)	TE (ugljen)	NE Krško		
1995.	11 350	5 100	2 040	550	140	2 200	1 320	11 350
2000.	15 260	6 700	2 810	2 100	1 650	2 000	—	15 260
2005.	17 590	7 150	2 140	2 800	3 500	2 000	—	17 590
2010.	20 180	7 750	2 230	2 800	5 400	2 000	—	20 180

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 225 – 230

- dograditi TE-TO Zagreb, što uključuje zamjenu dotrajalih generatora pare novim kotlovima utilizatorima i plinskim turboagregatima (2 × 70 MW),
- dograditi EL-TO Zagreb jednim kotlom utilizatorom i jednom plinskom turbinom (1 × 70 MW),
- izgraditi kombi plinsku elektranu Osijek snage oko 175 MW,
- izgraditi TE na uvozni ugljen snage 2 × 350 MW i
- pripremiti izgradnju više hidroelektrana i izgraditi tri od njih (AS Čaprazlije, HE Novo Virje, AK i HE Kosinj).

Spomenutom izgradnjom u potpunosti bi se zadovoljile potrebe za električnom energijom u Hrvatskoj do 2010. godine, pri čemu bi i ugljen u ukupnoj proizvodnji električne energije bio primjereno zastupljen.

Tablica 7. Potrebe goriva za predviđenu strukturu proizvodnje električne energije

Godina	Loživo ulje (10^3 tona)	Prirodni plin (10^6 m^3)	Uvozni ugljen (10^3 tona)
1995.	580,0	200,0	67,0
2000.	800,0	560,0	750,0
2005.	610,0	750,0	1 590,0
2010.	635,0	750,0	2 450,0

Iz predviđene strukture ukupne proizvodnje električne energije uočljiv je nagli porast udjela proizvodnje električne energije iz ugljena. Primjerice, u 1995. godini udjel proizvodnje električne energije iz ugljena u ukupnoj proizvodnji iznosi samo 1,4 posto, da bi u 2000. godini iznosio 10,8 posto, u 2005. godini 19,9 posto te u 2010. godini 26,7 posto. Time bi se bitno poboljšala stabilnost i fleksibilnost, kao i racionalnost hrvatskog elektroenergetskog sustava jer bi bio omogućen znatno bolji način korištenja akumulacijskih hidroelektrana.

7. POTREBNA IZGRADNJA PRIJENOSNE MREŽE

Za planiranu varijantu izgradnje proizvodnih objekata i za prijenos električne energije do potrošačkih središta treba planirati i primjerenu izgradnju objekata prijenosne mreže. Novi proizvodni objekti manjih jediničnih snaga priključit će se na 110 kV mrežu, dok će se veći objekti — primjerice TE Plomin 2 — priključiti na mrežu 220, a TE na uvozni ugljen na 400 kV mrežu.

Za TE Plomin 2 već je dovršen priključak na 220 kV mrežu, ali će do dovršetka izgradnje TE Plomin 2 biti pod naponom 110 kV. TE na uvozni ugljen interpolirat će se u DV 400 kV Konjsko – Melina.

Za pojačanje 220 i 400 kV interkonektivne mreže do 2010. godine planirana je izgradnja sljedećih objekata:

— DV 2 × 220 kV Plat – Metković – Imotski
— TS 220/110 kV Plat 2 × 150 MVA
— TS 220/110 kV Metković 2 × 150 MVA
— TS 220/110 kV Imotski 1 × 150 MVA
— DV 220 kV Metković – PHE Čapljina
— DV 220 kV Međurić – Đakovo
— DV 2 × 220 kV Plomin – Pula
— TS 220/110 kV Pula 2 × 150 MVA
— DV 2 × 400 kV Žerjavinec – Heviz (Mađarska)
— DV 2 × 400 kV Žerjavinec – Prevlaka
— TS 400/110 kV Žerjavinec 2 × 300 MVA
— priključak TE na uvozni ugljen na DV 400 kV Konjsko – Melina i
— DV 400 kV Ernestinovo – Pecs (Mađarska).

U svezi s proširenjem mreže 220 kV, valja reći da je ono u ovom trenutku uvjetno. Konačno rješenje ovisit će o detaljnijoj usporedbi prednosti i mana 220 kV i 400 kV varijanti.

Potrebna izgradnja objekata 110 kV mreže nije u ovoj analizi potanko razmatrana, jer će u najvećem dijelu ovisiti o razvoju potrošnje na pojedinim područjima.

8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Temeljem svega spomenutog u ovom radu proizlaze potpuno određene aktivnosti koje Hrvatska elektroprivreda treba provesti u idućem razdoblju da bi se iskazani manjak električne energije u potpunosti nadomjestio. Osnovni cilj kojem se teži do 2010. godine je pokrivenost potrošnje električne energije u iznosu od 90 posto iz izvora lociranih u Republici Hrvatskoj te povećanje udjela proizvodnje električne energije proizvedene iz ugljena od sadašnjih 1,4 posto na 25 posto u ukupno potrebnoj električnoj energiji. Također se teži postići i primjerena prostorna distribucija izvora električne energije.

U ovom radu naglašena su strateška opredjeljenja Hrvatske elektroprivrede glede izbora energetskog utemeljenja, odnosno strukture izvora električne energije. Hrvatska ne raspolaže ni jednim primarnim oblikom energije kojim bi mogla zadovoljiti svoje trenutačne energetske potrebe, a pogotovo ne potrebe u budućnosti. Poradi toga je primorana svoj daljnji energetski razvoj temeljiti na uvoznom energentu. Hrvatska mora, zbog svoje veličine, geopolitičkog položaja i okruženja, posebno voditi brigu da ne bude ovisna o isključivo jednom energentu odnosno mora poštivati načelo diversifikacije primarnih oblika energenata za proizvodnju električne energije.

Kako je hrvatski elektroenergetski sustav trenutačno utemeljen na korištenju hidroenergetskog potencijala i loživog ulja, te manjim dijelom zemnog plina, a tih energetskih izvorišta Hrvatska nema dovoljno, za svoj budući razvoj ona mora uvrstiti ugljen kao jedno od temeljnih energetskih goriva. Danas je ugljen u svjetskoj elektroenergetici stožerno gorivo. On je to bio i prije trideset godina, a prema svim prognozama ostat će to i u doglednoj budućnosti. Budući da Hrvatska nema značajnijih vlastitih nalazišta ugljena, primorana je uvoziti ugljen ili pak koristiti takva nalazišta u svom okruženju za zajedničku izgradnju termoenergetskih objekata. Kao pomorskoj zemlji Hrvatskoj su dostupna sva značajnija svjetska nalazišta ugljena, jer je prijevoz ugljena morskim putem najjednostavniji i najjeftiniji.

Posebice valja naznačiti potrebu što hitnije pripreme izgradnje termoelektrana na uvozni ugljen. Naime,

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 225 – 230

prethodni i pripremni radovi za izgradnju termoelektrana na ugljen traju tri do četiri godine, a gradnja od četiri do pet godina. To znači da je doista potrebno intenzivirati pripreme, jer prva termoelektrana na ugljen trebala bi biti u pogonu do 2003. godine. Pri tome se podrazumijeva i dovršetak izgradnje i ulazak u pogon TE Plomin 2 1998. godine.

Uz ugljen kao temeljno gorivo za proizvodnju električne energije, predviđena je i izgradnja kombi plinskih elektrana koje koriste prirodni plin. Prvenstveni cilj je da se trenutačno raspoložive godišnje količine prirodnog plina (400 – 600 mlr. m³) koriste u postrojenjima koja imaju visok stupanj učinkovitosti (kombi procesi i kogeneracija). Godišnje količine prirodnog plina predviđene u ovoj analizi za proizvodnju električne energije (750 mln. m³) smatraju se gornjom razinom na koju Hrvatska elektroprivreda treba računati.

Problem će biti ostvariti i te spomenute količine jer plina, bez novih pravaca dobave (novi plinovodi ili LNG projekt), nema dosta ni za osnovne korisnike (industrija, kućanstvo, transport, usluge). S druge pak strane, udio proizvodnje električne energije iz prirodnog plina u ukupnoj potrošnji električne energije u Hrvatskoj ne bi smio biti veći od 15 posto jer bi se umanjila pouzdanost elektroenergetskog sustava.

Izgradnja hidroelektrana iz preostalog ekonomski i ekološki probitačnog hidropotencijala, kao jedinoga domaćeg energetskog resursa, mora biti postupna i kontinuirana. Naime, Hrvatska ima bogata iskustva na projektiranju i izgradnji hidroelektrana, pa se ti objekti — premda relativno skupi i energetski ne tako značajni — uz angažiranje domaćih stručnih potencijala trebaju postupno privoditi svrsi. Naime, njihovom se izgradnjom, uz energetske, ostvaruju i druge koristi (zaštita od poplava, natapanja, vodoopskrba i slično).

U posljednjih deset godina, dakle od 1985. godine do danas, Hrvatska elektroprivreda nije započela izgradnju niti jednoga novoga proizvodnog objekta stacionarne izvedbe (Interventni program za Dalmaciju je mobilne izvedbe), pa bi daljnje zaostajanje u izgradnji (nedostatak električne energije) moglo postati kočnicom gospodarskog razvoja Hrvatske. Temeljni je problem zaostajanja u izgradnji objekata činjenica da ni na razini države, a ni na razini Hrvatske elektroprivrede, nema jasne koncepcije financiranja daljnje izgradnje.

Uz izgradnju proizvodnih objekata institucijski vezanih za Hrvatsku elektroprivredu, na daljnji razvoj elektroenergetskog sustava bitno će utjecati izgradnja objekata tzv. male energetike. To je kogenerativna proizvodnja toplinske i električne energije za vlastite potrebe manjih i većih gospodarskih subjekata, čime se umanjuje potražnja električne energije iz EES-a.

Osobito valja naglasiti da će Europska energetska povelja i elektroenergetske okolnosti u velikim europskim zemljama (višak električne energije) bitno utjecati na otvaranje tržišta električne energije, što Hrvatska, zbog svoga zemljopisnog položaja, treba iskoristiti. Hrvatska to već sada koristi, a nakon stabiliziranja političkih okolnosti na ovom području Europe, te nakon priključenja zemalja srednje i istočne Europe interkonekciji UCPTE, Hrvatska će vjerojatno postati ozbiljan partner, a ne samo kupac električne energije. Te postavke mogu bitno utjecati na budući razvoj hrvatskog elektroenergetskog sustava.

LITERATURA

[1] GRANIĆ G., JELAVIĆ B., PEŠUT D., ALERIĆ S., KLEPO M., KOMERIČKI N., POSAVEC I.: »Prethodno izvješće o mogućim scenarijima razvoja Hrvatske elektroprivrede do 2010. godine«, Energetski institut »Hrvoje Požar« d. o. o. Zagreb, Hrvatska, svibanj 1995. godine

BASIC DETERMINANTS OF CROATIAN ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM DEVELOPMENT UNTIL THE YEAR 2010

Electric energy forecasting and long-term planning of electric power supply for a country in an inposed war and transition from planned into market economy is a very ungrateful job. Thus, in this paper it is presented for Croatia.

HAUPTRICHTLINIEN DER WEITERENTWICKLUNG DES KROATISCHEN VERBUNDSYSTEMS BIS ZUM JAHRE 2010

Die Voraussage des Stromverbrauches und die Planung langfristiger Weiterentwicklung des Stromversorgungssystems eines Landes im aufgezwungenen Krieg und im Übergang von der Planwirtschaft in die Marktwirtschaft stellt eine undankbare Aufgabe dar. In diesem Artikel wird der Fall Kroatiens behandelt.

Naslov pisca:

Ante Jelčić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda,
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995 – 11 – 20

TOČNOST, ISPRAVNOST, PRECIZNOST, POGREŠKA I NESIGURNOST MJERNOG REZULTATA

Dr. sc. Zdenko Godec, Zagreb

UDK 621.317.001
PREGLEDNI ČLANAK

Definirani su pojmovi koji su bitni za razumijevanje novog načina iskazivanja mjernih rezultata. U skladu s međunarodnim dogovorom razrađeni su načini određivanja mjerne nesigurnosti iz dostupnih podataka i prethodno rabljenih iskaza o kvaliteti mjernog rezultata. Predložene su tri kvalitativne razine iskazivanja mjernih rezultata (znanstvena, stručnja i rutinska), koje se razlikuju količinom dodatnih informacija, a prilagođene su namjeni mjernog rezultata.

Ključne riječi: mjerenje, mjerni rezultat, mjerna nesigurnost.

1. UVOD

Mjerni rezultat jest proizvod mjerenja. *Mjerenje* je eksperimentalni proces kojim se doznaje vrijednost (fizikalne) veličine u odnosu prema mjernoj jedinici. Svi mi upotrebljavamo tuđe mjerne rezultate, a mnogi od nas mjerne rezultate i proizvode. Odgovorna i djelotvorna uporaba mjernog rezultata moguća je jedino uz poznavanje njegove kvalitete.

Vrhunski mjeritelji, predstavnici ISO (Međunarodna normirna organizacija), IEC (Međunarodni elektrotehnički komitet), BIPM (Međunarodni ured za utege i mjere), OIML (Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo), IUPAP (Međunarodna udruga za čistu i primijenjenu fiziku), IUPAC (Međunarodna udruga za čistu i primijenjenu kemiju) i IFCC (Međunarodna federacija za kliničku kemiju) dogovorili su se da kakvoću mjernog rezultata brojčano treba iskazivati (novodefiniranom) mjernom nesigurnošću. Potkraj 1993. godine objavljene su međunarodno usuglašene ISO upute za iskazivanje i procjenu mjerne nesigurnosti — koja se smatra sastavnim dijelom mjernog rezultata [1].

Donedavno se kvaliteta mjernog rezultata iskazivala na razne načine, što je otežavalo, a ponekad i onemogućavalo usporedbu mjernih rezultata iste mjerne veličine.

Svrha je ovog članka da na pojednostavnjen način objasni kako se vrednuje (novo definirana) mjerna nesigurnost i kako se prije korišteni različiti iskazi o netočnosti, nepreciznosti i nesigurnosti mjernog rezultata preračunavaju u jedinstveni iskaz — (novodefiniranu) mjernu nesigurnost. Jedinstveno iskazivanje mjernog rezultata omogućuje jednostavno uspoređivanje kvalitete mjernih rezultata, neovisno o njihovu podrijetlu.

2. TOČNOST, POGREŠKE, ISPRAVNOST I PRECIZNOST MJERENJA

Točnost je kvalitativna ocjena, a znači bliskost pravoj vrijednosti ili istini. Brojčano se točnost iskazuje s pomoću — pogreške.

Kada se u katalozima mjernih instrumenata navodi »točnost«, misli se na *granične pogreške,* tj. najveće dopuštene pogreške koje mjerni instrument smije imati (uz uvjet pravilne uporabe), a da se još smatra ispravnim. Primjerice, točnost od ±0,2% znači da granične pogreške iznose ±0,2% (ispravnije bi bilo reći netočnost od ±0,2%, no to nije uobičajeno).

Pogreška se definira kao odstupanje mjernog rezultata od prave vrijednosti mjerene veličine. Međutim, prava vrijednost redovito nije poznata i ne može se mjerenjem doznati, pa je prema tome tako definirana pogreška u biti neodrediva i nepoznata. Zato se u mjernoj tehnici pod pravom vrijednošću najčešće razumijeva *dogovorna prava vrijednost.* To je ona vrijednost mjerene veličine koja je dobivena s dovoljno točnijim mjernim postupkom. U odnosu prema mjernom rezultatu koji provjeravamo, dogovorna prava vrijednost trebala bi imati oko 5 puta manju pogrešku.

Prema *uzrocima nastanka* razlikujemo slučajne, sistematske (sustavne) i grube komponente pogreške.

Slučajne pogreške nastaju zbog mnoštva neizbježnih malih *promjena* koje se neprekidno zbivaju u mjernom objektu, mjernoj opremi, okolišu i mjeritelju. Pri svakom ponovljenom mjerenju iste veličine slučajna odstupanja se razlikuju iznosom i predznakom. Zbog toga se ne mogu ispravkom rezultata uzeti u obzir, ali se mogu smanjiti računanjem srednje vrijednosti ponovljenih mjerenja. Slučajne komponente pogreške čine rezultat mjerenja nepreciznim. Nepreciznost znači rasipanje ili raspršenje rezultata ponovljenih mjerenja iste mjerne veličine.

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 231 – 237

Sistematske pogreške nastaju zbog *nesavršenosti* mjernog objekta, mjerne opreme, mjernog postupka i mjeritelja, te zbog utjecaja okoliša. Pri uzastopno ponovljenim mjerenjima iste veličine uz nepromijenjene uvjete sistematska odstupanja ostaju stalna iznosom i predznakom ili se uz promijenjene uvjete mijenjaju na predvidiv način. Sistematske pogreške čine rezultat mjerenja *neispravnim*. Sistematske pogreške poznatih uzroka i odredivih iznosa mogu se iz rezultata odstraniti *ispravkom*. Međutim, koliko god pažljivo otkrivali i utvrđivali sistematske pogreške, uvijek preostaju sistematska odstupanja čiji iznos, a kadšto ni predznak, ne znamo odrediti, pa ih nazivamo *preostale sistematske pogreške*. Njih mjeritelj mora procijeniti na temelju znanja i iskustva.

Podjela na slučajne i sistematske pogreške relativna je, jer npr. slučajna komponenta pogreške u jednom mjerenju postaje sistematska komponenta u drugom mjerenju — u kojem se rezultat prvog mjerenja rabi kao ulazni podatak.

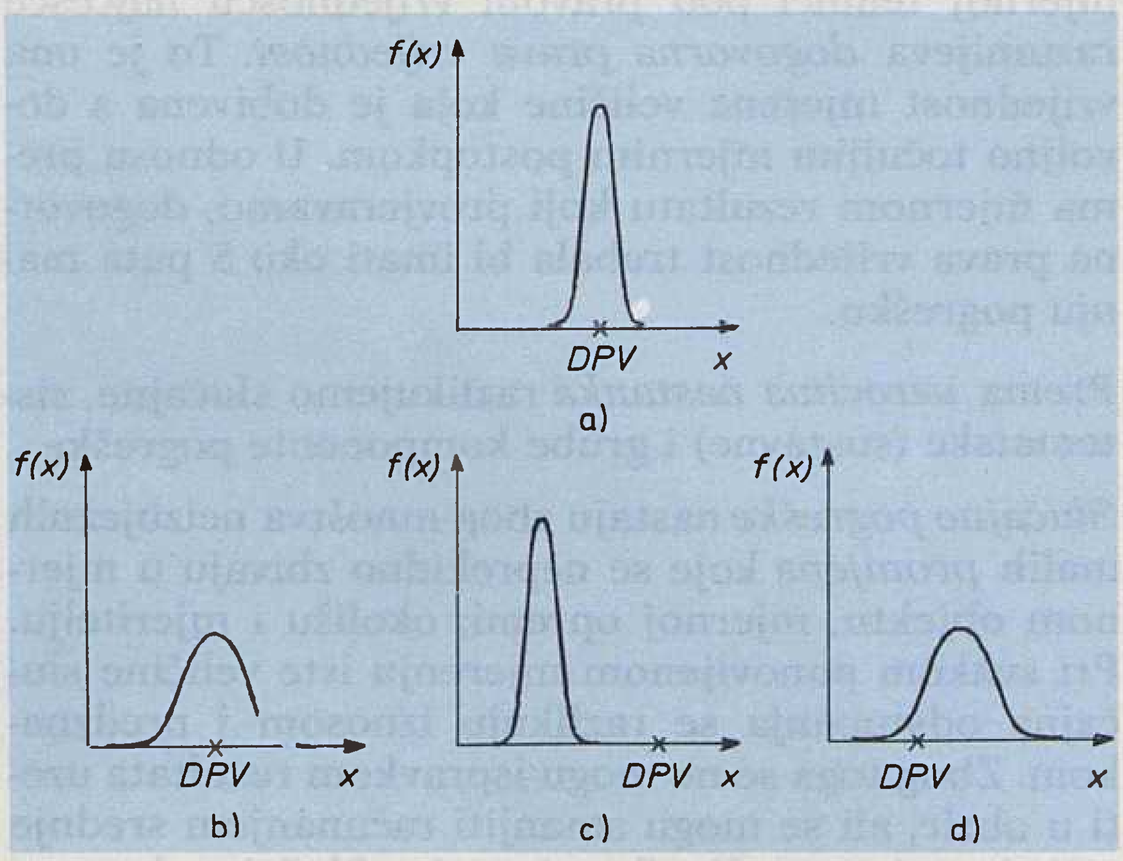
Ispravak (I) jednak je po vrijednosti poznatoj sistematskoj pogrešci, ali je suprotna predznaka.

Ispravljeni mjerni rezultat (M_i) je zbroj izmjerene (očitane) vrijednosti (M_o) i ispravka: $M_i = M_o + I$.

Grube pogreške nastaju zbog nepažnje mjeritelja, pogrešno primijenjene metode i neodgovarajućega ili neispravnoga mjerila. Mjerni rezultat s grubom pogreškom se odbacuje. Učestalost grubih pogrešaka može se smanjiti redovitim provjerama ispravnosti mjerila, pažljivim mjerenjem i ponavljanjem mjerenja.

Katkad je teško razlučiti radi li se o gruboj pogrešci ili samo o većem slučajnom odstupanju, pa se u takvim nejasnim slučajevima koriste statistički testovi [2, 3].

Mjerenje i *mjerila* mogu biti više ili manje točni, ispravni i precizni. Pojmovi *točan, ispravan* i *precizan* predočeni su na slici 1, koja prikazuje gustoću vjerojatnosti opažanja $f(x)$ pri ponavljanju mjerenja iste mjerene veličine x. Mjerni je rezultat točan samo onda kada je ispravan i precizan [2, 4].



Slika 1. Prikaz pojmova točan, ispravan i precizan: a) točan (ispravan i precizan), b) netočan (ispravan ali neprecizan), c) netočan (precizan ali neispravan), d) netočan (neispravan i neprecizan)

Ispravnost je bliskost srednje vrijednosti velikog broja ponovljenih mjerenja iste veličine njezinoj (dogovornoj) pravoj vrijednosti. Ispravnost (ili bolje *neispravnost*) iskazuje se sistematskom komponentom pogreške.

Preciznost je međusobna bliskost rezultata ponovljenih mjerenja. Preciznost (ili bolje *nepreciznost*) iskazuje se standardnim odstupanjem ili njegovim višekratnikom. Uvjeti ponavljanja mjerenja istim mjernim postupkom mogu biti različiti, pa razlikujemo više razina preciznosti između dvaju ekstrema koje nazivamo *ponovljivost* i *obnovljivost*.

Ponovljivost (engl. repeatability) mjerenja (ponovljivost rezultata dobivenih ponovljenim mjerenjima određenim mjernim postupkom) jest preciznost koja se postiže kada isti mjeritelj više puta ponavlja mjerenje u kratkom intervalu, iste (nepromjenljive) veličine u istom laboratoriju istom mjernom opremom pri nepromijenjenim (ili neznatno promijenjenim) utjecajnim veličinama.

Obnovljivost (reproducibility) je preciznost određenoga mjernog postupka koja se postiže kada se vremenski interval između mjerenja poveća i kada se mijenjaju svi ostali utjecajni faktori (laboratorij, mjeritelj, mjerna oprema, utjecajne veličine).

Ponovljivost i obnovljivost mjerenja obično se iskazuju *graničnom ponovljivošću* ($r = 2{,}8\sigma_r$) i *graničnom obnovljivošću* ($R = 2{,}8\sigma_R$), gdje je σ_r standardno odstupanje rezultata ponovljenih mjerenja, a σ_R standardno odstupanje rezultata obnovljenih mjerenja [2]. Granična ponovljivost i granična obnovljivost određuju se međulaboratorijskim poredbenim mjerenjima [4].

3. RAZLOG PROMJENI NAČINA ISKAZIVANJA MJERNOG REZULTATA

Prema međunarodnom dogovoru [1] kvalitetu svakoga mjernog rezultata treba iskazivati na jedinstven način, novodefiniranom mjernom nesigurnošću.

Prije rabljeni iskazi i načini određivanja mjerne nesigurnosti i ostalih iskaza o kvaliteti mjernog rezultata nisu bili međusobno usklađeni (vidjeti npr. [7]: granične pogreške rezultata jednog izravnog mjerenja, dvije varijante mjerne nesigurnosti za izravna i ispravljena više puta ponovljena mjerenja jedne mjerne veličine, zatim mjerna nesigurnost mjernog postupka, te konačno statističke i sigurne granične pogreške za rezultate posrednih mjerenja), pa je usporedba kvalitete mjernih rezultata bila otežana, a ponekad i nemoguća.

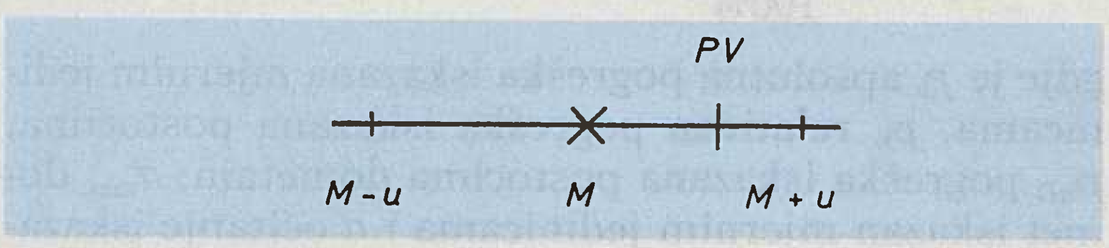
Povećanjem razmjene proizvoda i usluga na međunarodnom tržištu i općim prihvaćanjem niza normi ISO 9000 za osiguranje kvalitete proizvoda i usluga, ta je neusklađenost iskaza mjernih rezultata počela sve više smetati.

Danas se, osim jedinstvenog iskaza mjernog rezultata [1], traži da je mjerni rezultat i sljediv. *Sljedivost* je svojstvo mjernog rezultata da se slijedom neprekinutog lanca usporedbi oslanja s poznatom nesigurnošću na odgovarajući međunarodni etalon (ostvaru-

je se hijerarhijom umjernih laboratorija [5]). To znači da su jedino mjerni rezultati koji su sljedivi međusobno usporedivi, jer je mjerna nesigurnost određena u odnosu prema istoj referentnoj vrijednosti (međunarodni etalon).

4. NESIGURNOST MJERNOG REZULTATA

Nesigurnost mjernog rezultata ili *mjerna nesigurnost* jest brojčani iskaz o kvaliteti rezultata mjerenja. Mjerna nesigurnost je procjena raspona vrijednosti unutar koje leži (prava) vrijednost mjerene veličine. Zbog pogrešaka koje ga kvare znamo da je svaki mjerni rezultat više ili manje netočan. Zato ne tvrdimo da je mjerni rezultat prava vrijednost mjerene veličine, nego na temelju izvršenog mjerenja procjenjujemo mjernu nesigurnost i time određujemo *raspon vrijednosti* unutar kojega očekujemo da se nalazi (prava) vrijednost mjerene veličine (slika 2). Pri tome mjerenjem dobiveni (ispravljeni) mjerni rezultat smatramo najvjerojatnijom vrijednošću mjerene veličine.



Slika 2. Procjenom mjerne nesigurnosti (u) oko (ispravljenog) mjernog rezultata (M) određuje se raspon vrijednosti unutar kojega očekujemo da se nalazi prava vrijednost mjerene veličine (PV)

I nakon ispravka mjernog rezultata, za iznose poznatih i odredivih sistematskih pogrešaka, ostaje nesigurnost u točnost mjernog rezultata zbog slučajnih i preostalih sistematskih odstupanja. Međutim, nesigurnost *ispravljenog* mjernog rezultata je manja, tj. raspon mogućih vrijednosti uži, što znači da je mjerni rezultat kvalitetniji.

U praksi se mjerni rezultati ne ispravljaju uvijek, jer svaki ispravak zahtijeva dodatno vrijeme. Hoćemo li mjerni rezultat ispravljati ili nećemo, ovisi o veličini ispravka i namjeni mjernog rezultata. U vrhunskom mjeriteljstvu, primjerice, u kojem vrijeme i troškovi nisu primarni, mjerni rezultati se često ispravljaju, kako bi mjerna nesigurnost bila što manja.

Izvori nesigurnosti mjernog rezultata mogu biti:

- nepotpuna definicija i nesavršena realizacija mjerne veličine,
- uzorkovanje (na temelju malog broja mjerenja procjenjuju se svojstva osnovnog skupa),
- nedovoljno točan matematički model mjerenja,
- nedostatno poznavanje utjecaja utjecajnih veličina na mjerenje,
- mjerna oprema (npr. granične pogreške mjerila ili etalonima i referentnim materijalima pridružene vrijednosti koje nikada nisu apsolutno točne),
- mjeritelj (npr. pogrešno očitana vrijednost otklona kazaljke na analognom mjerilu),
- nedostatno razlučivanje (rezolucija),
- vrijednosti konstanti i drugih parametara kojima se koristi pri obradi rezultata mjerenja,
- aproksimacije, pretpostavke i zanemarenja koje su ugrađene u mjerni postupak,
- razlike u očitanjima ponovljenih mjerenja pri prividno istim uvjetima (slučajne pogreške),
- preostale sistematske pogreške.

Vidimo da se mjerna nesigurnost općenito sastoji od mnogo komponenata. One su prema *metodi vrednovanja* svrstane u dvije kategorije:

a) *nesigurnosti A tipa* — komponente koje se *određuju* statističkim metodama,
b) *nesigurnosti B tipa* — komponente koje se *procjenjuju* drugim metodama.

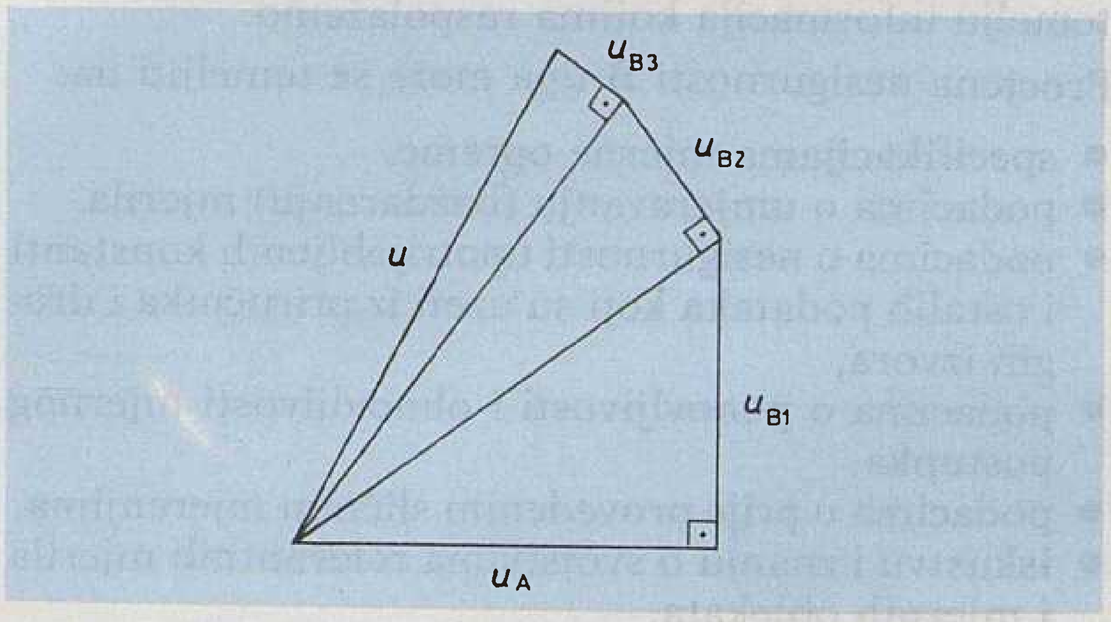
Prema [1] mjerna se nesigurnost iskazuje *standardnim odstupanjem* (standardnom devijacijom), pa se zato rabe i izrazi *standardna nesigurnost A tipa* i *standardna nesigurnost B tipa*.

Standardnu nesigurnost zvat ćemo skraćeno nesigurnost, osim u slučajevima kada je potrebno naglasiti da je riječ o standardnoj nesigurnosti. Nesigurnost A tipa (u_A) određuje se na temelju razdiobe učestalosti (frekvencija) pojedinih očitanja dobivenih ponavljanjem mjerenja. Nesigurnost B tipa (u_B) procjenjuje se obično na temelju pretpostavljene razdiobe učestalosti.

Ukupna nesigurnost je »geometrijski« zbroj pojedinih komponenata:

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}\,. \qquad (1)$$

Kada postoji više komponenti nesigurnosti, sve se zbrajaju »geometrijski« (slika 3). Valja uočiti da se sve komponente nesigurnosti tretiraju na jednak način, što znatno pojednostavnjuje procjenu ukupne mjerne nesigurnosti.



Slika 3. Ukupna mjerna nesigurnost (u)

U opravdanim slučajevima dopušteno je da se mjerna nesigurnost iskazuje i tzv. *proširenom nesigurnošću* (U), koja se dobiva množenjem ukupne standardne nesigurnosti i faktora proširenja k: $U = k\,u$.

4.1. Određivanje nesigurnosti A tipa

Nesigurnost A tipa određuje se eksperimentalno, ponavljanjem mjerenja pri jednakim uvjetima. Na temelju rezultata ponovljenih mjerenja može se izračunati aritmetička sredina i standardno odstupanje [1, 2, 6].

Aritmetička sredina niza očitanja od x_1 do x_n jest najvjerojatnija vrijednost mjerene veličine:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}. \quad (2)$$

Kažemo još da je aritmetička sredina najbolja aproksimacija ili najbolja procjena mjerene veličine.

Standardno odstupanje pojedinačnih očitanja (s) mjera jest rasipanja očitanja ili mjera nepreciznosti (odnosno nepouzdanosti, prema terminologiji koja se rabi u matematičkoj statistici):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}. \quad (3)$$

Rasipanje aritmetičkih sredina od n ponovljenih mjerenja je smanjeno [1, 2, 7]:

$$s_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (4)$$

To je tzv. *standardno odstupanje aritmetičke sredine* ($s_{\bar{x}}$).

Budući da se mjerna nesigurnost A tipa iskazuje standardnim odstupanjem, možemo zaključiti da se ponavljanjem mjerenja i računanjem srednje vrijednosti može mjernu nesigurnost rezultata, uzrokovanu slučajnim odstupanjima, smanjiti faktorom $1/\sqrt{n}$.

4.2. Procjena nesigurnosti B tipa

Zbog ograničenog vremena i ograničenih sredstava, većina komponenti nesigurnosti ne određuje se eksperimentalno u sklopu aktualnog mjerenja. Osim toga, vrlo je često mjerni rezultat proizvod samo jednog mjerenja, pa se nesigurnost mora procijeniti na temelju informacija kojima raspolažemo.

Procjena nesigurnosti B tipa može se temeljiti na:

- specifikacijama mjerne opreme,
- podacima o umjeravanju (baždarenju) mjerila,
- podacima o nesigurnosti upotrijebljenih konstanti i ostalih podataka koji su uzeti iz priručnika i drugih izvora,
- podacima o ponovljivosti i obnovljivosti mjernog postupka,
- podacima o prije provedenim sličnim mjerenjima,
- iskustvu i znanju o svojstvima relevantnih mjerila i mjernih objekata,
- procjeni nesigurnosti ispravaka,
- raznim drugim informacijama kao što su: zaokruživanje, razlučivost, kvantizacija i histereza [2].

Budući da su izvori podataka različiti, oni mogu biti različito iskazani, pa ih treba pretvoriti ili preračunati u nesigurnost iskazanu standardnim odstupanjem.

4.2.1. *Procjena nesigurnosti iz graničnih pogrešaka*

U specifikacijama mjerila obično su navedene točnosti, odnosno granične pogreške. Iskazivanje graničnih pogrešaka je različito za analogna i digitalna mjerila.

Analogna mjerila su razvrstana u razrede točnosti: 0,05 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2,5 – 5. Navedeni brojevi su znakovi (indeksi) razreda koji nas obavještavaju o vrijednosti granične pogreške, najčešće iskazane postocima dometa. Ako se mjerna nesigurnost želi iskazati postocima, treba najprije graničnu pogrešku iskazanu postocima dometa ($p_{\%D}$), preračunati na postotke očitane vrijednosti:

$$p_{\%} = p_{\%D}\frac{\alpha_{max}}{\alpha}, \quad (5)$$

gdje je $p_{\%}$ relativna pogreška (u odnosu prema očitanoj vrijednosti) iskazana postocima, α_{max} je domet iskazan podjelcima (ili mjernim jedinicama) i α je očitanje iskazano podjelcima (ili mjernim jedinicama). Ako se mjerna nesigurnost želi iskazati u apsolutnom iznosu (mjernim jedinicama), onda graničnu pogrešku iskazanu postocima treba najprije preračunati u apsolutnu pogrešku p_a:

$$p_a = p_{\%D}\frac{\alpha_{max}}{100\%} \quad (6)$$

$$p_a = p_{\%}\frac{\alpha}{100\%}, \quad (7)$$

gdje je p_a apsolutna pogreška iskazana mjernim jedinicama, $p_{\%}$ relativna pogreška iskazana postocima, $p_{\%D}$ pogreška iskazana postocima dometam, α_{max} domet iskazan mjernim jedinicama i α očitanje iskazano mjernim jedinicama (mj. j.).

Za *digitalna mjerila* iskazivanje graničnih pogrešaka nije normirano. Granične pogreške navode se kao zbroj dviju ili više komponenata:

- ± (x % očitanja + y % mjernog dometa), ili
- ± (x % očitanja + z digita), ili
- ± (x % očitanja + y % mjernog dometa + z digita), ili
- ± (x % oč. + y % mj. d. + z dig. + b mj. j.).

Digiti se pretvaraju u apsolutnu pogrešku dijeljenjem brojem digita koji odgovara dometu (N_D) i množenjem s mjernim dometom D iskazanim mjernim jedinicama:

$$p_a = \frac{z(\text{dig.})}{N_D(\text{dig.})}D(\text{mj. j.}). \quad (8)$$

Digiti se pretvaraju u postotnu pogrešku dijeljenjem očitanim brojem i množenjem sa 100%:

$$p_{\%} = \frac{z(\text{dig.})}{N(\text{dig.})}100\%. \quad (9)$$

Ostala preračunavanja jednaka su preračunavanjima kod analognih mjerila.

Podatak o *graničnim pogreškama* (± G) ne sadrži informaciju o *stvarnoj* vrijednosti pogreške. Zato pretpostavljamo da su sve vrijednosti unutar raspona koji omeđuju *granice pogrešaka* ($M - G$ i $M + G$, gdje je M vrijednost mjernog rezultata) jednako vjerojatne, a izvan tih granica nemoguće (kada je mjerilo ispravno). Takva se razdioba naziva pravokutnom. Standardno odstupanje pojedinih očitanja koja su jednako vjerojatna u nekom intervalu ± G iznosi [1, 2]:

$$s = \frac{G}{\sqrt{3}}. \tag{10}$$

Mjerna nesigurnost iskazuje se standardnim odstupanjem, pa je:

$$u_B = \frac{G}{\sqrt{3}}. \tag{11}$$

Na taj način se preračunavaju nesigurnosti B tipa kada raspolažemo *graničnim pogreškama mjerila, statističkim graničnim pogreškama* (definiciju pogledati u [7], str. 40), *sigurnim graničnim pogreškama* ([7], str. 39), podacima o *histerezi* mjerila, *razlučivosti, kvantizaciji* i *zaokruživanju* [2].

U slučaju velikih zahtjeva na točnost može se smanjiti nesigurnost rezultata ako raspolažemo umjernom (baždarnom) krivuljom mjerila. Pojedina očitanja treba ispraviti za iznose sistematskih pogrešaka koji se očitaju iz umjerne krivulje. Time se nesigurnost rezultata smanjuje na nesigurnost umjeravanja koja je obično manja od petine iznosa granične pogreške.

4.2.2. *Proračun nesigurnosti iz vjerojatnih pogrešaka*

Fizičari su često kao mjeru preciznosti upotrebljavali tzv. *vjerojatnu pogrešku.* Ona je jednaka umnošku standardnog odstupanja i broja 0,67 [8], pa se (standardna) nesigurnost iz vjerojatne pogreške dobije dijeljenjem s 0,67.

4.2.3. *Proračun nesigurnosti iz granične ponovljivosti i granične obnovljivosti*

Opisi svih normiziranih (standardiziranih) mjernih postupaka trebali bi sadržavati i podatke o graničnoj ponovljivosti i graničnoj obnovljivosti. Iz tih se podataka (standardna) nesigurnost dobije dijeljenjem s 2,8 [2].

4.2.4. *Pretvorba proširene nesigurnosti u (standardnu) nesigurnost*

Nesigurnost podataka koje preuzimamo iz drugih izvora može biti iskazana proširenom nesigurnošću na dva načina.

a) Uz podatak proširene nesigurnosti naveden je faktor kojim se standardno odstupanje množilo da bi se dobila navedena proširena nesigurnost. Standardna nesigurnost dobije se jednostavno dijeljenjem proširene nesigurnosti navedenim faktorom.
b) Uz podatak proširene nesigurnosti navedena je razina vjerojatnosti, tj. procjena vjerojatnosti da raspon određen proširenom nesigurnošću sadrži pravu vrijednost podatka. Ako zakon razdiobe nije dan, pretpostavit ćemo da je za određivanje proširene nesigurnosti rabljena normalna razdioba. Prema teoriji matematičke statistike, djelitelji kojima navedenu proširenu nesigurnost treba podijeliti da se dobije standardna nesigurnost jesu 1,96 u slučaju 95%-tne razine vjerojatnosti, odnosno 2,58 u slučaju 99%-tne razine vjerojatnosti. Kada je navedena neka druga razdioba, djelitelj kojim treba dijeliti navedenu proširenu nesigurnost treba odrediti pomoću priručnika ili knjige o matematičkoj statistici (npr. [1, 6]).

Upozorenje. Prije rabljene mjerne nesigurnosti bile su drukčije definirane (vidjeti [2]).

5. VREDNOVANJE SLOŽENE NESIGURNOSTI

Najčešće se mjerna (izlazna) veličina Y određuje iz N ulaznih *međusobno nezavisnih* veličina $X_1, X_2, \ldots X_N$, koje su funkcijski povezane:

$$Y = F(X_1, X_2, \ldots X_N). \tag{12}$$

Mjerni rezultat je procjena veličine Y koju ćemo označiti s y. Mjerni rezultat dobije se na temelju procjena ulaznih veličina $x_1, x_2, \ldots x_N$ i matematičkog modela funkcijske povezanosti izlazne s ulaznim veličinama:

$$y = F(x_1, x_2, \ldots x_N). \tag{13}$$

Pretpostavlja se da je svaka procijenjena ulazna veličina ispravljena za iznose poznatih sistematskih pogrešaka. Složena (apsolutna) nesigurnost mjernog rezultata y procjenjuje se tada izrazom:

$$u_a(y) = \sqrt{\sum_1^N \left[\frac{\partial F}{\partial x_i} \cdot u_a(x_i)\right]^2}. \tag{14}$$

Ako matematički model sadrži samo množenje, dijeljenje, odnosno potenciranje ulaznih veličina, prikladnije je računati s relativnim ili postotnim nesigurnostima:

$$u_{\%}(y) = \sqrt{\sum_1^N \left[\frac{\partial F}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{F} \cdot u_{\%}(x_i)\right]^2} = \sqrt{\sum_1^N [e_i \cdot u_{\%}(x_i)]^2}, \tag{15}$$

gdje su e_i eksponenti ulaznih veličina x_i.

6. POSTUPAK VREDNOVANJA MJERNOG REZULTATA

Postupak vrednovanja mjernog rezultata možemo sažeti u nekoliko koraka:

1. postaviti matematički model ovisnosti izlazne mjerne veličine (mjernog rezultata) o ulaznim veličinama;
2. odrediti ulazne veličine mjerenjem, nizom mjerenja, ili ih preuzeti iz priručnika ili kojeg drugog izvora; svaku ulaznu veličinu treba ispraviti za vrijednost poznatih sistematskih pogrešaka koje znatno kvare mjerni rezultat;
3. izračunati mjerni rezultat, tj. procjenu izlazne veličine pomoću matematičkog modela i ispravljenih ulaznih veličina;
4. vrednovati nesigurnost svake ulazne veličine;
5. izračunati nesigurnost mjernog rezultata;
6. na kraju, ako je potrebno, izračunati proširenu nesigurnost. Naime, vjerojatnost da se prava vrijednost mjerene veličine nalazi unutar raspona određenog standardnom nesigurnošću iznosi oko 68% (uz pretpostavku normalne razdiobe). Svrha je

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 231 – 237

uporabe *proširene nesigurnosti* da se dobije raspon vrijednosti unutar kojega se s odabranom većom vjerojatnošću (npr. 95% ili 99%) nalazi (prava) vrijednost mjerne veličine.

Opisani postupak vrijedi kada su ulazne veličine međusobno neovisne. U rijetkim slučajevima, kada neke od ulaznih veličina međusobno koreliraju, treba odrediti njihovu kovarijancu i primijeniti potpun izraz za nesigurnost koji je naveden u [1], jer ovisno o vrsti korelacije nesigurnost rezultata mjerenja može biti veća ili manja od dobivene ovdje opisanim postupkom.

7. ISKAZIVANJE MJERNOG REZULTATA

Iskazivanje mjernog rezultata treba prilagoditi namjeni. Iako su upute [1] predviđene za primjenu na svim poljima od vrhunskog mjeriteljstva do trgovine, nije realno očekivati da se rezultati mjerenja jednako iskazuju u znanstvenim radovima i izvještajima svakodnevnih rutinskih mjerenja. Zato predlažem tri razine iskazivanja mjernog rezultata koje su sukladne načelima u [1]:

- *N razina* (niska razina, npr. pri svakodnevnom rutinskom radu) — mjerni rezultat iskazuje se izmjerenom vrijednošću (brojem i mjernom jedinicom) tolikim brojem znamenki da je nesigurnost zaokruživanja približno jednaka četvrtini ukupne mjerne nesigurnosti [2],
- *S razina* (srednja razina, npr. u stručnim radovima, izvještajima industrijskih laboratorija i sl.) — rezultat mjerenja treba sadržavati ispravljenu izmjerenu (srednju) vrijednost (M_i), standardnu nesigurnost (u) i broj ponovljenih mjerenja n, kada je veći od 1:

$$M = M_i \pm u, (n) \tag{16}$$

- *V razina* (visoka razina, npr. u znanstvenim radovima, dokumentima vrhunskog mjeriteljstva i sl.) — rezultat mjerenja treba sadržavati sve relevantne podatke koji omogućuju uporabu, provjeru i obnavljanje navedenog rezultata i njegove nesigurnosti [1, 2, 9].

U konačnom mjernom rezultatu (na *S* i *V* razini) dostatno je nesigurnost iskazivati *dvjema značajnim znamenkama,* a vrijednost mjernog rezultata zaokružiti na razini vrijednosti zadnje značajne znamenke nesigurnosti. Međurezultate treba iskazivati jednom ili dvjema znamenkama više.

Nesigurnosti se mogu iskazati u relativnim, postotnim ili apsolutnim vrijednostima.

Kada postoje opravdani razlozi za to, nesigurnost rezultata može se iskazati proširenom nesigurnošću (U). Tada je potrebno dodatno navesti faktor proširenja (k) i razinu vjerojatnosti (P_l):

$$M = M_i \pm u(n, k, P_l). \tag{17}$$

Da bi se izbjegle eventualne nedoumice i nejasnoće, poželjno je mjerni rezultat iskazati i riječima.

Primjer. Otpor namota uljnog energetskog transformatora mjeren je U-I metodom s odvojenim strujnim i naponskim priključcima. Struja od 21,26 A izmjerena je analognim ampermetrom razreda točnosti 0,2 na području 30 A, a napon od 35,67 mV izmjeren je digitalnim voltmetrom (DVM) s 4 1/2 znamenke na području 200 mV. Radi ilustracije računanja mjerne nesigurnosti pretpostavimo da je »točnost« DVM-a (za razdoblje godine dana, relativnu vlažnost zraka manju od 80% i temperaturu okoliša u rasponu od 18 °C do 28 °C) iskazana na sljedeći način: ±(0,03% očitanja +0,02% dometa +1 digit +5 μV). Namot transformatora nalazi se u ulju. Živinim termometrom, s podjelom od 0,5 °C, izmjerena je temperatura ulja od 22,6 °C. Budući da je transformator prije mjerenja mirovao u beznaponskom stanju više od 24 sata, može se pretpostaviti da je i namot na istoj temperaturi. Temperatura okoliša bila je 19,0 °C, a relativna vlaga zraka 55%. Utjecajne veličine (veličine koje nisu predmet mjerenja, ali djeluju na mjerni rezultat) bile su za DVM u rasponu vrijednosti za koje vrijedi iskazana točnost. Za ampermetar su sve utjecajne veličine, osim temperature, također bile unutar tolerancija referentnih uvjeta za analogna mjerila (prema [10]: relativna vlaga 40% do 60%, nagib ±1°, strano magnetsko polje manje od 40 A/m i električno polje manje od 1 kV/m). Temperatura je bila izvan tolerancija referentnih uvjeta (23 °C ±1 °C), ali unutar nazivnog područja uporabe (23 °C ± 10 °C), pa to treba imati na umu pri procjeni mjerne nesigurnosti.

Vrednovanje mjernog rezultata provodi se prema poglavlju 6.

1. Matematički model mjerenja otpora U-I metodom jest:

$$R = \frac{U}{I}.$$

2. Napon U = 35,67 mV, a struja I = 21,26 A. Ispravci mjernih veličina nisu bili potrebni (npr. potrošak DVM-a je zanemariv, jer je ulazni otpor 10 MΩ).
3. Otpor namota pri 22,6 °C iznosi:

$$R = \frac{35{,}67 \cdot 10^{-3}}{21{,}26} = 1{,}677\,79\ \text{m}\Omega.$$

(Napomena: Kako još ne znamo ukupnu nesigurnost rezultata, ne znamo s koliko znamenaka treba iskazati rezultat, pa je bolje ispisati veći broj znamenaka nego premalen. Pri procjenjivanju nesigurnosti dovoljno se koristiti mjernim rezultatom zaokružen na tri značajne znamenke [2].)

4. Nesigurnost izmjerenog napona sastoji se od četiri komponente:

$$u_{1,\%}(U) = \frac{0{,}030\,\%}{\sqrt{3}} = 0{,}0173\,\%,$$

$$u_{2,\%}(U) = \frac{0{,}020\,\%}{\sqrt{3}} \cdot \frac{199{,}99}{35{,}67} = 0{,}0647\,\%,$$

$$u_{3,\%}(U) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{3567} \cdot 100\,\% = 0{,}0162\,\%,$$

$$u_{4,\%}(U) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6}}{35{,}67 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\,\% = 0{,}0081\,\%,$$

$$u_{\%}(U) = (0{,}0173 + 0{,}0647 + 0{,}0162 + 0{,}0081)\,\% = 0{,}106\,\%.$$

Pri referentnim uvjetima nesigurnost izmjerene struje iznosi:

$$u^*_{\%}(I) = \frac{0{,}20\,\%}{\sqrt{3}} \cdot \frac{30{,}00}{21{,}26} = 0{,}163\,\%.$$

Budući da je temperatura okoliša (i ampermetra) bila 19,0 °C, što je izvan tolerancija referentne temperature 23 °C ±1 °C, potrebno je nesigurnost udvostručiti [10], pa je:

$$u_{\%}(I) = 0{,}326\,\%.$$

Mjerna nesigurnost A tipa se ne može odrediti, jer mjerenje nije ponavljano. Kako je, međutim, riječ o vrsti mjerenja koje se svakodnevno provodi, nesigurnost je procijenjena na temelju iskustva (ponovljivosti ranijih mjerenja) $u_{\%}(R)$ = 0,060%.

5. Složena nesigurnost mjernog rezultata iznosi:

$$u_{\%}(R) = \sqrt{u^2_{\%}(U) + u^2_{\%}(I)}$$

$$u_{\%}(R) = 0{,}343\,\%.$$

A ukupna nesigurnost mjernog rezultata iznosi:

$$u_{t\%}(R) = \sqrt{0{,}343^2 + 0{,}060^2} = 0{,}348\,\%.$$

Mjerni rezultat (otpor pri 22,6 °C) treba na *S* razini iskazati na sljedeći način:

$R = (1{,}6778 \pm 0{,}0058)$ mΩ

ili

$R = 1{,}6778$ mΩ $\pm$ 0,35 %,

ili riječima: Jednim mjerenjem određen je otpor namota pri 22,6 °C od 1,6778 mΩ sa standardnom nesigurnošću 0,35 %.

Međutim, električni otpor namota ovisi o temperaturi. Da bi rezultati mjerenja otpora pri različitim temperaturama bili usporedivi, oni se preračunavaju na referentnu temperaturu 20 °C [11]:

$$R_{20} = \frac{R}{1+\alpha(\vartheta-20)},$$

gdje je R_{20} — električni otpor namota pri referentnoj temperaturi, R — otpor pri temperaturi namota za vrijeme mjerenja ϑ i α — temperaturni koeficijent otpora za referentnu temperaturu 20 °C. Namot je izrađen od bakra, pa prema [11] temperaturni koeficijent otpora iznosi $3{,}93 \cdot 10^{-3}\,K^{-1}$.

Električni otpor namota pri 20 °C iznosi:

$$R_{20} = \frac{1{,}6778}{1+3{,}93\cdot10^{-3}(22{,}6-20)} = 1{,}6608\ \text{m}\Omega.$$

Mjerna nesigurnost otpora R_{20} jednaka je:

$$u_{\%}(R_{20}) = \sqrt{u^2_{\%}(R) + \left[\frac{\alpha\cdot(\vartheta-20)\cdot u_{\%}(\alpha)}{1+\alpha\cdot(\vartheta-20)}\right]^2 + \left[\frac{\alpha\cdot u_a(\vartheta)\cdot 100\,\%}{1+\alpha\cdot(\vartheta-20)}\right]^2}.$$

Nesigurnost temperaturnog koeficijenta otpora $u_{\%}(\alpha)$ može se procijeniti na temelju zaokruženog iskaza ($3{,}93 \cdot 10^{-3}\,K^{-1}$). Uz pretpostavku da je podatak zaokružen prema pravilima [2], nesigurnost iznosi oko 1 %. Termometar kojim je mjerena temperatura namota (ulja) ima prema [12] graničnu pogrešku 0,5 °C, a to znači da je apsolutna nesigurnost izmjerene temperature 0,3 °C.

Prema tome, ukupna nesigurnost otpora pri 20 °C iznosi:

$$u_{\%}(R_{20}) = \sqrt{0{,}348^2 + 0{,}0101^2 + 0{,}117^2} = 0{,}367\,\%.$$

Na *S* razini bi mjerni rezultat riječima iskazali ovako: Električni otpor namota pri 20 °C (izmjeren jednim mjerenjem) iznosi 1,6608 mΩ sa standardnom nesigurnošću 0,37 %.

Na *N* razini mjerni rezultat se iskazuje zaokruženom vrijednošću [2]: 1,661 mΩ.

8. ZAKLJUČAK

Mjerni rezultat bez mjerne nesigurnosti nije potpun. Mjerna nesigurnost je obvezni dio iskaza mjernog rezultata. Na međunarodnoj razini dogovoren način iskazivanja mjernog rezultata treba što prije provesti u praksu. U članku razrađena načela međunarodnog dogovora to bi trebala olakšati i ubrzati. Prijedlog da se mjerni rezultati mogu iskazati na tri razine složenosti, ovisno o namjeni (u znanosti, industriji i svakodnevici), trebalo bi razmotriti i prihvatiti pri izradbi hrvatske norme o osnovama mjerne tehnike.

LITERATURA

[1] Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISBN 92-67-10188-9, International Organization of Standardization, 1993.

[2] GODEC Z.: »Iskazivanje mjernog rezultata«, Graphis, Zagreb, 1995.

[3] ISO 7066-1 (1988): Assesment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices, Annex E

[4] ISO 5725-1 do 6 (1994): Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results

[5] BUTORAC J.: »Slijedni sustav laboratorija za elektromagnetska mjerenja«, Zbornik radova KoREMA 38(1993) 1, 260 – 263

[6] PAVLIĆ, I.: »Statistička teorija i primjena«, Panorama, Zagreb, 1965.

[7] BEGO, V.: »Mjerenja u elektrotehnici«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.

[8] BEVINGTON, P. R.: »Data reduction and error analysis for the physical sciences«, McGraw-Hill, New York, 1969.

[9] VUJEVIĆ, D.: »Iskazivanje nesigurnosti u mjerenju«, Energija 43 (1994) 2, 105 – 110

[10] IEC 51 (1984 – 1988): Direct acting analogue electrical measuring instruments and their accessories

[11] IEC 468 (1984): Method of measurement of resistivity of metallic materials

[12] IEC 386 (1977): Liquid-in-glass laboratory thermometers — Principles of design, construction and use

ACCURACY, CORRECTNESS, PRECISION, FAULT AND INSECURITY OF THE MEASUREMENT RESULTS

The important elements in the new way of measurement result presentation are defined. Possible ways of measurement insecurity from available data are worked out in accordance with the international agreement and previously used evaluation on the measurement results quality. Three different levels of measurement result evaluation are proposed (research, professional and routine), that differ by quantity of additional information and that are in accordance with the goal of the measurement results.

GENAUIGKEIT, RICHTIGKEIT, EINDEUTIGKEIT, FEHLERHAFTIGKEIT UND UNSICHERHEIT DES MESSERGEBNISSES

Gegeben sind für das Verstehen der neuen Darstellungsweise von Meßergebnissen wesentliche Begriffsbestimmungen. Aus den zugänglichen Angaben und vorherbestimmten Aussagen wurden, übereinstimmend mit der Internationalen Verabredung, Festlegungsverfahren für die Meßunsicherheit durchgearbeitet. Vorgeschlagen sind drei Qualitätsstufen der Aussage von Meßergebnissen (die wissenschaftliche, die fachliche und die routinemäßige) welche sich in Zusatzinformationen mengenmäßig unterscheiden, und Anwendungsorientiert sind.

Naslov pisca:

dr. sc. Zdenko Godec, dipl. ing.
Končar — Institut za elektrotehniku
10000 Zagreb, Baštijanova b.b.
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995 – 09 – 12

PIONIRSKI POTHVATI JAVNE ELEKTRIFIKACIJE U HRVATSKOJ

Marijan Kalea, Osijek — Boris Markovčić, Zagreb — Ivan Deronja, Pula — Zdravko Plander, Rijeka — Karlo Ožegović, Split

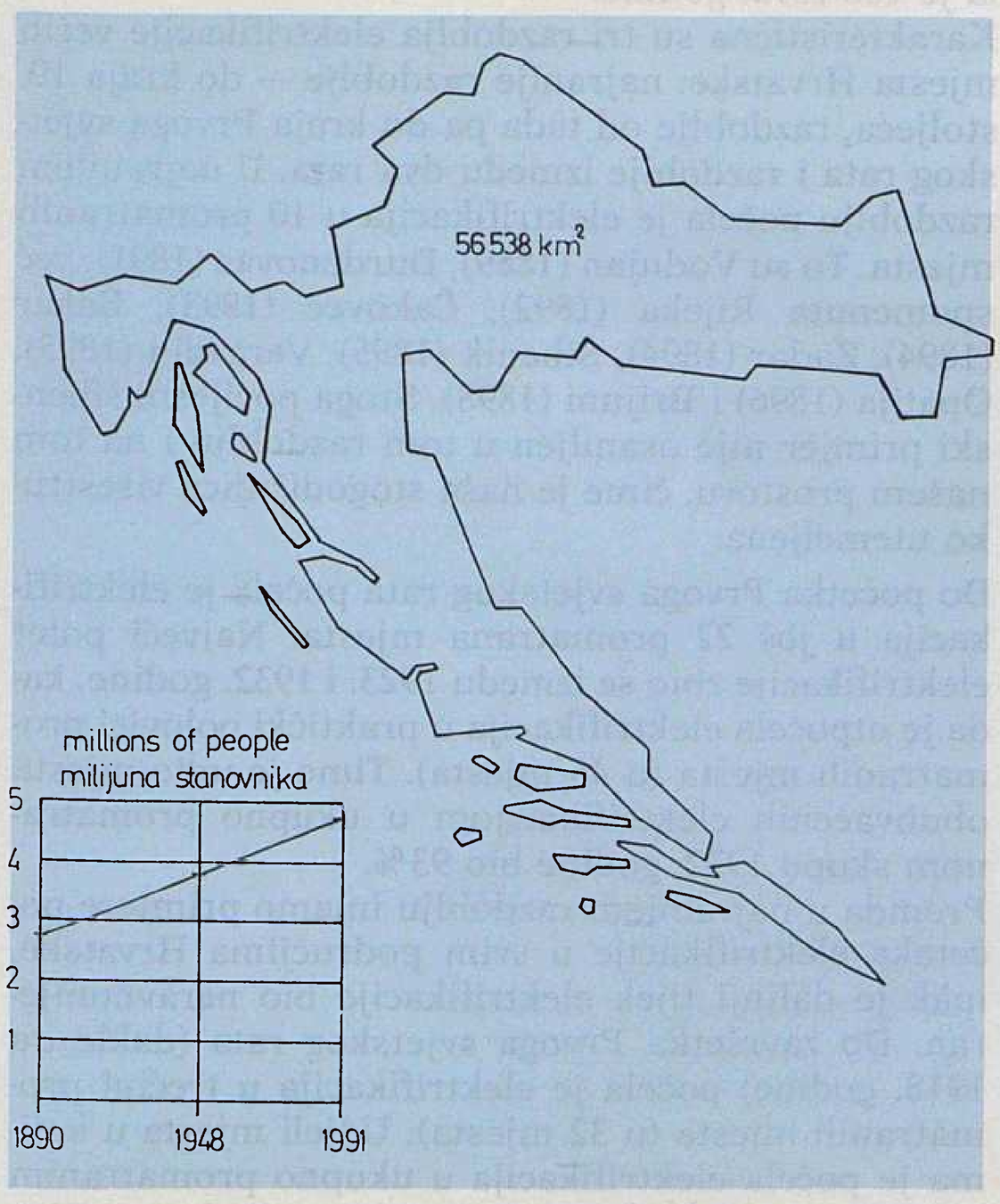
UDK 621.311.1:621.31
STRUČNI ČLANAK

U radu su prikazani podaci o pothvatima koji su doveli do prvotne elektrifikacije većih mjesta na području današnje Hrvatske, a ostvarili su se javnim ili mješovitim korištenjem elektrana ili mreže. Prikaz početaka elektrifikacije iznesen je po regijama Hrvatske, koje imaju svojstvena povijesna, prirodna i gospodarska obilježja, te se i elektrifikacija provodila u različitim uvjetima i prema različitim mogućnostima u Slavoniji i Baranji, u središnjoj Hrvatskoj, u Istri, te u Hrvatskom primorju, Gorskom kotaru, Lici i Dalmaciji. Na tim područjima prvotno je postojalo povezivanje u lokalne i regionalne mreže. Premda su se početni pothvati dogodili početkom devedesetih godina prošlog stoljeća, ipak je u gotovo polovici promatranih mjesta elektrifikacija otpočela u razdoblju između 1923. i 1932. godine. Zajednički rad u zemaljskom elektroenergetskom sustavu ostvaren je krajem pedesetih godina, ali nije bilo povezanosti svih područja mrežom na državnom teritoriju, koja je ostvarena tek potkraj sedamdesetih godina.

Ključne riječi: povijest elektrifikacije, elektroprivreda.

1. UVOD

Rad se temelji prije svega na nalazima objavljenim u dvosveščanom djelu *Razvoj elektrifikacije Hrvatske* izdanom 1984. i 1987. godine, Š1Ć i Š2Ć, dopunjenim istraživanjima i spoznajama autora temeljenima na bibliografiji koja ima pedeset bibliografskih jedinica. Nastojali su se izdvojiti oni pothvati koji su se ostvarili organiziranjem javnog ili mješovitog korištenja postrojenja za proizvodnju električne energije, dakle kojima je proizvodnja ili dobava i prodaja električne energije potrošačima bila jedinom ili bitnom sastavnicom poslovanja. Izostavljeni su — često raniji — primjeri isključivo industrijskog korištenja (mlinovi, pilane, željeznica, druge gospodarske djelatnosti) ili privatnog korištenja električne energije (hoteli, kazališta, druge ustanove i posjedi).



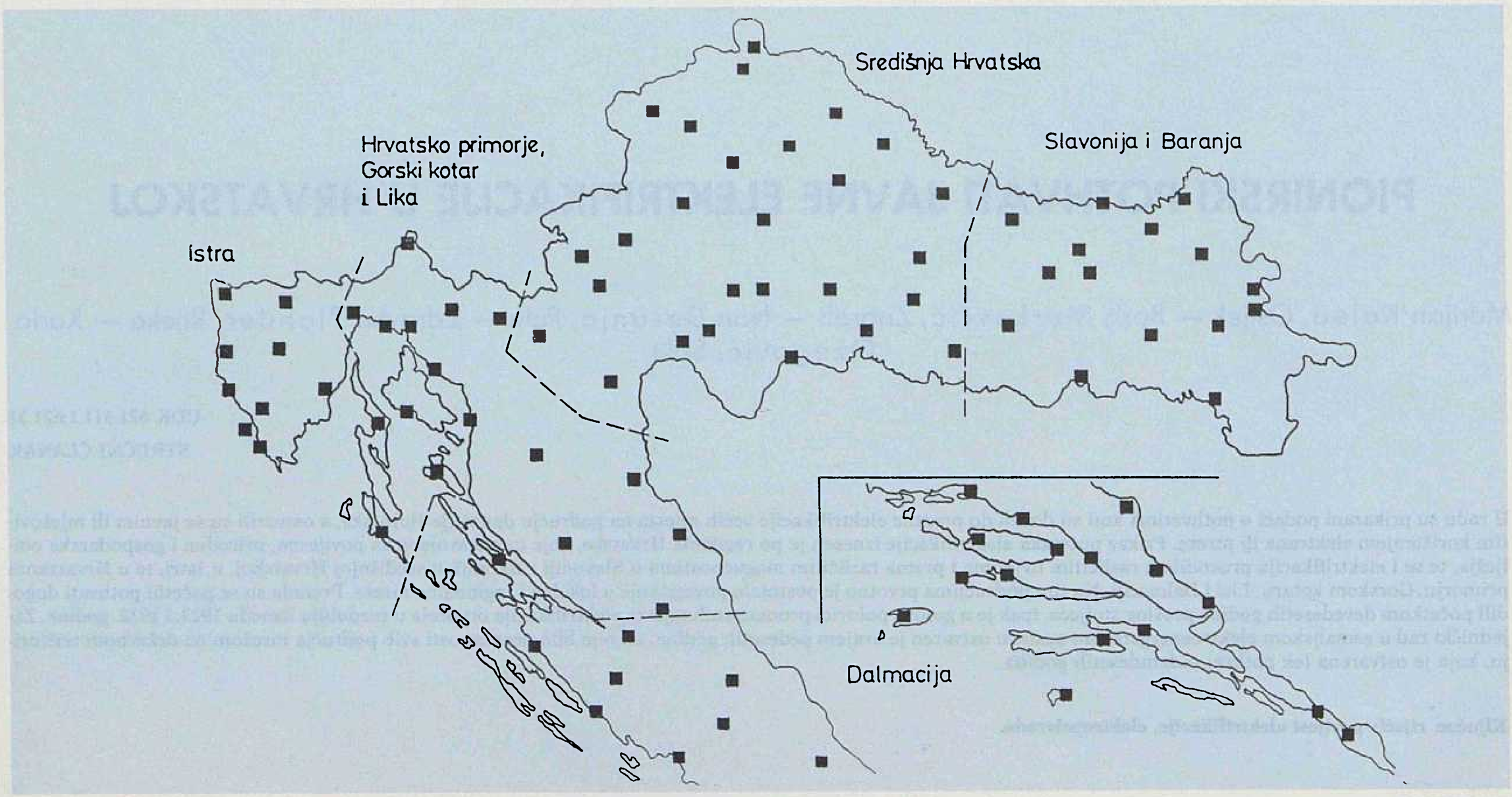
Slika 1. Površina i stanovništvo Hrvatske

Razmatranje početaka samo javne odnosno mješovite elektrifikacije uvjetovano je povodom ovome radu — stotom obljetnicom Hrvatske elektroprivrede, čija je djelatnost javna opskrba električnom energijom.

Vremenski okvir ovom radu gotovo je jednak onom u kojem je i u svijetu tekao razvoj javne elektrifikacije (od 1882. godine, prve javne elektrane istosmjerne struje — London, Tampere, New York i prvi prijenos istosmjernom strujom — Miesbach – München; od 1891. godine, prvi prijenos trofaznom izmjeničnom strujom — Lauffen – Frankfurt), jer se nedugo zatim i u nas pojavljuju prvi pothvati.

Promatran je teritorij sadašnje Republike Hrvatske, koji ima površinu 56 538 km², a broj stanovnika u promatranom razdoblju kretao se: 2,85 milijuna (1890), 3,78 milijuna (1948) i 4,78 milijuna (1991). U glavnom gradu Zagrebu živi danas približno 900 tisuća stanovnika.

U radu su izneseni dostupni podaci o početnim elektrifikacijskim pothvatima u većim mjestima Hrvatske. Obuhvaćena su ona mjesta koja su prema Zakonu o županijama, gradovima i općinama iz 1992. godine bila općinska središta i, dakako, za koje se raspolagalo podacima o počecima javne elektrifikacije, uz dopune nekim manjim mjestima čija je elektrifikacija započela najprije u nas (Vodnjan, Đurđenovac, Bakar) i mjestima na većim otocima. Time je promatran skup od 93 mjesta, za 8% manji od broja općinskih središta u 1992. godini (101 općina). Na



Slika 2. Promatrana mjesta i regije

karti Hrvatske označene su granice između pojedinih područja onako kako ta područja promatra ovaj rad.

Izbor općinskih središta za jedinice promatranja učinjen je zbog ujednačenog teritorijalnog zahvata i stoga što je u tim središtima živio ili prema njima bio okrenut pretežiti dio stanovništva Hrvatske. Takva općinska struktura postojala je dulje razdoblje unatrag, uz neznatne izmjene. Time je takav izbor reprezentativan za sagledavanje civilizacijskog napretka Hrvatske u cijelosti, u mjeri u kojoj je taj napredak uvjetovan — a neprijeporno jest — i korištenjem električne energije.

U svakom regionalnom prikazu iznesen je pregled početaka javne elektrifikacije većih mjesta na tom području s osnovnim podacima o vrsti elektrifikacije (javna ili mješovita), početnoj godini elektrifikacije, te — ako je riječ o elektrani — vrsti pogonskog stroja, snazi i vrsti struje generatora (istosmjerna, jednofazna, dvofazna, trofazna). Utvrđeni podaci odnose se na stanje u početnom trenutku elektrifikacije. Također, svaki regionalni prikaz sadrži kartu na kojoj je prikazan regionalni elektroenergetski sustav u vrijeme prije uključivanja u zemaljski sustav.

2. ZNAČAJKE POČETNIH ELEKTRIFIKACIJSKIH POTHVATA U HRVATSKOJ

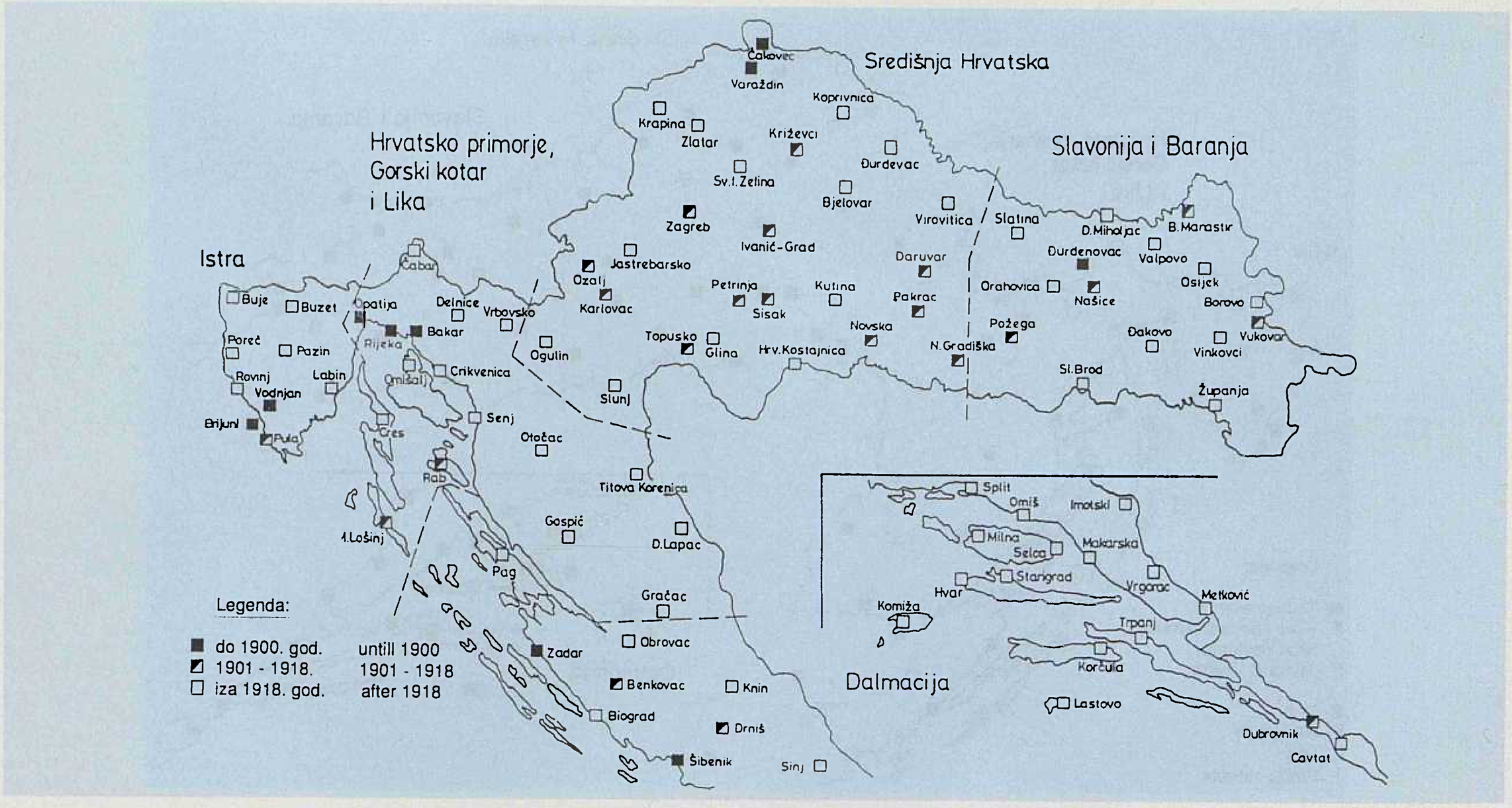
Najraniji primjeri mjesnih elektrifikacija u Hrvatskoj pojavljuju se u vrijeme takvih prvih pojava u svijetu — devedesetih godina prošlog stoljeća. Primjeri iz tog razdoblja jesu pothvati mješovitog korištenja postrojenja za proizvodnju električne energije ili (u jednakom broju) isključivo javnog korištenja takvih postrojenja.

U početnoj fazi elektrifikacije bila je nezaobilazna — a često je to bio i presudan motiv — javna električna rasvjeta ulica, obale, trgova. Nešto kasnije su elektrificirana ona mjesta gdje je potencijalni dolazak električne energije zatekao već uspostavljenu gradsku plinsku javnu rasvjetu i korištenje plina u domaćinstvima. Izuzetak je Rijeka, koja ima plinaru od 1852. godine — prvu u nas — a javna elektrifikacija otpočela je već 1892. godine.

Karakteristična su tri razdoblja elektrifikacije većih mjesta Hrvatske: najranije razdoblje — do kraja 19. stoljeća, razdoblje od tada pa do kraja Prvoga svjetskog rata i razdoblje između dva rata. U najranijem razdoblju počela je elektrifikacija u 10 promatranih mjesta. To su Vodnjan (1889), Đurđenovac (1891), već spomenuta Rijeka (1892), Čakovec (1893), Bakar (1894), Zadar (1894), Šibenik (1895), Varaždin (1895), Opatija (1896) i Brijuni (1898). Stoga povijesni šibenski primjer nije osamljen u tom razdoblju i na tom našem prostoru, čime je naša stogodišnjica višestruko utemeljena.

Do početka Prvoga svjetskog rata počela je elektrifikacija u još 22 promatrana mjesta. Najveći polet elektrifikacije zbio se između 1923. i 1932. godine, kada je otpočela elektrifikacija u praktički polovici promatranih mjesta (u 45 mjesta). Time je udio mjesta obuhvaćenih elektrifikacijom u ukupno promatranom skupu 1932. godine bio 93%.

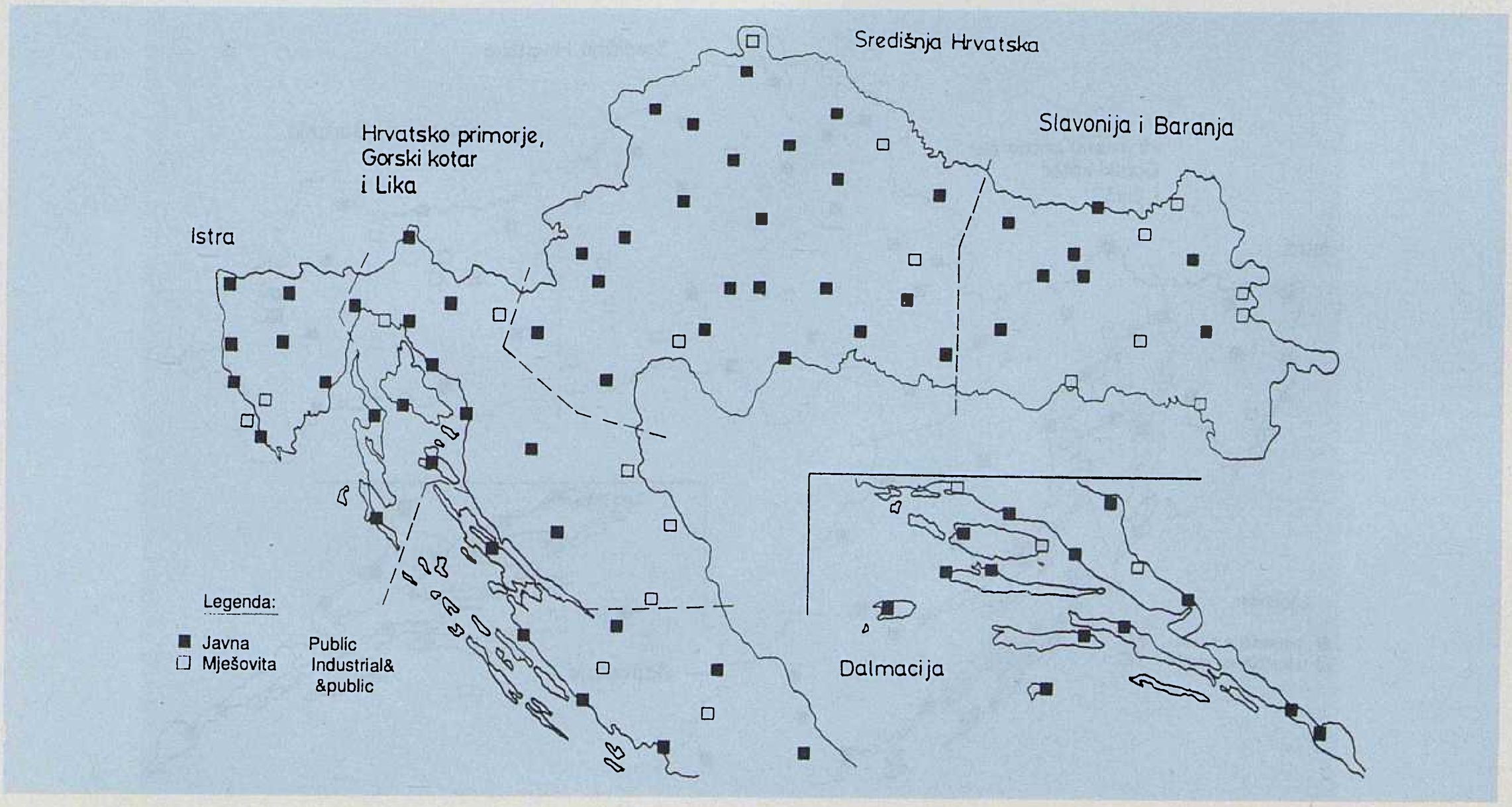
Premda u najranijem razdoblju imamo primjere početaka elektrifikacije u svim područjima Hrvatske, ipak je daljnji tijek elektrifikacije bio neravnomjeran. Do završetka Prvoga svjetskog rata (dakle do 1918. godine) počela je elektrifikacija u trećini promatranih mjesta (u 32 mjesta). Udjeli mjesta u kojima je počela elektrifikacija u ukupno promatranim mjestima na pojedinom području su sljedeći: središ-



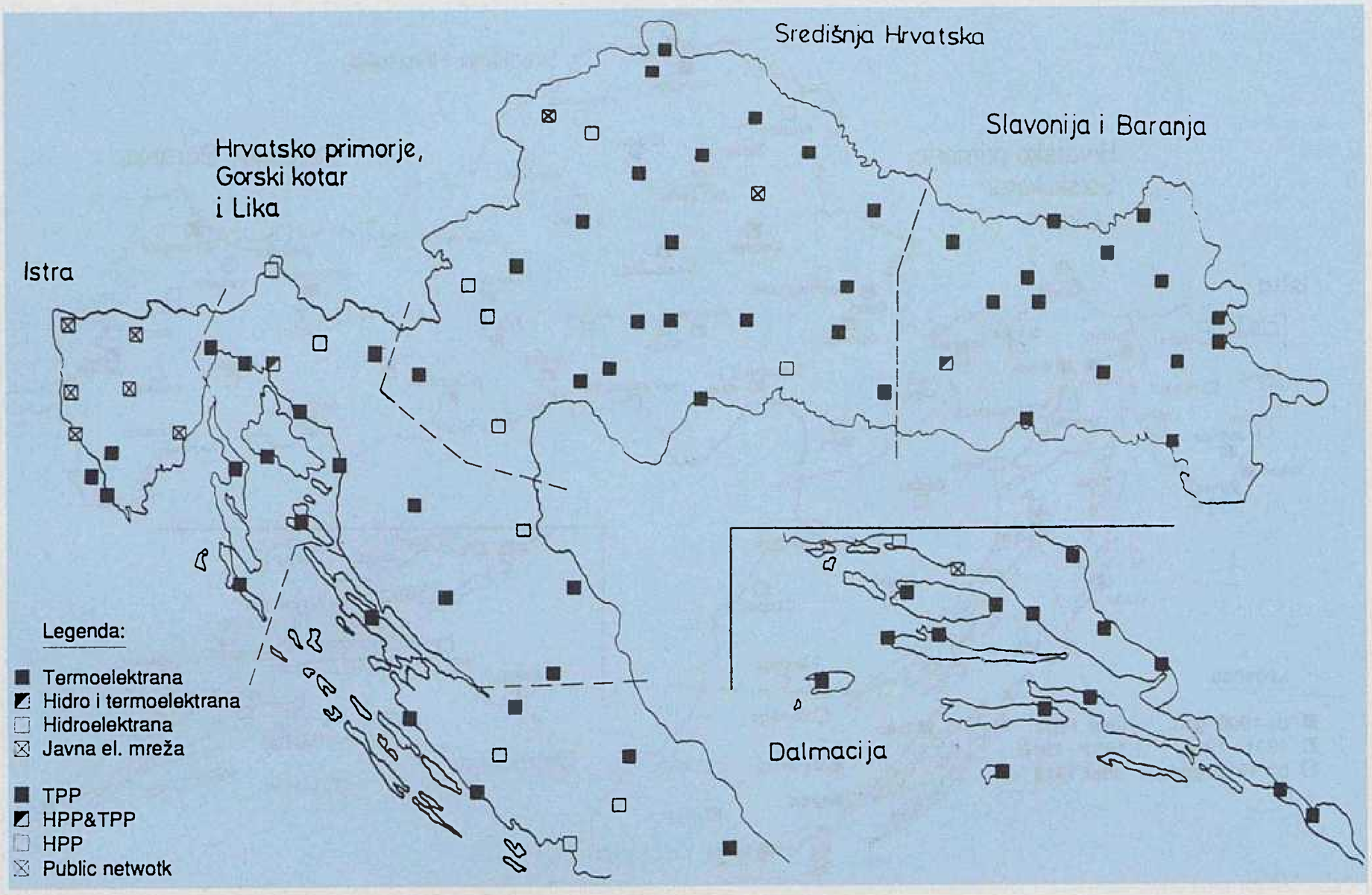
Slika 3. Počeci elektrifikacije prema početnoj godini korištenja

nja Hrvatska (52%), Slavonija i Baranja (33%), Primorje, Gorski kotar i Lika (29%), Istra (33%) i Dalmacija (20%). Dakle, do tada je u središnjoj Hrvatskoj otpočela elektrifikacija u svakom drugom promatranom mjestu, a u Dalmaciji tek u svakom petom.

U ukupno promatranom skupu početna mjesna elektrifikacija izvedena je u približno tri četvrtine slučajeva iz javnih objekata za opskrbu električnom energijom, a u četvrtini mješovitim korištenjem postrojenja za proizvodnju električne energije. Zanimljiv je pregled industrijskih proizvodnji uz koje se uspostavilo mješovito korištenje proizvedene električne energije za industrijske i javne potrebe: prednjače mlinovi (u ukupno pet promatranih slučajeva), slijede pilane (dva slučaja), željezničko ili lučko postrojenje (dva slučaja), te po jedan primjer kudjeljare, mljekare, klaonice, proizvodnje gume i obuće, tvornice vagona i mostova, pivovare, ugljenokopa, cementare i klesarije. U Topuskom je ostvareno mješovito korištenje elektrane za lječilišne i javne potrebe.



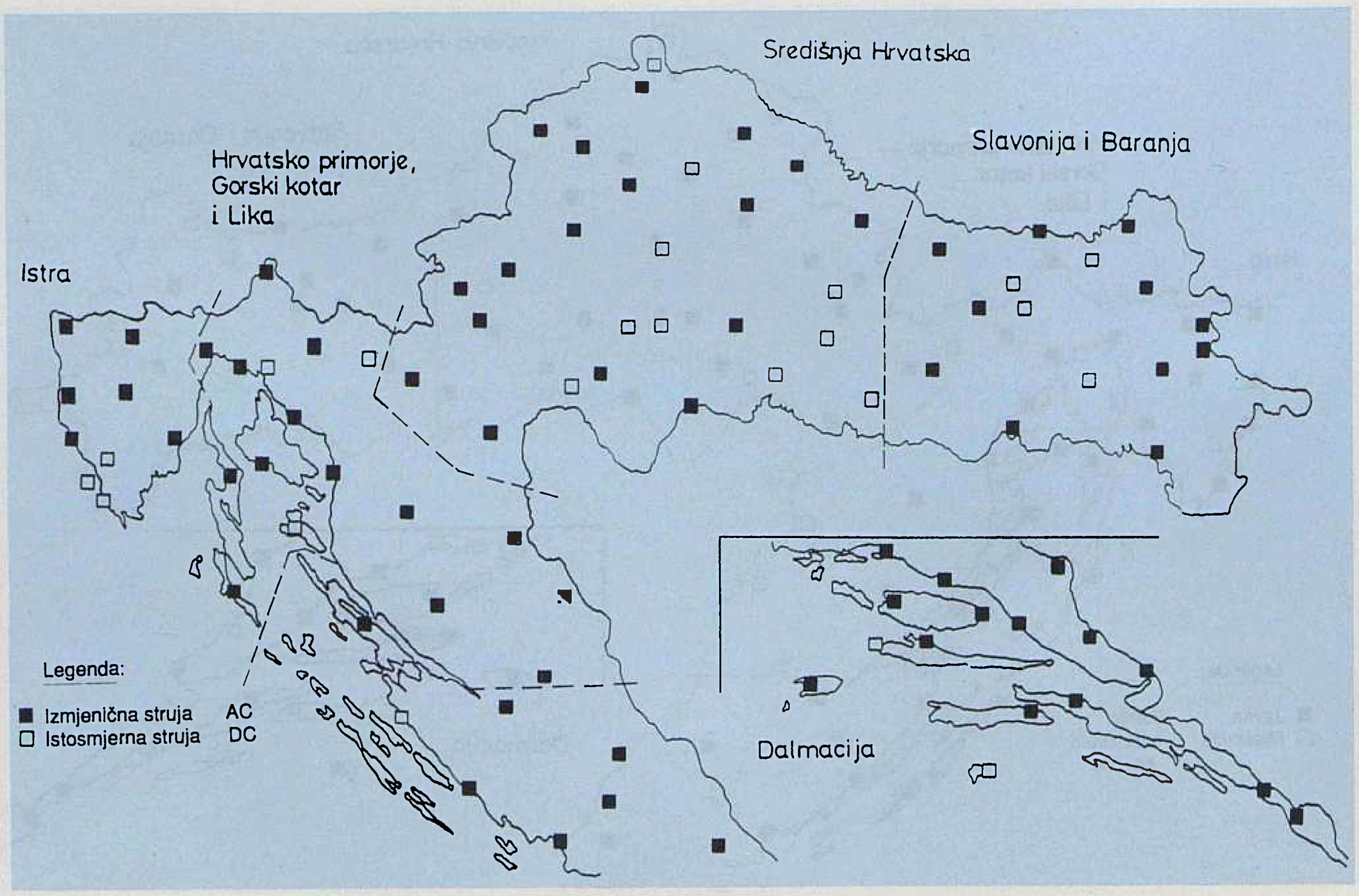
Slika 4. Počeci elektrifikacije prema vrsti elektrifikacije



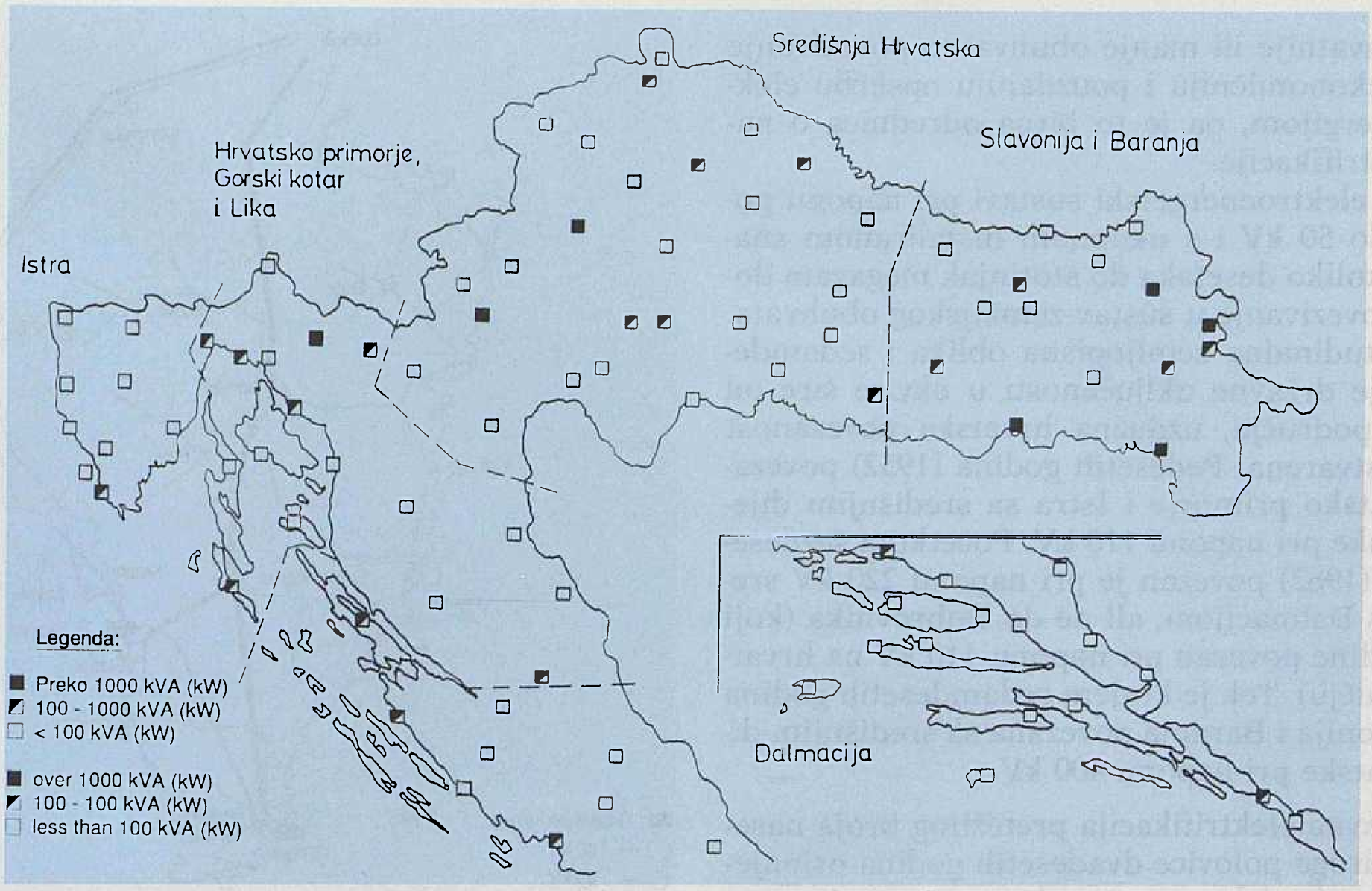
Slika 5. Počeci elektrifikacije prema izvoru električne energije

U više od tri četvrtine promatranih mjesta elektrifikacija je otpočela korištenjem termoelektrana s ovim pogonom: dizelskim motorima u gotovo polovici elektrana, nešto manje od toga parnim strojevima, u desetak primjera motorom na upojni plin, a u četiri parnom turbinom. U više od desetine promatranih mjesta početna elektrifikacija ostvarena je priključkom na električnu mrežu — bez gradnje lokalnih elektrana, a u desetak slučajeva prvotni izvor elektrifikacije bila je hidroelektrana. U dva mjesta — Bakru i Požegi — početno izgrađena elektrana bila je kombinirana, s hidroagregatom i termoagregatom, radi pouzdane isporuke u doba male vode na dotoku.

Samo u četvrtini promatranih mjesta početna elektrifikacija ostvarena je iz generatora istosmjerne struje. U preostale tri četvrtine primijenjeni su generatori ili priključak na mrežu izmjenične struje. Znatno preovladava trofazna struja pred jednofaznom i dvofaznom.

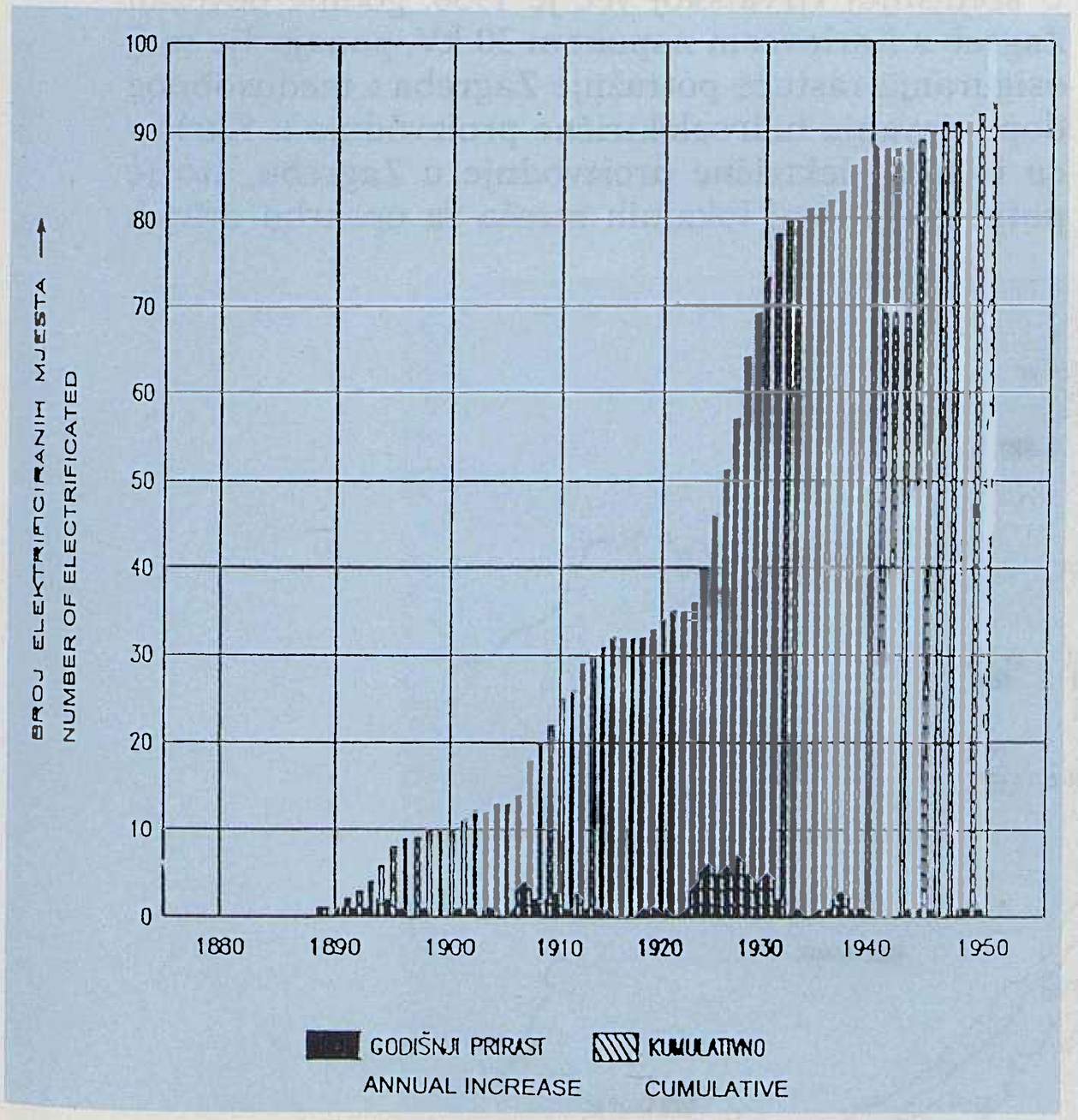


Slika 6. Počeci elektrifikacije prema vrsti struje



Slika 7. Počeci elektrifikacije prema snazi izvora elektrifikacije

S instaliranom snagom u prvotno izgrađenim elektranama većom od 1 000 kVA elektrifikacija je otpočela u samo sedam promatranih mjesta. U približno četvrtini promatranih mjesta elektrifikacija je otpočela uz snagu između 100 i 1 000 kVA, a u više od tri četvrtine uz snagu manju od 100 kVA. Najveća prvotna instalacija u javnim elektranama do Prvoga svjetskog rata bila je 2 × 750 kVA u hidroelektrani Ozalj iz 1908. godine, koja je dograđena još jednim agregatom od 750 kVA već 1913. godine.



Slika 8. Elektrifikacija većih mjesta u Hrvatskoj

Promotri li se, sumarno, vremenski tijek početnih elektrifikacija većih mjesta Hrvatske iz javnih i mješovitih elektrana ili mreže, uočava se nekoliko razdoblja naglašenijeg rasta: devedesetih godina — na samom početku, oko 1910. godine do Prvoga svjetskog rata, te, najveći prirast, u drugoj polovici dvadesetih godina do svjetske ekonomske krize tridesetih. Do Drugoga svjetskog rata praktički je dovršena elektrifikacija većih mjesta u Hrvatskoj.

Ovdje treba ponovno istaknuti da je promatrana početna elektrifikacija 100 većih mjesta Hrvatske, a ne elektrifikacija svih naselja Hrvatske, kojih ima približno 6 500. Kada bi se promatranje protegnulo i na ta mjesta, ustanovilo bi se još jedno razdoblje najnaglašenijeg prirasta elektrifikacije: nakon Drugoga svjetskog rata. Pedesetih i šezdesetih godina masovnim se pothvatima ostvarila elektrifikacija pretežitog broja naselja Hrvatske — približno 80% svih naselja elektrificirano je u razdoblju 1945 – 1970. godine.

3. POČETNA REGIONALNA POVEZANOST

Kako je rad iznesen po pojedinim područjima — regijama Hrvatske, to je moguće sagledati stanovito svojstveno profiliranje tijekom razvoja elektrifikacije uvjetovano okolnostima — povijesnim, prirodnim i gospodarskim osobitostima tih područja. U svakom području došlo je do prvobitnog povezivanja u regionalni elektroenergetski sustav prije priključenja elektroenergetskom sustavu zemaljskog obuhvata.

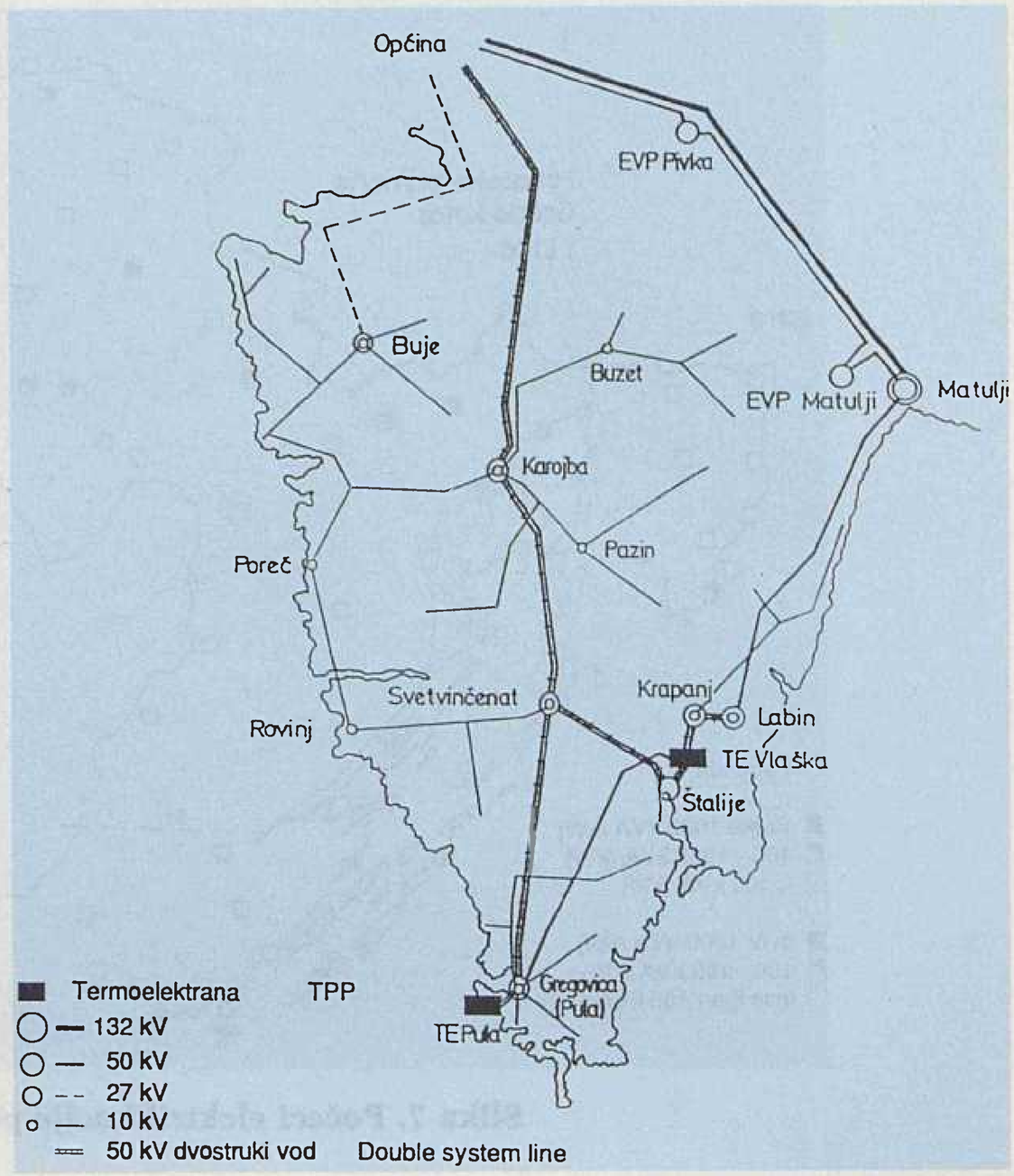
Takvo obuhvatnije ili manje obuhvatno povezivanje značilo je ekonomičniju i pouzdaniju opskrbu električnom energijom, pa je to bitna odrednica o napretku elektrifikacije.

Regionalni elektroenergetski sustavi pri naponu povezivanja do 50 kV i s ukupnom instaliranom snagom od nekoliko desetaka do stotinjak megavata dočekali su povezivanje u sustav zemaljskog obuhvata. Zbog longitudinalna zemljopisna oblika i sedamdesetogodišnje državne uključenosti u okvire šire od hrvatskog područja, uzdužna hrvatska povezanost kasno je ostvarena. Pedesetih godina (1952) povezano je Hrvatsko primorje i Istra sa središnjim dijelom Hrvatske pri naponu 110 kV. Početkom šezdesetih godina (1962) povezan je pri naponu 220 kV središnji dio s Dalmacijom, ali ne do Dubrovnika (koji je 1989. godine povezan pri naponu 110 kV na hrvatskom području). Tek je krajem sedamdesetih godina (1977) Slavonija i Baranja povezana sa središnjim dijelom Hrvatske pri naponu 400 kV.

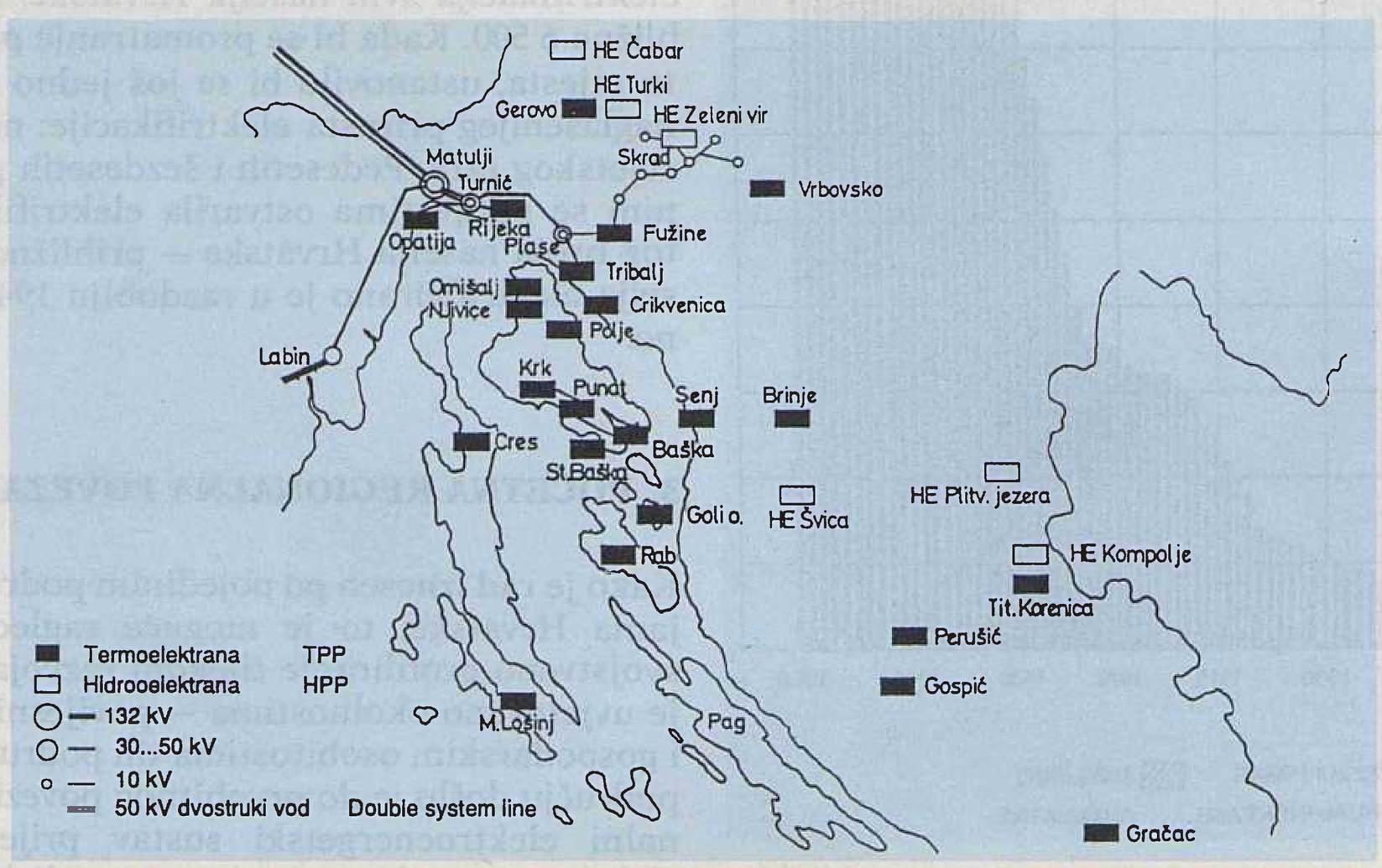
U Istri je javna elektrifikacija pretežitog broja naselja već od druge polovice dvadesetih godina oslonjena na dobavu iz elektroenergetskog sustava sjeverne Italije, bez prethodne gradnje lokalnih elektrana. Cijela istarsko-riječka visokonaponska mreža, s termoelektranama u Rijeci i Vlaškoj, bila je krajem tridesetih godina vezana na talijanski elektroenergetski sustav s frekvencijom 42 Hz. Osnovni čvor bila je TS 132/50 kV Matulji. Prva je zadaća nakon Drugoga svjetskog rata bila odijeliti mrežu od talijanskog sustava, prijeći na naš standardni napon 110 kV i frekvenciju 50 Hz. Izgradnjom provizorne transformatorske stanice u Sežani prekinuta je veza istarske i talijanske mreže i učinjen je prijelaz na 110 kV. Potkraj 1951. godine cijela je Istra, osim ugljenokopa Raša i Bujštine, prebačena na frekvenciju 50 Hz i time u sustav Slovenije i sjeverozapadne Hrvatske.

U Hrvatskom primorju, Gorskom kotaru i Lici brojne su mjesne elektrane radile nepovezano. Terenske okolnosti i mala gustoća naseljenosti (Lika, otoci) objektivno su otežavali povezivanje. Do povezivanja, ali samo Rijeke i užeg područja, s elektroenergetskim sustavom sjeverne Italije dolazi neposredno prije Drugoga svjetskog rata, a područje povezivanja donekle se širi nakon Drugoga svjetskog rata do Delnica. U Lici i podvelebitskom kraju formira se odvojeno područje povezivanja potkraj pedesetih godina.

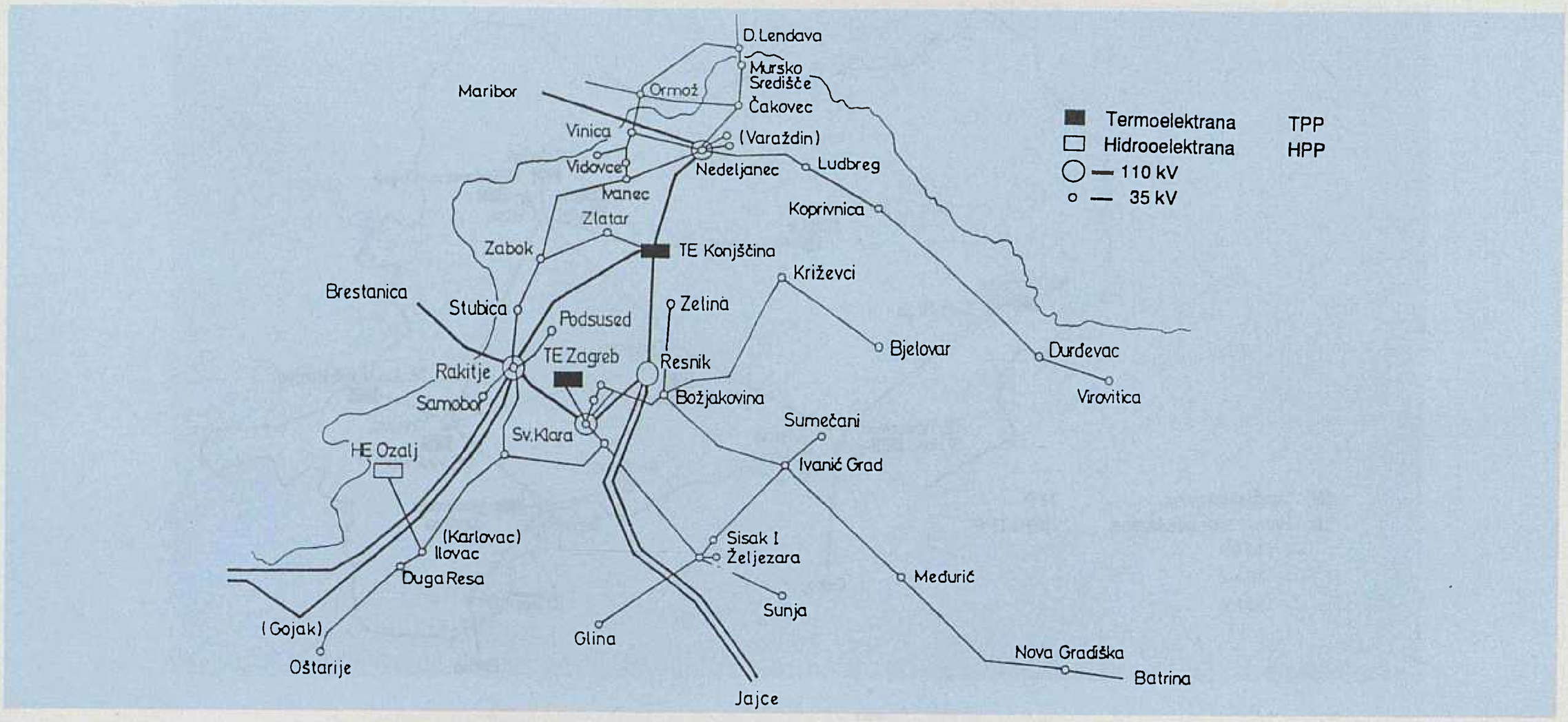
U središnjoj Hrvatskoj već je 1930. godine povezan Zagreb s Karlovcem naponom 30 kV, ponajprije radi osiguranja rastuće potražnje Zagreba i međusobnog dopunjavanja hidroelektrične proizvodnje u Karlovcu i termoelektrične proizvodnje u Zagrebu, što je poticalo i razvoj lokalnih mreža za opskrbu drugih



Slika 9. Mreža Istre 1945. godine



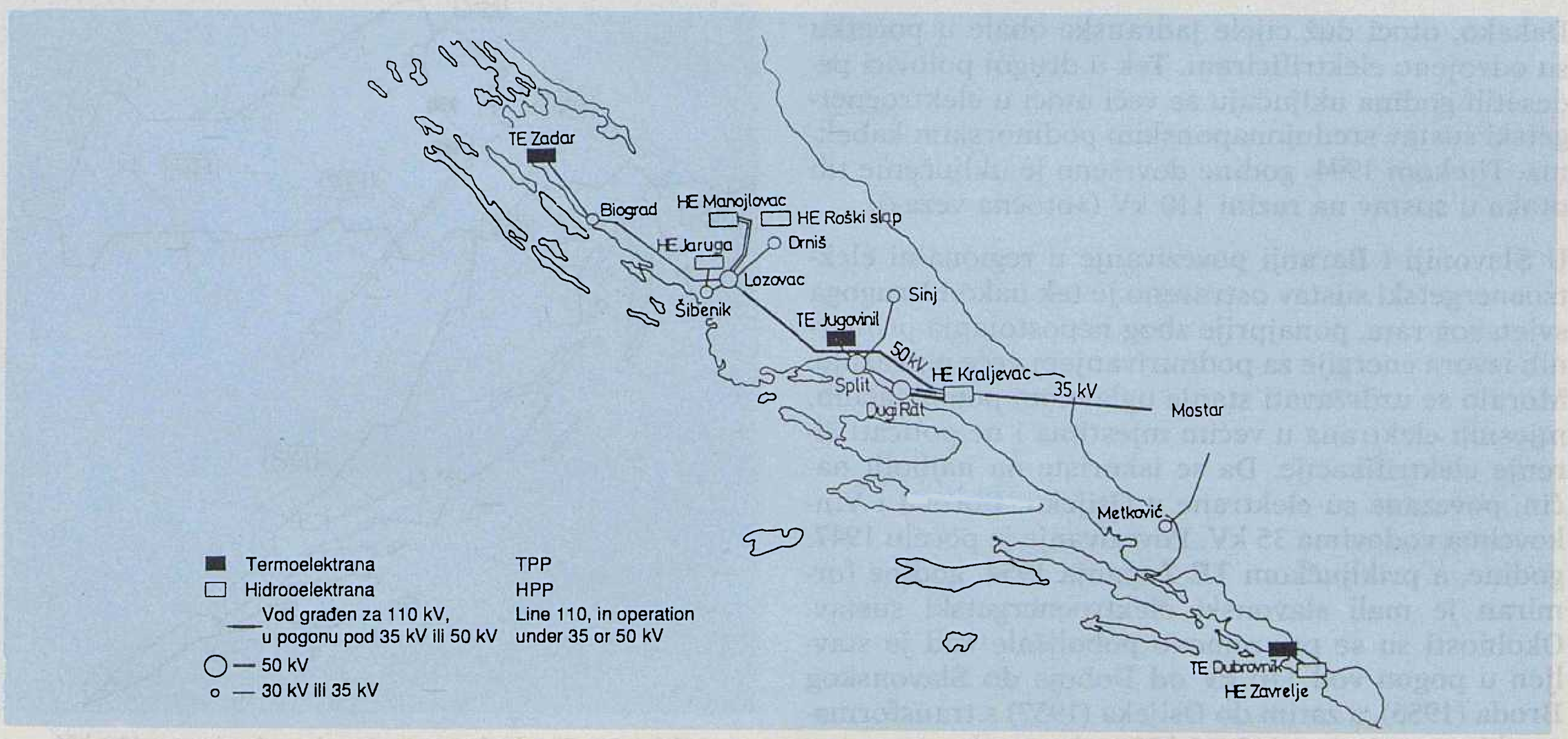
Slika 10. Mreža Hrvatskog primorja, Like i Gorskog kotara 1947. godine



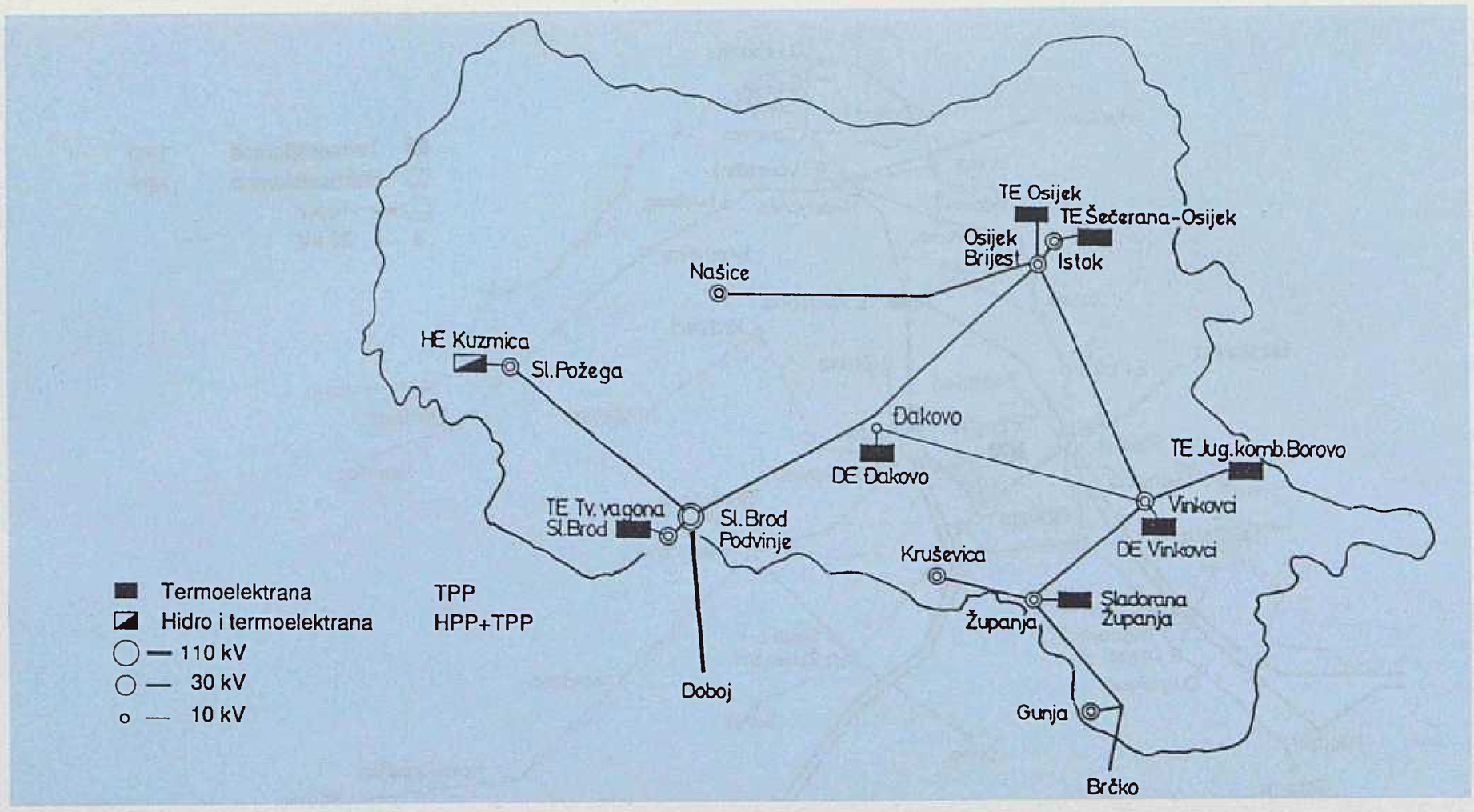
Slika 11. Mreža središnje Hrvatske 1957. godine

mjesta na čitavom području. Time je nastala prilično razgranata mreža elektroenergetskog sustava Zagreb–Karlovac i zagorska mreža vezana na Sloveniju. Da se omogući veća dobava energije iz Slovenije, izgrađena je provizorna TS 110/30 kV Sv. Klara, odakle je vod prema Brestanici — izgrađen u Drugome svjetskom ratu, 1949. godine stavljen pod napon 110 kV. Veza zagorske mreže sa Slovenijom putem voda 35 kV bila je preslaba za nagli porast opterećenja i širenje mreže, pa je 1952. godine izgrađen vod 110 kV iz Nedeljanca kraj Varaždina do Maribora i TS 110/30 kV Nedeljanec. Značajna energetska pomoć Zagrebu počela je 1952. godine, kad je stavljen u pogon prvi agregat HE Vinodol i vod 110 kV Vinodol–Zagreb (Rakitje). Tijekom 1953. godine priključena su i ostala dva agregata u HE Vinodol, te je ostvarena konačna snaga od 84 MW. To je prva elektrana u Hrvatskoj građena za elektroenergetski sustav, a ne ponajprije za lokalne potrebe. Godine 1954. završen je dalekovod 110 kV Zagreb (Rakitje)–Varaždin (Nedeljanec), a na vod je priključen prvi agregat TE Jertovec (Konjščina, 15 MW, ukupne snage 40 MW).

U Dalmaciji je nekoliko većih hidroenergetskih objekata ponajprije izvedeno radi neposredne opskrbe industrije (karbida, cementa, cijanamida) i ugljenokopa: HE Jaruga II (1903. godine, 5 250 kVA), HE Manojlovac (Miljacka, prvi agregat 1906. godine, ukupna konačna snaga četiriju agregata 21 MVA), HE Vrilo (Majdan, 1908. godine, 1 200 kVA), HE Roški slap (1909. godine, 1 000 kVA) i HE Kraljevac (1912. godine, 32 MVA). U stanovitoj mjeri uspostavljaju se i odnosi s lokalnom zajednicom radi javne isporuke električne energije, ali često znatno kasnije od početka korištenja tih elektrana. Stoga je početna elektrifika-



Slika 12. Mreža Dalmacije 1953. godine



Slika 13. Mreža Slavonije i Baranje 1957. godine

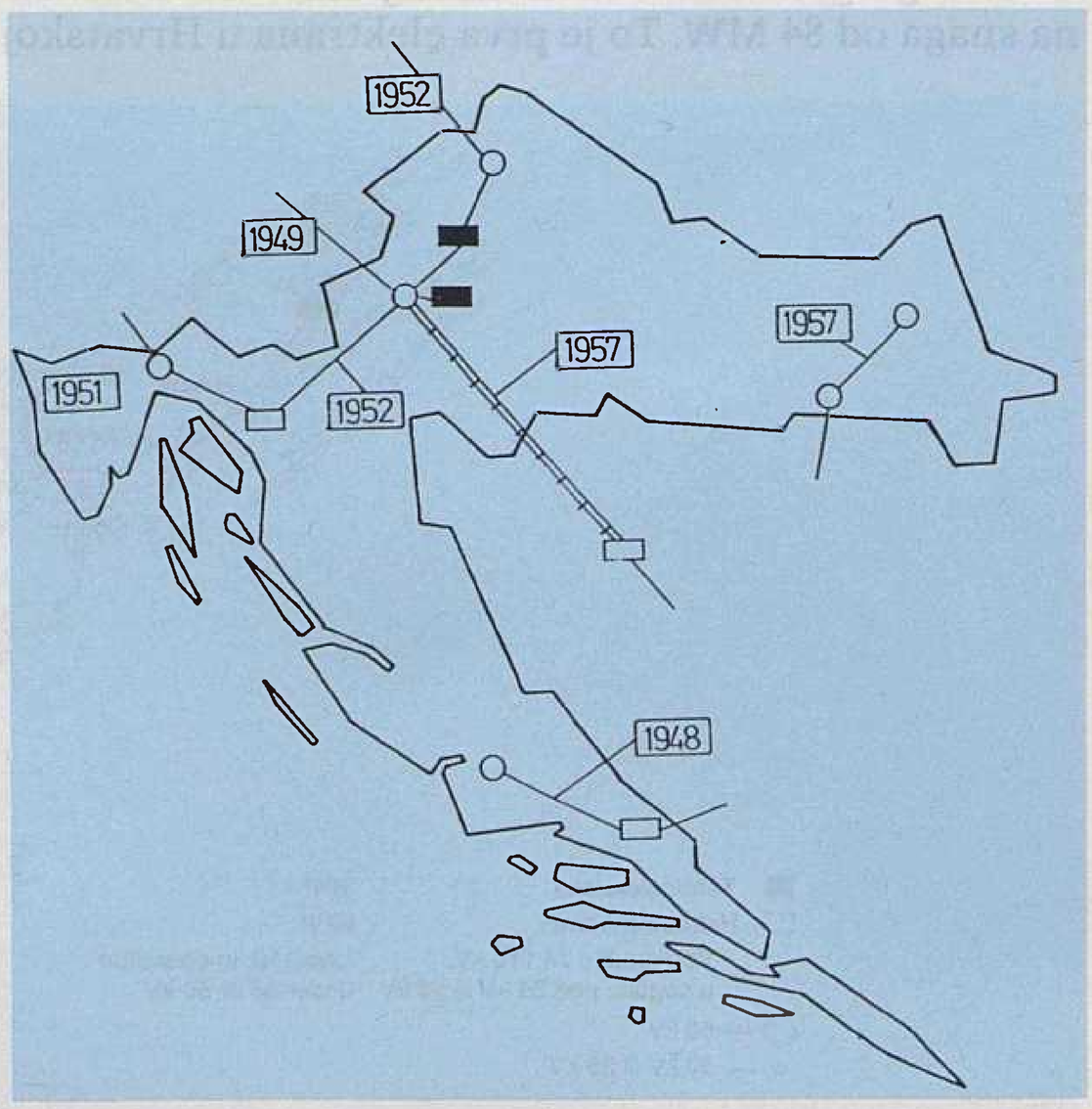
cija promatranih mjesta i ovdje ostvarivana gradnjom lokalnih elektrana. S prestankom ratnih operacija u Drugome svjetskom ratu u Dalmaciji se već u jesen 1944. godine prišlo osposobljavanju mreže, jer su u tom dijelu Hrvatske razaranja bila najveća. Nakon nužnih popravaka i mnogih improvizacija osposobljene su postojeće elektrane i vodovi, a sredinom 1948. godine završen je dalekovod 110 kV, u pogonu s 50 kV, HE Kraljevac–TS Lozovac. Time je stvoren srednjodalmatinski elektroenergetski sustav u kojem su paralelno radile hidroelektrane Kraljevac, Manojlovac i Jaruga. Zatim su građeni vodovi 110 kV Kraljevac–Dugi Rat, Kraljevac–Mostar, pa vod Kraljevac–Split–Šibenik s pripadnim transformatorskim stanicama. Tijekom pedesetih godina napušten je napon 50 kV i nadomješten vodovima 110 kV.

Dakako, otoci duž cijele jadranske obale u početku su odvojeno elektrificirani. Tek u drugoj polovici pedesetih godina uključuju se veći otoci u elektroenergetski sustav srednjonaponskim podmorskim kabelima. Tijekom 1994. godine dovršeno je uključenje tih otoka u sustav na razini 110 kV (»otočna veza«).

U Slavoniji i Baranji povezivanje u regionalni elektroenergetski sustav ostvareno je tek nakon Drugoga svjetskog rata, ponajprije zbog nepostojanja primarnih izvora energije za podmirivanjem veće potražnje. Moralo se uzdržavati stanje uglavnom pojedinačnih, mjesnih elektrana u većim mjestima i ne poticati širenje elektrifikacije. Da se iskoriste na najbolji način, povezane su elektrane u Osijeku, Borovu i Vinkovcima vodovima 35 kV. Povezivanje je počelo 1947. godine, a priključkom TE Županja 1954. godine formiran je mali slavonski elektroenergetski sustav. Okolnosti su se privremeno poboljšale kad je stavljen u pogon vod 110 kV od Doboja do Slavonskog Broda (1956), a zatim do Osijeka (1957) s transformatorskim stanicama 110/35 kV u oba grada.

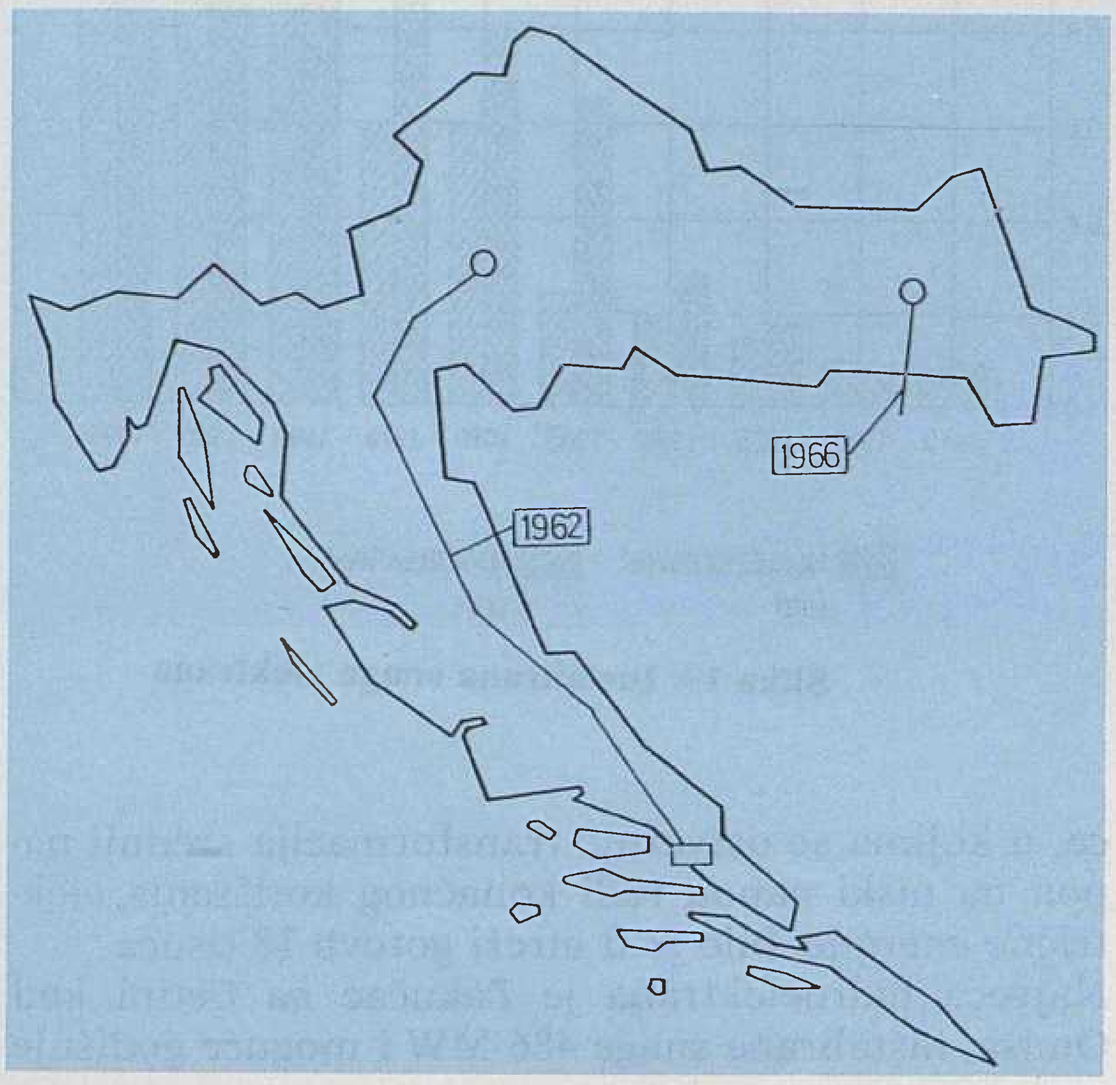
4. FORMIRANJE ZEMALJSKOGA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Elektrifikacija se širila, a opterećenje naglo raslo, pa se ponovno pokazalo da u središnjoj Hrvatskoj manjka električne energije. Kako su se u Bosni pojavili energetski viškovi, odlučeno je da se na trasi Jajce–Zagreb izgradi vod 110 kV s dvije trojke, predviđen za prijelaz na 220 kV. Početkom 1957. godine pod napon je stavljena jedna trojka i odvojeno je napajala novu TS 110/30 kV Resnik. Nakon opsežnih priprema, u prosincu 1957. godine spojeni su u Zagrebu u paralelni rad elektroenergetski sustavi zapadnog i istočnoga dijela države, putem obiju trojka tog 110



Slika 14. Pionirska povezivanja pri naponu 110 kV

kV voda. Time je cijela tadašnja Jugoslavija imala jedinstven elektroenergetski sustav na razini 110 kV. Na razini 110 kV nije postojao jedinstven hrvatski elektroenergetski sustav. On je bio grupiran u tri dijela odijeljena na teritoriju Hrvatske, ali povezana preko Bosne i Hercegovine: slavonski dio, dio koji obuhvaća središnju Hrvatsku s Gorskim kotarom, Hrvatskim primorjem i Istrom, te Dalmacija (uz izdvojeno područje Dubrovnika, vezano vodom 35 kV na hercegovačku mrežu). U to vrijeme u pogon su stavljene HE Gojak (48 MW, 1959. godine) i HE Peruča (42 MW, 1960. godine).

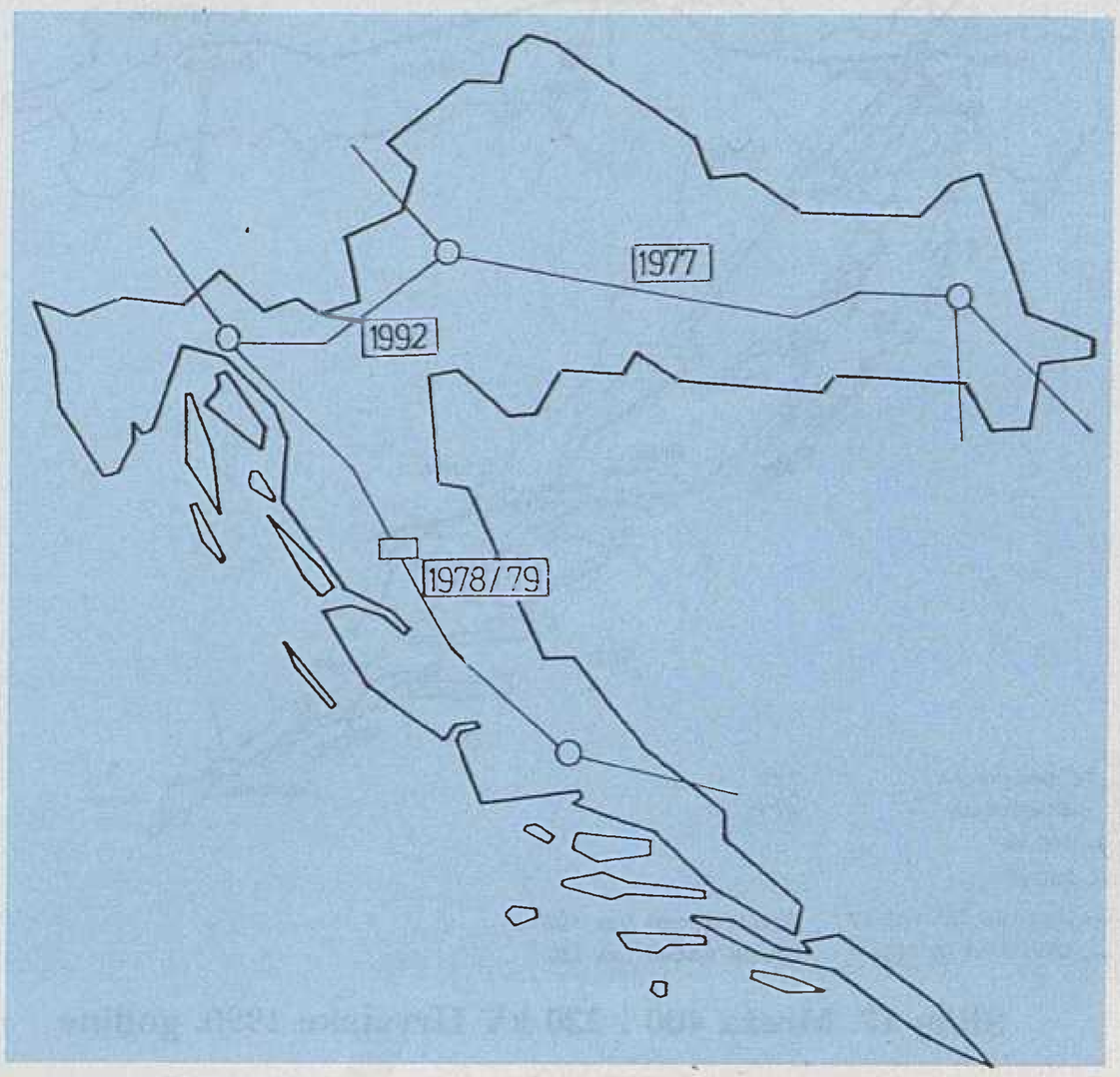


Slika 15. Pionirska povezivanja pri naponu 220 kV

Intenzivni porast potrošnje električne energije upućivao je na skoru potrebu uvođenja superponiranog napona 220 kV. Studije o planiranju jugoslavenske superponirane mreže bile su pedesetih godina vrlo intenzivne. Konačno, 1959. godine odobrena je trasa voda 220 kV Zakučac–Senj (Brinje)–Zagreb duga 354 km. Vod je stavljen u pogon početkom 1962. godine, kad je proradila nova HE Zakučac (prva etapa, 2 × 108 MW). Time su povezani elektroenergetski sustavi Dalmacije i središnje Hrvatske.

Spoj sa Slavonijom na hrvatskom području ostao je samo na razini 35 kV (vod Međurić–Nova Gradiška–Slavonski Brod). TS 220/110 kV Đakovo vezana je 1966. godine na bosansku mrežu jednim vodom 220 kV, a 1972. godine drugim takvim vodom.

Nakon stavljanja u pogon prvog voda 220 kV u Hrvatskoj, mreža 220 kV širila se još idućih deset godina. Zatim stagnira, jer je uvođenjem napona 400 kV na toj naponskoj razini izgrađivana osnovna prijenosna i interkonektivna mreža. Do izgradnje mreže 400 kV, u Hrvatskoj su izgrađene brojne elektrane: 1962. godine TE-TO Zagreb (64 MW), 1965. godine HE Senj (216 MW) i HE Dubrovnik (216 MW), 1968. godine HE Rijeka (37 MW), a 1970. godine HE Sklope (23 MW), TE Plomin (125 MW), TE Sisak (prva etapa, 210 MW), EL-TO Zagreb (prva etapa, 12 MW) i HE Orlovac (237 MW). Od 1974. godine u pogonu je i prva elektrana izgrađena sredstvima Hrvatske izvan područja Hrvatske, TE Tuzla IV (210 MW).



Slika 16. Mreža 400 kV u Hrvatskoj

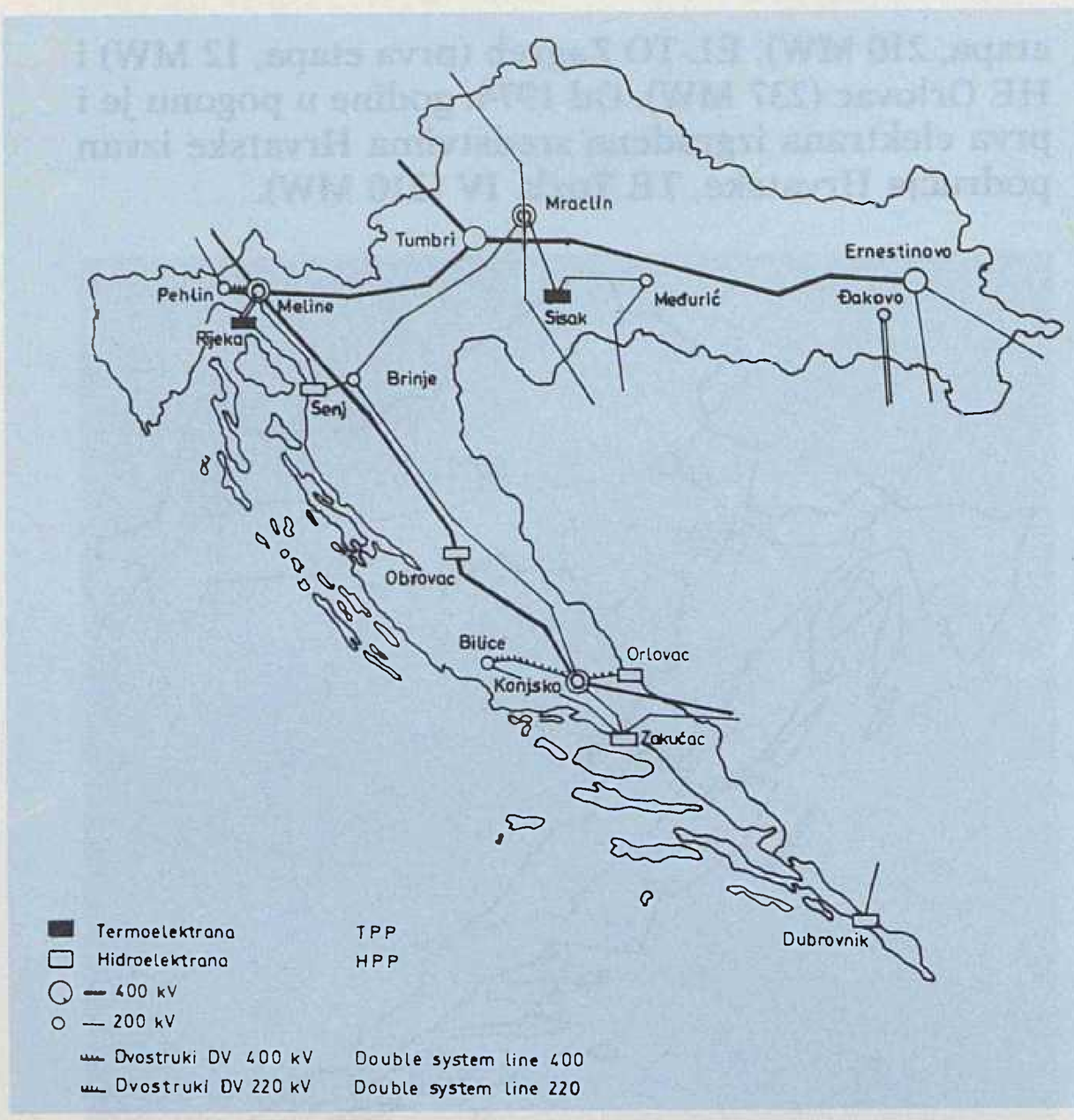
Mreža 400 kV izgrađena je kao prsten koji povezuje sva područja tadašnje Jugoslavije. Vodovi i postrojenja na području Hrvatske samo su dijelovi tog sustava. Prvi terenski radovi na izgradnji mreže 400 kV počeli su 1974. godine. Sjeverna magistralna linija Obrenovac–Ernestinovo (Osijek)–Tumbri (Zagreb)–Maribor stavljena je u pogon sredinom 1977. godine, čime je slavonsko-baranjska mreža povezana sa središnjom Hrvatskom. Južna magistrala, Mostar –Konjsko (Split)–Melina (Rijeka)–Divača (Slovenija) u pogonu je od 1978/79. godine.

5. SADAŠNJE STANJE

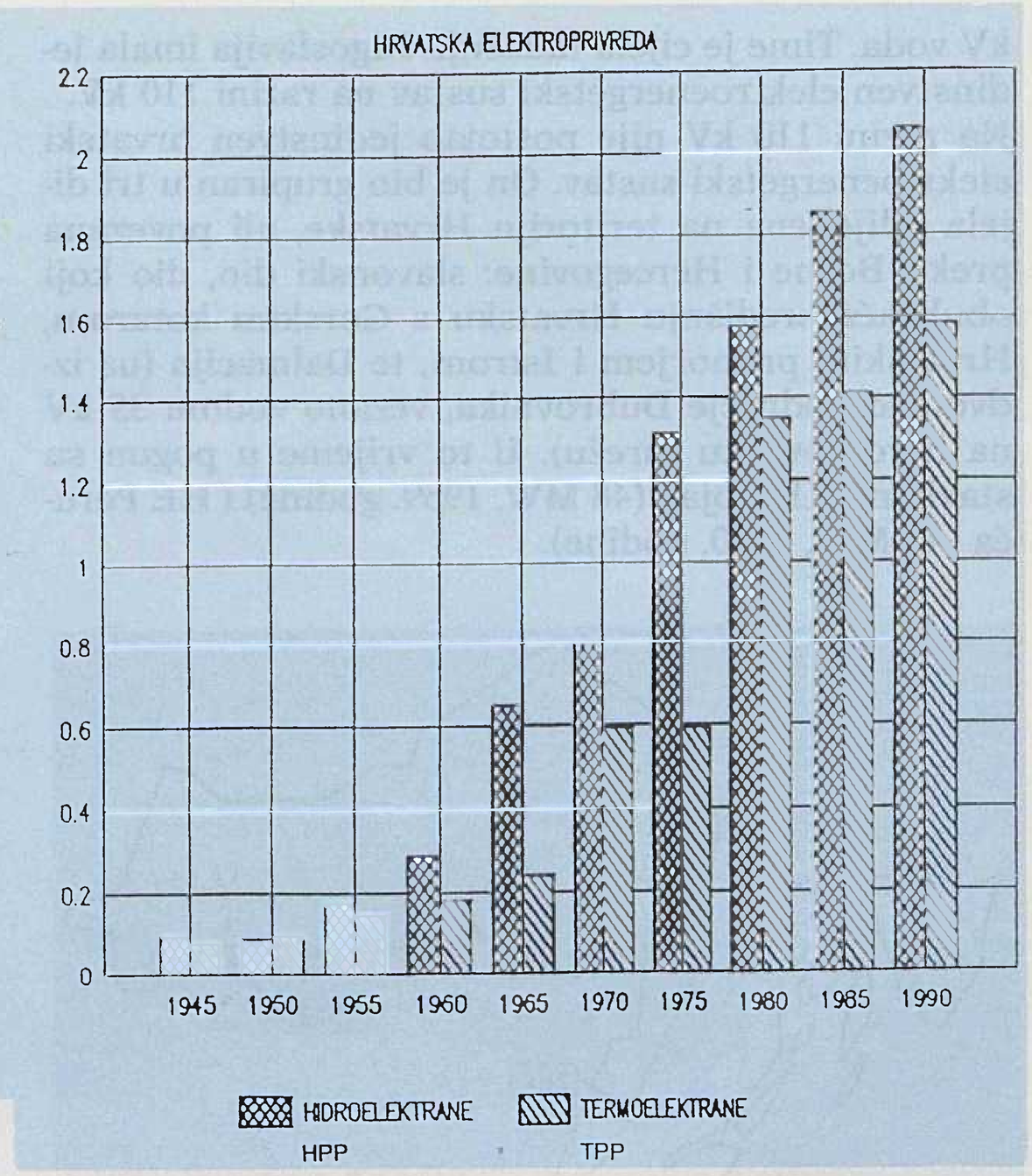
Konačan svoj (sadašnji) oblik, hrvatski elektroenergetski sustav dobio je završetkom izgradnje voda 400 kV Melina–Tumbri 1992. godine. Područje Dubrovnika povezano je 1963. godine na naponskoj razini 110 kV prema Mostaru, a od 1989. godine prema srednjoj Dalmaciji vodovima 110 kV uzduž hrvatskog područja.

Godine 1990. ukupna je bruto-potrošnja električne energije potrošača Hrvatske elektroprivrede bila 14 milijardi kilovatsati, uz vršno opterećenje 2 400 MW. To je oko 3 000 kilovatsati godišnje potrošnje po prosječnom stanovniku, što je na donjem rubu među europskim zemljama (poput Grčke, primjerice) ili polovica od većine razvijenih europskih zemalja (Austrije, Njemačke, Danske).

Instalirana snaga elektrana na području Hrvatske 1990. godine bila je oko 3 300 MW (oko 2 100 MW u hidroelektranama i 1 200 MW u termoelektranama), a elektrana izvan područja Hrvatske izgrađenih sred-



Slika 17. Mreža 400 i 220 kV Hrvatske 1990. godine

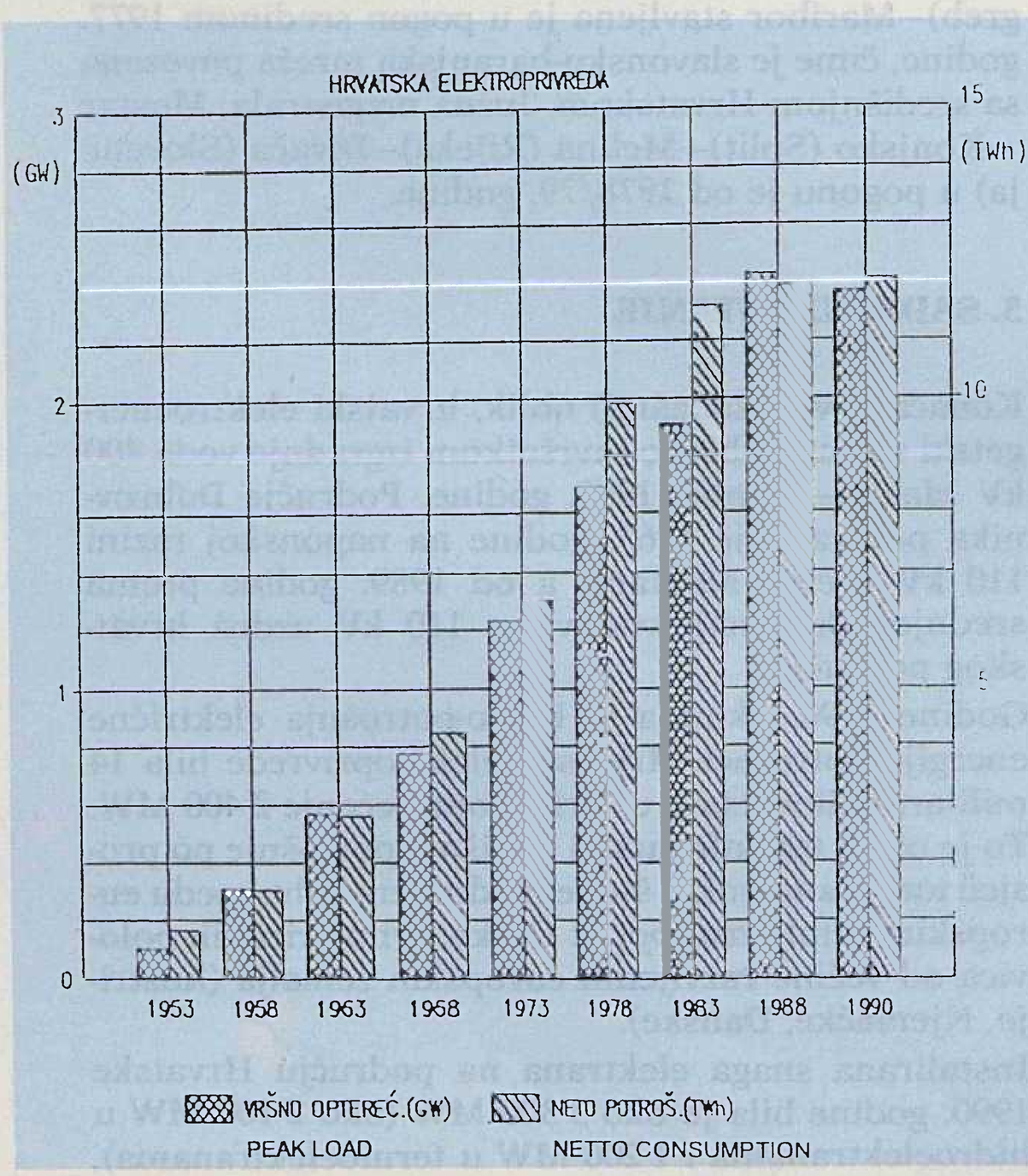


Slika 19. Instalirana snaga elektrana

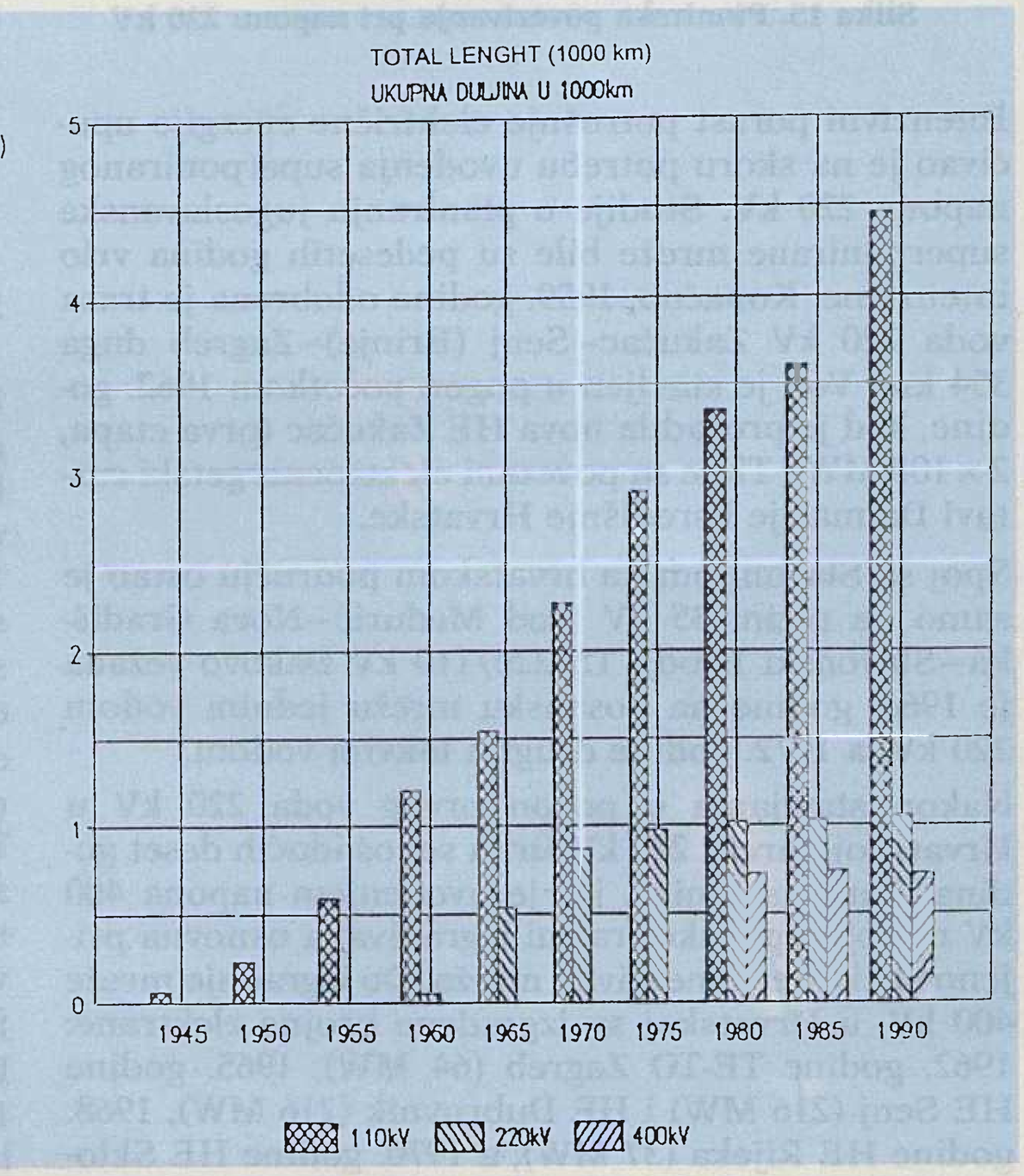
stvima Hrvatske 650 MW (u Bosni i Hercegovini, te Srbiji) i NE Krško (hrvatski dio 332 MW, ukupno dakle oko 4 300 MW.

Duljine vodova u mreži 1990. godine iznosile su: 900 km (400 kV), 1 200 km (220 kV), 4 600 km (110 kV), 4 000 km (35 kV), 24 000 km (10 i 20 kV), te oko 74 000 km (0,4 kV). Distribucijskih transformatorskih stanica, u kojima se ostvaruje transformacija srednji napon na niski napon radi konačnog korištenja električne energije, bilo je u mreži gotovo 18 tisuća.

Najveća hidroelektrana je Zakučac na Cetini kod Omiša, instalirane snage 486 MW i moguće godišnje



Slika 18. Vršno opterećenje i godišnja potrošnja



Slika 20. Vodovi visokog napona

proizvodnje (uz 70 postotnu vjerojatnost dotoka vode) oko 1,4 milijarde kilovatsati — u takvim hidrološkim prilikama ta bi hidroelektrana namirila desetinu hrvatskih potreba. Sljedeće velike hidroelektrane jesu: CAHE Obrovac, HE Orlovac, HE Senj i HE Dubrovnik, svaka snažnija od 200 megavata.

Najveća termoelektrana je TE Sisak, raspoložive snage 410 MW, kojoj je gorivo loživo ulje ili prirodni plin, kao i većini naših termoelektrana. Sljedeće velike termoelektrane su u Rijeci (320 MW), Zagrebu (160 MW) i Plominu (100 MW).

Procjenjuje se da je u ratu 1991/92. godine ratnim razaranjima ili privremenom okupacijom više ili manje devastirano oko trećina prijenosne i distribucijske mreže Hrvatske elektroprivrede i petina elektrana, što, dakako, nije ravnomjerno raspoređeno na čitavom državnom teritoriju. Primjerice, u prijenosnoj mreži Slavonije i Baranje raspolaže se približno trećinom mirnodopskih mrežnih kapaciteta, a tim kapacitetima opskrbljuje se više od dvije trećine mirnodopske potražnje električne energije. To, dakako, uz naglašeno smanjenu pouzdanost i prigušenu kvalitetu električne energije.

Na kraju, istaknimo nezaobilaznu činjenicu koja ovim radom nije istraživana, a čije bi kvalificiranje i kvantificiranje bilo zanimljivim predmetom istraživanja: udjel doista velikoga broja naših ljudi u zamišljanju, osnivanju, projektiranju, izradbi opreme, građenju, montaži, pogonu i održavanju pionirskih i svih sljedećih elektrifikacijskih pothvata, što je tim ljudima bio ili i sada jest životni poziv u stoljeću javne elektrifikacije u nas.

Tablica 1. Počeci javne elektrifikacije u većim mjestima Slavonije i Baranje

God.	Mjesto	Izvor elektrifikacije	Vr.	Generator		
				Pog.	kVA (kW)	Vrs.
1891.	Đurđenovac	Pilana	M	PS	120	ist
1909.	Vukovar	Općin. priklj. na Kudjeljaru	M	PS	400	trf
1910.	Beli Manastir	Centralna mljekara	M	...	65	trf
1910.	Našice	Munjara	J	PS	64	ist
1912.	Požega	Gradska munjara — Električna centrala Kuzmica	J	VT	295	trf
				DM	155	trf
1921.	Đakovo	Klaonica	M	PS	20	ist
1924.	Valpovo	Vlastelinska munjara (mlin)	M	PS	20	ist
1926.	Osijek	Osječka munjara i tramvaj	J	PT	2 200	trf
1927.	Slatina	Električna centrala	J	DM	80	trf
1927.	Slavonski Brod	Grad. električna centrala — iz Tvornice vagona i mostova	M	PT	2 850	trf
				PS	300	trf
1929.	Orahovica	Električna centrala	J	MU	35,5	trf
1929.	Vinkovci	Gradska elektrana	J	DM	140	trf
				MU	220	trf
1932.	Borovo	Kombinat gume i obuće	M	PT	1 100	trf
				PS	150	trf
1938.	Donji Miholjac	Žitarska zadruga (mlin)	J	PS	50	trf
1950.	Županja	Šećerana	M	PT	3 000	trf
				DM	50	trf

Legenda
God. početna godina korištenja
Vr. vrsta elektrifikacije
J iz javno korištene elektrane
M iz mješovito korištene elektrane
Pog. vrsta pogonskog stroja
DM dizelski motor
MU motor na upojni plin
PS parni stroj
PT parna turbina
VT vodna turbina
Vrs. vrsta struje generatora
ist istosmjerna struja
trf trofazna struja
Snaga je iskazana u kVA (generator izmjenične struje), odnosno kW (generator istosmjerne struje).

Tablica 2. Počeci javne elektrifikacije u većim mjestima središnje Hrvatske

God.	Mjesto	Izvor elektrifikacije	Vr.	Generator		
				Pog.	kVA (kW)	Vrs.
1893.	Čakovec	Mlin i munjara	M	PS	...	ist
1895.	Varaždin	I. hrv. varažd. d.d. za el. rasvj.	J	PS	150	jf
1906.	Pakrac	El. centrala trgovišta Pakrac	J	MU	68	ist
1907.	Daruvar	Općin. priključak na Pivovaru	M	PS	18	ist
1907.	Sisak	Gradska munjara	J	PS	130	ist
1907.	Zagreb	El. centrala grada Zagreba	J	PS	865	trf
				PS	200	ist
1908.	Karlovac	Munjara gr. Karlovca – HE Ozalj	J	VT	1 500	trf
1908.	Ozalj	HE Ozalj — priključak za Ozalj	J			trf
1909.	Novska	Munjara Novska	J	VT	10	ist
1911.	Petrinja	Gradska munjara	J	DM	138	ist
1912.	Križevci	Gradska munjara	J	DM	150	ist
1912.	Topusko	Električna centrala Topusko	M	DM	60	ist
1913.	Nova Gradiška	Općinska munjara	J	DM	130	ist
1914.	Ivanić-Grad	Centrala Hubeny	J	DM	27	ist
1919.	Virovitica	Munjara d.d.	J	DM	55	trf
1924.	Glina	Općinska munjara	J	DM	90	trf
1924.	Ogulin	Električna centrala d.d.	J	MU	50	trf
1925.	Jastrebarsko	Općinska električna centrala	J	DM	75	trf
1925.	Koprivnica	Gradska plinara i munjara	J	MU	35	trf
1925.	Kutina	Munjara Hafner	J	DM	25	trf
1926.	Krapina	Gr. elektr. — priključak na ugljenokop	J			trf
1926.	Sv. Ivan Zelina	Munjara S. Pucek	J	PS	75	trf
1928.	Zlatar	Električna centrala Zlatar	J	VT	19	trf
1929.	Đurđevac	Braunov mlin	M	PS	400	trf
1931.	Slunj	Elektrana Slunj	J	VT	25	trf
1934.	Hrv. Kostajnica	Centrala I. Čavlina	J	PS	42	trf
1938.	Bjelovar	Priključak na GEC	J			trf

Legenda
God. početna godina korištenja
Vr. vrsta elektrifikacije
J iz javno korištene elektrane, mreže
M iz mješovito korištene elektrane
Pog vrsta pogonskog stroja
DM dizelski motor PS parni stroj
MU motor na upojni plin VT vodna turbina
Vrs. vrsta struje generatora
ist istosmjerna struja
jf jednofazna struja
trf trofazna struja
Snaga je iskazana u kVA (generator izmjenične struje), odnosno kW (generator istosmjerne struje).

Tablica 3. Počeci javne elektrifikacije u većim mjestima Istre

God.	Mjesto	Izvor elektrifikacije	Vr.	Generator		
				Pog.	kW	Vrs.
1889.	Vodnjan	El. centrala Marchesi & Compani	M	PS	25	ist
1898.	Brijuni	Posjed Paul Kupelwieser	M	PS	25 KS	ist
1904.	Pula	Elektrana	J	MU	150	ist
1926.	Buje	Priključak na EES	J			trf
1926.	Buzet	Priključak na EES	J			trf
1928.	Pazin	Priključak na EES	J			trf
1928.	Poreč	Priključak na EES	J			trf
1928.	Rovinj	Priključak na EES	J			trf
1931.	Labin	Priključak na EES	J			trf

Legenda
God. početna godina korištenja
EES elektroenergetski sustav
Vr. vrsta elektrifikacije
J iz javno korištene elektrane, mreže
M iz mješovito korištene elektrane
Pog. vrsta pogonskog stroja
MU motor na upojni plin
PS parni stroj
Vrs. vrsta struje generatora
ist istosmjerna struja
trf trofazna struja
Snaga je iskazana u kW (generator istosmjerne struje), odnosno KS (snaga pogonskog stroja).

Tablica 4. Počeci javne elektrifikacije u većim mjestima na području Hrvatskog primorja, Gorskog kotara i Like

God.	Mjesto	Izvor elektrifikacije	Vr.	Generator		
				Pog.	kVA (kW)	Vrs.
1892.	Rijeka	TE Rijeka	M	PS	360	jf
1894.	Bakar	Općinska javna HE i TE	J	V+P	6,5	ist
1896.	Opatija	TE Punta Colova	J	PS	250	trf
1902.	Rab	DE Rab	J	DM	27	ist
1910.	Mali Lošinj	TE Mali Lošinj – Sv. Martin	J	PS	395	trf
1924.	Cres	Privatna TE za javne potrebe	J	PS	(25)	izm
1925.	Gospić	TE Gospić	J	MU	45	trf
1925.	Omišalj (o. Krk)	DE Omišalj – Općinska elektrana	J	DM	27	trf
1927.	Crikvenica	Privatna el. za javne potrebe	J	DM	200	trf
1927.	Delnice	HE Zeleni Vir – Skrad	J	VT	1 020	trf
1928.	Senj	DE Senj	J	DM	70	trf
1928.	Tit. Korenica	HE Plitvička jezera (Kozjak)	M	VT	70	trf
1930.	Otočac	DE Otočac	J	DM	25	trf
1931.	Vrbovsko	Privatna TE (tvorn. i pilana)	M	PS	125	ist
1936.	Gračac	DE Ložionica JDŽ	M	M+P	225	trf
1944.	Čabar	HE Čabar	J	VT	35	trf
1949.	Donji Lapac	TE DIP Donji Lapac	M	PS	...	trf

Legenda

God. početna godina korištenja

Vr. vrsta elektrifikacije
- J iz javno korištene elektrane
- M iz mješovito korištene elektrane

Pog. vrsta pogonskog stroja
- DM dizelski motor
- MU motor na upojni plin
- M+P motor na upojni plin i parni stroj
- PS parni stroj
- VT vodna turbina
- V+P vodna turbina i parni stroj

Vrs. vrsta struje generatora
- ist istosmjerna struja
- izm izmjenična struja
- jf jednofazna struja
- trf trofazna struja

Snaga je iskazana u kVA (generator izmjenične struje), odnosno kW (generator istosmjerne struje).

LITERATURA

[1] B. MARKOVČIĆ i dr.: »Razvoj elektrifikacije Hrvatske«, I. dio. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1984.

[2] B. MARKOVČIĆ i dr.: »Razvoj elektrifikacije Hrvatske«, II. dio. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.

[3] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima«, prvi svezak, drugo izdanje. Informator, Zagreb, 1983.

[4] ... Slavonija 1980. Privredna komora Slavonije i Baranje, Osijek 1980.

[5] I. KARAMAN: »Privreda i društvo Hrvatske u 19. stoljeću«. Školska knjiga, Zagreb, 1972.

[6] ... Elektroslavonija Osijek 1926–1976. Osijek, 1977.

[7] F. POTREBICA: »Razvoj elektrifikacije i plinofikacije u Požeškoj kotlini«. Slavonska Požega, 1988.

[8] ... Elektrifikacija grada Osijeka. Hrvatski štamparski zavod d.d., Podružnica Osijek, 1926.

[9] M. KALEA: »25 godina prijenosa električne energije u Slavoniji i Baranji«. Energija 5 – 6/1982.

[10] ... 75 godina elektrifikacije Vukovara 1909 – 1984. Elektroslavonija, Osijek, 1984.

[11] S. JURČIĆ: »Elektrifikacija u Slavonskoj Požegi 1912 – 1962.«. Historijski arhiv, Slavonska Požega, 1963.

[12] Statistički ljetopis Hrvatske 1994. Državni statistički zavod, Zagreb, 1995.

[13] I. DERONJA i dr.: »Elektroistra 1900 – 45; 50 – 1990.« Elektroistra, Pula, 1990.

[14] G. RADOSSI: »Atti-centro di riceche storiche — Rovigno«. Volume XIII. 1982/83. Stemi di Dignano, str. 377.

[15] ... Povijest Rijeke. SO Rijeka, ICR, Rijeka, 1988.

[16] ... Historijski arhiv Rijeka, dokumentacija Kotarskog tehničkog ureda Sušak, 1844 – 1945. god., Gradskih građevinskih ureda Sušak, Tehničkih ureda grada Rijeka i pokrajinskih ureda u Rijeci (Ju 48, 49, 50, 51), Dokumentacija magistrata Rijeka (Ju 2), 1852 – 1945. godine

[17] ... Monografija Fužine 1985. godine. Urednik dr. Neda Kauzlarić-Andrić. Izdavač: Odbor za proslavu 200 godina škole Fužine, 1985.

[18] ... Monografija HE »Nikola Tesla« 1952 – 1977. godine. Tribalj, 1977.

[19] ... Monografije Distributivnog poduzeća »Elektroprimorje« Rijeka 1947 – 1972, 1977 – 1987.

[20] ... Monografije Distributivnog poduzeća »Elektrolika« Gospić 1956 – 1981, 1956 – 1986.

[21] ... Energija i energetičari zajednice općina Rijeka. Dr. Zmagoslav Prelec, Rijeka, 1986.

[22] ... Riječko školstvo 1848 – 1918. godine. Dr. Milivoj Čop, ICR Rijeka, 1988.

[23] ... Monografija INA Rijeka 1882 – 1972, 1882 – 1982.

[24] ... Monografija Tvornice papira Rijeka, Sušak, 1821 – 1971.

Tablica 5. Počeci javne elektrifikacije u većim mjestima Dalmacije

God.	Mjesto	Izvor elektrifikacije	Vr.	Generator		
				Pog.	kVA (kW)	Vrs.
1894.	Zadar	El. centrala Zadar	J	PS	100	ist
1895.	Šibenik	HE Krka, A. Šupuk i sin	J	VT	320	2jf
1901.	Dubrovnik	El. centrala Dubrovnik	J	PS	150 KS	trf
(1907)	Benkovac	Mlinica Novaković	M	VT	...	...
1915.	Drniš	Priklj. na HE Roški slap	M	VT	1 000	trf
1920.	Split	Zakup dijela HE Majdan	M	VT	(100)	trf
1923.	Sinj	Elektrana Sinj soj	J	MU	50 KS	trf
1925.	Hvar	Općinsko elektr. poduzeće	J	DM	25	ist
1927.	Omiš	Priključak na EES	J			trf
1927.	Selca (o. Brač)	Klesarska zadruga	M	DM	36	trf
1928.	Cavtat	Električna centrala	J	DM	24	trf
1929.	Knin	Društvo »Tihomir« soj	J	DM	25 KS	trf
1929.	Korčula	Gradska elektrana	J	DM	80	trf
1930.	Biograd na moru	Općinska elektrana	J	DM	20	trf
1930.	Makarska	Gradska elektrana	J	DM	84	trf
1930.	Obrovac	Općinska elektrana	J	DM	26	trf
1931.	Komiža (o. Vis)	Općinsko el. poduzeće	J	DM	40	trf
1931.	Milna (o. Brač)	Općinska el. centrala	J	DM	45 KS	trf
1932.	Starigrad (o. Hvar)	...	J	DM	27	trf
1937.	Trpanj	Općinska elektrana	J	DM	25	trf
(1938)	Lastovo	Privatna elektrana	J	DM		ist
(1939)	Vrgorac	Mlin J. Martinec	M	DM	9	trf
1940.	Metković	Općinska elektrana	J	DM	40	trf
1945.	Imotski	Elektrodalmacija	J	DM	100 KS	trf
1946.	Pag	Općinska elektrana	J	DM	120	trf

Legenda

God. početna godina korištenja
EES elektroenergetski sustav
Vr. vrsta elektrifikacije
- J iz javno korištene elektrane, mreže
- M iz mješovito korištene elektrane

Pog. vrsta pogonskog stroja
- DM dizelski motor
- MU motor na upojni plin
- PS parni stroj
- PT parna turbina
- VT vodna turbina

Vrs. vrsta struje generatora
- ist istosmjerna struja
- jf jednofazna struja
- 2jf dva puta jednofazno
- trf trofazna struja

Snaga je iskazana u kVA (generator izmjenične struje), odnosno kW (generator istosmjerne struje), iznimno u KS (pogonski stroj).

[25] ... Monografija 125 godina Plinare, Rijeka, 1977.
[26] ... 100 godina riječkog Vodovoda, 1885 – 1985.
[27] ... Elektroprivreda Dalmacije (1956) 1966 – 1986. Izdavač isti, Split, 1986.
[28] Grupa autora: »Energija i razvoj«. Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
[29] Grupa autora: »Kraljevac 1912 – 1982«. Zadvarje, 1983.
[30] J. STANIĆ GRIŠA: »Na izvorima povijesti omiške, poljičke i krajiške općine 1911 – 1941«. Institut za historiju radničkog pokreta Dalmacije, Omiš, 1972.
[31] J. STANIĆ GRIŠA: »Radnički pokret i socijalistička revolucija na području Omiša 1900 – 1950«. Knjiga prva, Institut za historiju radničkog pokreta Dalmacije, Split, 1981.
[32] J. STANIĆ GRIŠA: »Radnički pokret i socijalistička revolucija na području Omiša 1900 – 1950«. Knjiga druga, Institut za historiju radničkog pokreta Dalmacije, Split, 1983.
[33] Grad Split 1927. Autor i izdavač nepoznati
[34] Trgovačko-industrijska komora Split; zapisnici 1934. i 1937.
[35] Isto; zapisnik 26. 4. 1937.
[36] P. i N. JUTRONIĆ: »Elektrifikacija otoka Brača i srednjodalmatinskih otoka«. Brački zbornik 2, 1954.
[37] Pravilnik ZBH Zadruge iz 1937. godine. Brački zbornik, 1994.
[38] Grupa autora: »Elektrifikacija u službi napretka«. Izdavači: OSIZ potrošača i Elektrojug, Dubrovnik, 1981.
[39] MARKOVIĆ: »Elektrifikacija Dubrovnika od 1898. do 1941. godine«. Dubrovnik, 1979.
[40] ŠUNDRICA, RADETIĆ: »Šezdeset godina elektrike u Dubrovniku«. Energija 11–12/1960.
[41] ... Elektrodalmacija Split 1924 – 1974, monografija
[42] ... Elektrodalmacija Split 1924 – 1984, monografija
[43] BUDANKO: »Mreža 110 kV, snabdijevanje srednje i južno dalmatinskih otoka električnom energijom«. sv. I. Institut za elektroprivredu. Zagreb, 1969.
[44] BUDANKO: »Elektroenergetsko rješenje i perspektivna električna mreža 110 i 35 kV otoka srednjeg i južnog Jadrana«. Elektroprenos Split, 1970.
[45] Grupa autora: »80 godina HE na Krki i Zrmanji«. Vlastito izdanje, 1986.

[46] Grupa autora: »OOUR Elektroprenos Split 1956 – 1976«. Vlastito izdanje, 1976.
[47] Grupa autora: »Hidroelektrana Split«. Dalmatinske Hidroelektrane Split, 1962.
[48] TRAVIRKA i suradnici: »Povijest javne rasvjete i elektrifikacije grada Zadra«. Zadar, 1994.
[49] E. MIHALEK: »Polaganje, održavanje i popravak podmorskih energetskih kabela (Tablični dio)«. Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
[50] ... 90 godina prve žarulje u Zadru. Elektra-Zadar, 1985.

FIRST UNDERTAKING OF PUBLIC ELECTRIFICATION IN CROATIA

In the paper the data on first electrification of bigger places in Croatia are presented and they have been realised by public or combined usage of plants and network. A review of electrification is done by Croatian regions, that have their specific historical, natural and economic characteristics, so that electrification was realised in different circumstances and different possibilities: in Slavonia and Baranja, in central Croatia, Istria, Hrvatsko primorje, Gorski kotar, Lika and Dalmatia. In these regions the first local and regional networks have been created. First steps have been done at the beginning of the nineties of the last century, the electrification in half of the towns considered, began between 1923 and 1932. Common work in a national system was realised at the end of fifties, but the whole territory was not included until the end of the seventies.

BAHNBRECHENDES UNTERFANGEN DER ÖFFENTLICHEN ELEKTRIFIZIERUNG IN KROATIEN

Gegeben sind in der Arbeit Angeben über die Unterfangen welche zu der anfänglichen Elektrifizierung größerer Ortschaften im Gebiet des heutigen Kroatiens geführt haben und mittels öffentlicher oder gemischter Nutzung von Kraftwerken und Netzen verwirklicht wurden. Dargestellt sind die Elektrifizierungsanfänge Kroatiens nach Regionen: Slawonien und Baranya, Mittelkroatien, Istrien und kroatisches Küstenland, kroatischer Berggau (»Gorski kotar«), Lika und Dalmatien, weil ihre eigentümlichen geschichtlichen, naturhistorischen und wirtschaftlichen Merkmale zur Elektrifizierung unter verschiedenen Bedingungen und nach unterschiedlichen Möglichkeiten geführt haben. Innerhalb deren sind auch die ersten lokalen und Regionalen Netze enstanden.
Obwohl die ersten diesbezüglichen Unterfangen am Anfang der 90-er Jahre des 19. Jahrhunderts stattgefunden haben, fing beinahe in einer Hälfte der in Betracht gezogener Ortschaften die Elektrifizierung erst in der Zeitspanne vom Jahr 1923 bis zum Jahr 1932 an. Eine gemeinsame Verwaltung der Versorgung des Landes ist Ende der fünfziger Jahre zustandegekommen, aber ohne Koppelung in ein Versorgungssystem; das geschah auch am Ende der 70er Jahre.

Naslov pisaca:

Marijan Kalea, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos
PrP Osijek
31000 Osijek, Šet. kard. F. Šepera 1
Hrvatska

Boris Markovčić, dipl. ing.
10000 Zagreb, Vojnovićeva 26
Hrvatska

Ivan Deronja, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
DP »Elektroistra« Pula
52000 Pula, Vergerijeva 10
Hrvatska

Zlatko Plander, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Proizvodno područje HE Rijeka
51000 Rijeka, Kružna 8,
Hrvatska

Karlo Ožegović, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Prijenosno područje Split
21000 Split, Drvarska 5
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995–11–12

DALEKOVOD d.d.

DALEKOVOD DANAS

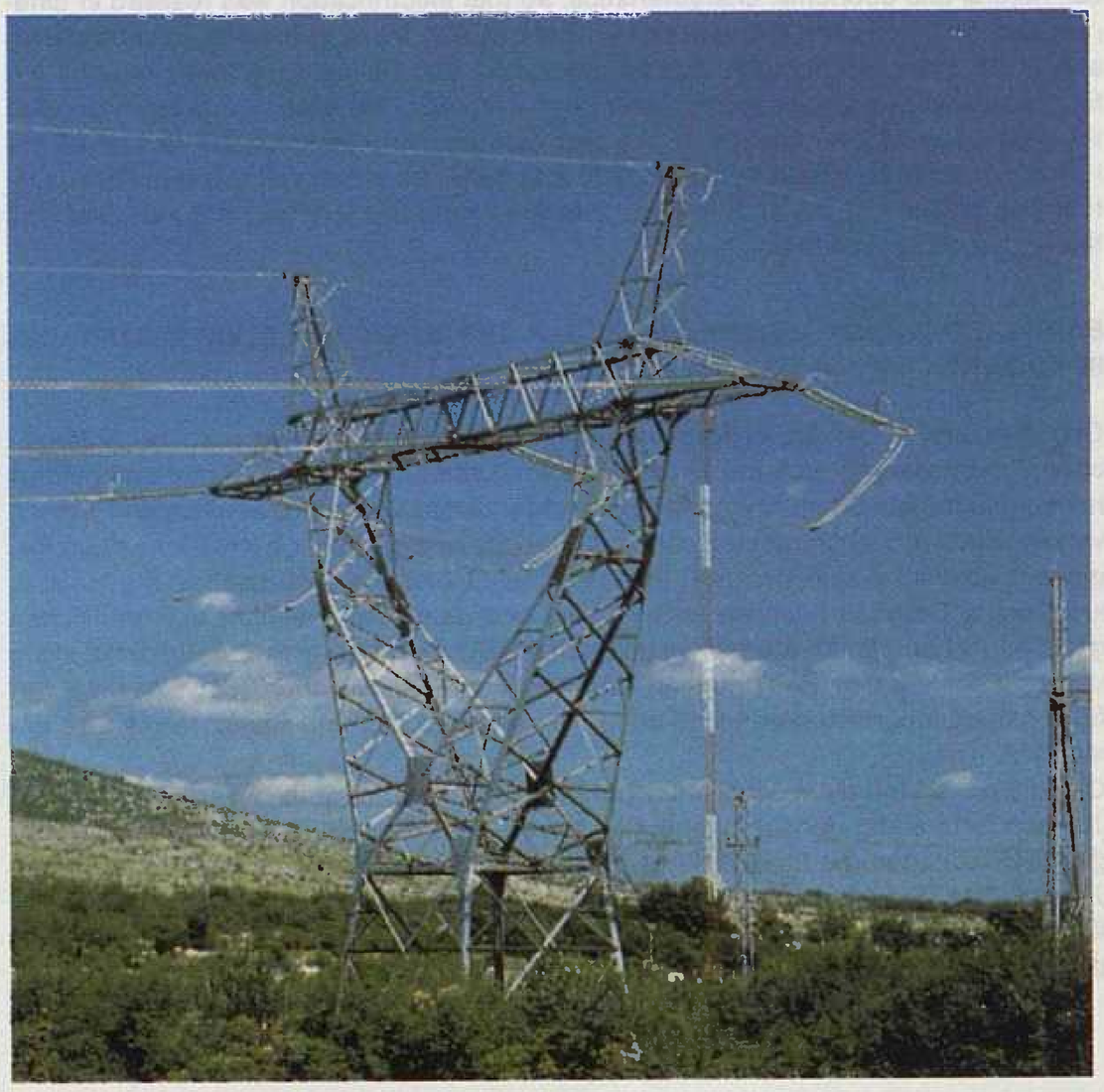
DALEKOVOD je dioničko društvo za inženjering, proizvodnju i gradnju. Za potrebe svog poslovanja utemeljio je:
— Tvrtku DALCOM sa sjedištem u FREILASSINGU — Njemačka
— Tvrtku DALEN sa sjedištem u LJUBLJANI — Slovenija
DALCOM i DALEN rade samostalno, ali s ograničenom odgovornošću.

U sklopu svoje djelatnosti DALEKOVOD projektira, gradi montira i proizvodi:
— distribucijske mreže i vodove napona 0,4 – 500 kV
— trafostanice i rasklopna postrojenja napona 0,4 – 500 kV
— kontaktne mreže za elektrovuču
— polaganje podzemnih i podmorskih energetskih i PTT kabela
— rasvjetu prometnica, športskih i drugih objekata
— portale i nosače aparata za energetske i prometne objekte
— zaštitne i sigurnosne ograde, portale-nosače za prometnu signalizaciju i putokaze na svim prometnicama i autocestama
— čelično-rešetkaste i limene stupove za mreže i vodove napona 0,4 – 500 kV, PTT vodove i kontaktnu mrežu
— ovjesnu i spojnu opremu za mreže, vodove, trafostanice i kontaktnu mrežu
— rasvjetne, reflektorske, antenske i televizijske stupove
— specijalna rješenja za elektroprijenosne i prometne objekte, alate i indukcijske uređaje.

Za sve te djelatnosti, DALEKOVOD ima poznate i priznate dugogodišnje referencije o brzoj i kvalitetnoj gradnji kao i kvaliteti isporučene opreme. DALEKOVOD vrlo uspješno rješava i udovoljava svim zahtjevima projektne odnosno tenderske dokumentacije na domaćem i inozemnom tržištu.

ISO 9001-94

Gotovo da je pola stoljeća rada i uspjeha iza DALEKOVODA, no nedavna potvrda za kvalitetu, dobivenu certifikatom ISO — 9001/94., od renomirane i u svijetu poznate i priznate tvrtke Lloyd's Register iz Londona, označila je za DALEKOVOD novi iskorak u budućnost. Dobiveni standard potvrđuje rad po svjetskim normama u području proizvodnje, nabave, prodaje, završne kontrole, ispitivanja, ugradnje i servisa što sam DALEKOVOD čini tvrtkom visoko kvalitetne proizvodno-uslužne razine.



Lloyd's Register
Quality Assurance

CERTIFICATE OF APPROVAL

This is to certify that the Quality Management System of :

Dalekovod dd Zagreb
Zagreb and Associated Factories, Croatia

has been approved by Lloyd's Register Quality Assurance Limited to the following quality management system standards:

ISO 9001:1994 DIN EN ISO 9001:1994 BS EN ISO 9001:1994

The Quality Management System is applicable to :

Design, manufacture and installation of electric power transmission lines up to 500 kv and telecommunication lines and towers, including steel structures, suspension and jointing equipment. Installation of electric sub-stations up to 500 kv.

This certificate is valid only in association with the certificate schedule bearing the same number on which the locations applicable to this approval are listed.

Approval
Certificate No. 200638

Original Approval : 6th March 1995
Current Certificate : 6th March 1995
Certificate Expiry : 28th February 1998

on behalf of LRQA

The approval is subject to the company maintaining its system to the required standards, which will be monitored by LRQA.

Deutscher AkkreditierungsRat
DAR
TGA-ZQ-002/91

FORM LR1PH (1/94)

Tel.: ++385-1-6125-111, 511-325
Fax: ++385-1-530-606, 511-754
Ulica grada Vukovara 37
10000 ZAGREB — HRVATSKA

Lloyd's Register
Quality Assurance

CERTIFICATE SCHEDULE

Dalekovod dd Zagreb
Zagreb and Associated Factories, Croatia

Locations:	*Activities:*
Zagreb	*Design and company head quarter*
Velika Gorica	*Manufacture and quality management*
Žitnjak	*Installation head quarter*
Vinkovci	*Forging*

Certificate Schedule
Certificate No. 200638

Page 1 of 1

Original Approval : 6th March 1995
Current Certificate : 6th March 1995
Certificate Expiry : 28th February 1998

Deutscher AkkreditierungsRat
DAR
TGA-ZQ-002/91

FORM LR1PI (1/94)

NEKI TEHNIČKI I EKONOMSKI ASPEKTI ZAMJENE GENERATORA PARE U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Josip Lebegner, Zagreb

UD 621.165
PREGLEDNI ČLANAK

Zbog lošeg izbora materijala i neprikladnih tehničkih rješenja generacije vertikalnih parogeneratora napravljenih 70-ih godina, u dijelu nuklearnih elektrana tipa PWR ubrzo je uočena pojava raznih degradacija cijevi parogeneratora. Poduzete sanacije bile su tek privremen pokušaj zaustavljanja korozije, a krajnje rješenje, u posljednje vrijeme sve učestalije, jest zamjena parogeneratora.
U članku su opisana najčešća oštećenja cijevi i njihova sanacija, problemi koji se iskazuju u procesu zamjene, kao i kriteriji koji govore o njezinoj uspješnosti. Uz sažet prikaz svjetskih iskustava te realiziranih i planiranih zamjena, dan je i kraći osvrt na problematiku parogeneratora u NE Krško.

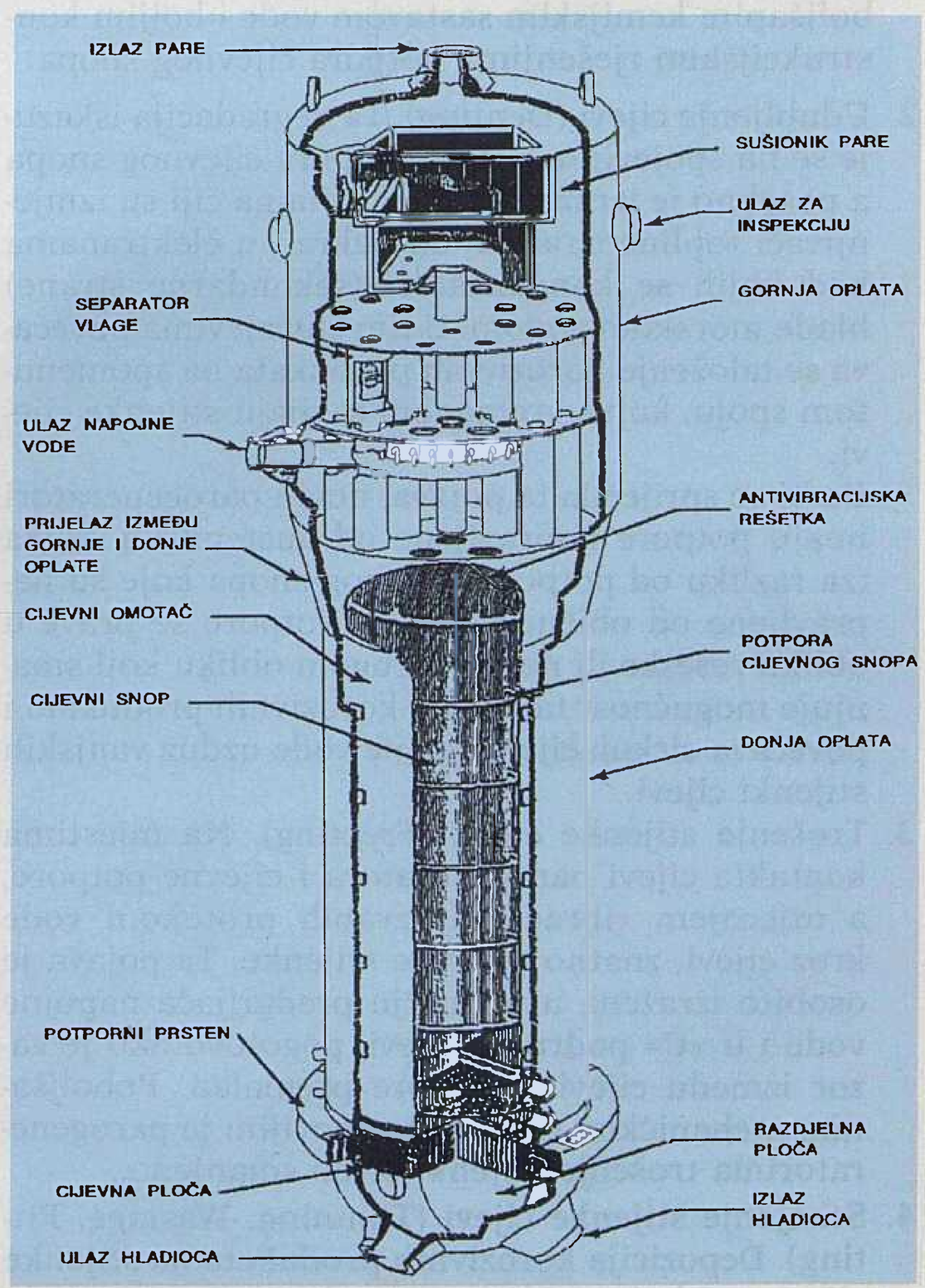
Ključne riječi: parogenerator, zamjena parogeneratora, povećanje snage elektrane

1. UVOD

Više od 35 godina radnog iskustva s nuklearnim elektranama PWR tipa (Pressurized Water Reactor) temelj je široke baze podataka koja se stalno dopunjuje novim informacijama i spoznajama. Unatoč velikoj kompleksnosti nuklearnih postrojenja, danas je postignut visok stupanj pouzdanosti i raspoloživosti nuklearnih elektrana. Ipak, kod velikog broja PWR reaktora posljednjih su godina uočljiviji problemi koji se iskazuju u smanjenoj raspoloživosti, povećanom broju prisilnih obustava, produljenim remontima i neizravno u smanjenoj nuklearnoj sigurnosti. Dakako da su svi ti učinci vidljivi i u cijeni kWh iz takve elektrane.

Uzrok tih poremećaja promatranih u kontekstu ovoga rada u jednoj je od mehanički najsloženijih, ali i najosjetljivijih nuklearnih komponenata — generatoru pare. Generator pare ili parogenerator (slika 1) izmjenjivač je topline u kojem rashladno sredstvo reaktora predaje dio svoje topline, vodi odnosno pari u sekundarnom krugu nuklearne elektrane. Izvedba parogeneratora za PWR tip elektrane danas je dobrim dijelom tipizirana. Kod svake nove serije poboljšava se konstrukcija na osnovi stečenih iskustava u pogonu prethodnih serija.

Zbog neadekvatnog materijala i konstrukcijskih rješenja parogeneratora napravljenih 70-ih godina, pojavljuju se poteškoće, osobito u drugoj dekadi rada elektrane. Ti problemi se iskazuju u raznim mehanizmima korozije koji mogu prouzročiti prodor primarnog hladioca u sekundarni krug i dovesti do neplaniranih obustava rada i time gubitka proizvodnje. Zbog tog razloga, mnoge su elektrane zamijenile parogeneratore nakon desetak godina rada jer troškovi održavanja i gubici proizvodnje nadilaze sredstva potrebna za njihovu zamjenu. Treba dodati da se danas raspolaže takvim zamjenskim parogeneratorima u čijoj proizvodnji su primijenjena nova rješenja i novi materijali, čime su u potpunosti uklonjeni problemi na postojećim modelima.



Slika 1. Parogenerator i osnovni dijelovi

2. GLAVNE VRSTE OŠTEĆENJA PAROGENERATORA I NJIHOVA SANACIJA

Dosadašnje iskustvo u radu s parogeneratorima pokazuje da je glavnina oštećenja rezultat korozije cijevi, ali neke degradacije nastaju i iz drugih razloga, npr. zbog vibracija prouzročenih protokom hladioca. U nastavku su navedeni najčešći mehanizmi koji dovode do oštećenja cijevi parogeneratora.

1. Pukotine nastale korozivnim naprezanjem (SCC — Stress corrosion cracking). Te pukotine pojavljuju se i na primarnoj (unutrašnjoj) i na sekundarnoj, tj. vanjskoj strani cijevi. Pukotine nastale na primarnoj strani izravna su posljedica lošeg izbora materijala pri izradi cijevi (Inconel 600). Budući da su cijevi u cijevnom snopu savijene u obliku slova »U«, na mjestu savijanja pojavljuju se veća naprezanja. Na tim mjestima, nakon jedne ili više godina rada elektrane, a zbog utjecaja korozije, nastaju pukotine, pa se zbog toga cijevi parogeneratora novije generacije izrađuju od Inconela 690TT (Thermally Treated) ili Incoloya 800.
   Pukotine na sekundarnoj strani nastaju zbog korozivnih produkata, soli i raznih nečistoća u napojnoj vodi parogeneratora. Taloženjem nečistoća na cijevima, cijevnim pločama i u šupljinama između cijevi i potpora cijevnog snopa ubrzava se proces korozije, a time i stvaranje pukotina. U novijim parogeneratorima ta se pojava uklanja poboljšanim kemijskim sastavom vode i boljim konstrukcijskim rješenjima potpora cijevnog snopa.
2. Udubljenje cijevi (Denting). Ta degradacija iskazuje se na spojevima cijevi i potpora cijevnog snopa a posebno je izražena u elektranama čiji su izmjenjivači topline izrađeni od bakra i u elektranama kod kojih se kondenzatori (sekundarne strane) hlade morskom vodom. U tim slučajevima povećava se taloženje korozivnih produkata na spomenutom spoju, koji s vremenom savijaju stijenke cijevi.
   Da bi se spriječila ta pojava, noviji parogeneratori imaju potpore napravljene od austenitnih čelika (za razliku od potpora cijevnog snopa koje su napravljene od običnog čelika). Potpore se prave u obliku rešetke ili nekom drugom obliku koji smanjuje mogućnost taloženja korozivnih produkata i povećava cirkulaciju napojne vode uzduž vanjskih stijenki cijevi.
3. Trošenje stijenke cijevi (Freeting). Na mjestima kontakta cijevi parogeneratora i cijevne potpore, a utjecajem vibracija izazvanih protokom vode kroz cijevi, znatno se troše stijenke. Ta pojava je osobito izražena u području predgrijača napojne vode i u »U« području cijevi, pogotovo ako je zazor između cijevi i potpore premalen. Poboljšanim mehaničkim dizajnom u novijim je parogeneratorima trošenje stijenki bitno smanjeno.
4. Stanjenje stijenke cijevi (Thinning, Wastage, Pitting). Depozicija korozivnih produkata na stijenke cijevi uzrokuje pojavu ravnomjerne korozije koja nagriza metal. Ta pojava je posebno izražena ispod nataloženih fosfata. Kod novih parogeneratora, radi eliminacije takvih oštećenja, provodi se redukcija PO_4, godišnje čišćenje kritičnih mjesta, a bitno je poboljšana i kemija napojne vode.
5. Međuzrnata degradacija materijala na sekundarnoj strani cijevi (IGA/SCC Intergranular attack /stress corrosion cracking). U nekim starijim tipovima parogeneratora na spojevima cijevi i cijevne ploče iskazuju se dublje pukotine u kojima se talože nečistoće koje postoje u napojnoj vodi. Nataloženi produkti uzrokuju degradaciju sekundarne strane cijevi. Poboljšanom kemijom napojne vode i eliminacijom šupljina na spojnim mjestima mogu se ukloniti uzroci tih oštećenja.

2.1. Tehnike popravaka oštećenih cijevi

Većina nuklearnih elektrana jednom godišnje — metodom vrtložnih struja (Eddy Current Testing, ECT) — snima stanje cijevi parogeneratora, evaluacijom prati progres degradacije i ovisno o tome poduzima korektivne mjere.
Pošto se detektira oštećena cijev, za njezinu sanaciju primjenjuju se dvije metode:

- čepljenje cijevi (plugging) i
- ugradnja metalnih rukavaca u cijev (sleeving).

Čepljenje. Primjenom ove tehnike oštećene cijevi se izoliraju i stavljaju izvan funkcije. Prvi čepovi bili su zavareni na ulazu i izlazu cijevi, dok se današnji postupci čepljenja obavljaju ugradnjom mehaničkih čepova. Ti čepovi lagano se vade bez oštećenja cijevi, što je prikladno za naknadni povrat začepljenih cijevi u rad, bilo reparaturom ili pak promjenom kriterija čepljenja. Kako se čepljenjem cijevi smanjuje površina za izmjenu topline i protok hladioca, ova tehnika primjenjiva je samo do određene granice začepljenosti. Za NE Krško Westinghouseove analize pokazuju da je rad elektrane pri 18% začepljenosti još uvijek siguran.

Ugradnja rukavaca. Primjena ove tehnike ograničena je na područje spoja »U« cijevi i cijevnog zida te na zonu cijevne potpore. Ugradnja rukavaca postaje nezaobilazna kod parogeneratora s većim brojem oštećenih cijevi, dok je kod parogeneratora s manjim brojem oštećenja, zbog niže cijene i jednostavnije izvedbe, čepljenje cijevi još uvijek primarna tehnika.
Ta metoda je posljednjih godina, zbog korištenja laserskog zavarivanja, doživjela znatna poboljšanja. Njezina današnja primjena nije ograničena samo na cijevi s defektima, već se koristi i u preventivne svrhe na mjestima gdje je moguće očekivati pojavu korozije (područje do treće potporne ploče vruće grane parogeneratora).

Današnja politika čepljenja ima tendenciju zamjene čepova rukavcima gdje je to moguće. Tako sanirane cijevi ponovno se puštaju u rad.

3. CIJENE, TRAJANJE ZAMJENE, PRIMLJENE DOZE

3.1. Cijene

Podaci o ukupnim cijenama zamjene još uvijek nisu u potpunosti dostupni za sve elektrane. Osim toga, i poznate troškove teško je uspoređivati ako se ne poznaju svi elementi koji su u njima sadržani. Orijentacijska cijena izrade i dopreme jednog parogeneratora na lokaciju kreće se u dosta širokom rasponu, između 10 i 30 mio USD, ovisno o zahtjevima koji se postavljaju pred parogenerator. Troškovi same zamjene ovise o broju parogeneratora, carinskim pristojbama, složenosti poslova zamjene, potrebnim dodatnim modifikacijama i drugim okolnostima specifičnim za svaku pojedinu elektranu, tako da se kreću u još širem rasponu.

3.2. Trajanje zamjene

Kao što se vidi iz tablica 1. i 2, posljednjih je nekoliko godina trajanje zamjene bitno smanjeno. Podatak da je parogeneratore moguće zamijeniti za 40 dana sve više govori o zamjeni kao o već rutinskom poslu, osobito ako je izvode tvrtke s velikim iskustvom poput Framatoma i Siemensa. Kako se za vrijeme trajanja zamjene ujedno obavlja i izmjena goriva, kao i brojne druge modifikacije elektrana (osobito ako se želi podići nominalna snaga, o čemu će kasnije biti više riječi), ukupna obustava rada elektrane bitno je duža od same zamjene.

3.3. Primljene doze

Osim toga što je skraćeno trajanje, posljednjih godina bitno su reducirane i kolektivne doze radnika koji rade na poslovima zamjene generatora pare. U odnosu na prve zamjene prije petnaestak godina i primljene doze od 10 i više siverta, danas se primljene doze kreću između 1 i 2 siverta. Treba spomenuti da su apsorbirane doze veće onda kada je mijenjan samo donji dio parogeneratora (tablica 2).
Poboljšanim tehnikama dekontaminacije i boljim planiranjem zamjene te obukom osoblja primljene doze mogu se svesti na minimum.

Tablica 1. Potpuna zamjena parogeneratora

Elektrana	Zemlja	Snaga na pragu, (MWe)	Komercijalni pogon	Broj parog.	Originalni tip parog.	Godina zamjene	Izvođač zamjene[1]	Materijal novih parog.[2]	Ukupni troškovi, (mio USD)	Kolektivna doza, (Čov-Sv)	Trajanje zamjene, dana	Ukupna obustava, dana
Obrigheim	D	340	03/69	2	KWU	1983.	KWU	800	?	6.90	74	103
Indiana Pt 3	SAD	965	08/76	4	W-44	1989.	W + B	690TT	110	5.41	105	139
Ringhals 2	S	800	05/75	3	W-44	1989.	KWU	690TT	130	2.90	72	100
Dampierre 1	F	890	09/80	3	Fra-51 B	1990.	Fra	690TT	104	2.12	70	196
Palisades	SAD	805	12/71	3	C-E 67	1990.	B + KWU	600	100	4.86	93	630
Doel 3	B	900	10/82	3	51 M	1993.	Sim-KWU	800	98	1.96	44	96
Beznau 1	CH	350	12/69	2	W-33	1993.	Sim-Sulzer	690TT	100[3]	1.10	44	98
Bugey 5	F	900	01/80	3	51 A	1993.	Fra	690TT	100	1.52	70	?
Gravellines 1	F	910	12/80	3	51 M	1994.	Fra	690TT	108	1.45	37	101
Mihama 2	J	470	07/72	2	W-44	1993/94.	MHI	690TT	180	?	360	?
Genkai 1	J	529	10/75	2	W-51	1994.	MHI	690TT	?	?	?	?
Takahama 2	J	780	11/75	3	W-51	1994.	MHI	690TT	115 – 150	?	?	?
V. C. Summer	SAD	895	01/84	3	W-D3	1994.	B-W	690TT	140	3.27	38	97
Ohi 1	J	1120	03/79	4	51 A	1995.	MHI	690TT	270[3]	?	?	?
Mihama 1	J	320	11/70	2	C-E	1995.	MHI	690TT	?	?	?	?
Ringhals 3	S	915	09/81	3	W-D3	1995.	Sim-Fra	690TT	117[3]	1.22	65	90
Tihange 1	B	870	10/75	3	51	1995.	Sim-Fra	690TT	240	?	?	91
Asco 1	E	887	09/84	3	W-D3	1995.	Sim-Fra	800	?	?	?	?

[1] B = Bechtel (SAD), Fra = Framatom (F), KWU = Kraftwerk Union (D), MHI = Mitsubishi Heavy Industries (J), Sim = Siemens (D), W = Westinghouse (SAD)
[2] 800 = Incoloy 800, 600 = Inconel 600, 690TT = Inconel 690 Thermally Treated
[3] Procjena troškova prije zamjene

Tablica 2. Djelomična zamjena parogeneratora

Elektrana	Zemlja	Snaga na pragu, (MWe)	Komercijalni pogon	Broj parog.	Originalni tip parog.	Godina zamjene	Izvođač zamjene[1]	Materijal novih parog.[2]	Ukupni troškovi, (mio USD)	Kolektivna doza, (Čov-Sv)	Trajanje zamjene, dana	Ukupna obustava, dana
Surry 2	SAD	788	05/73	3	W-51	1979/80.	Utility	600TT	94	21.41	303	560
Surry 1	SAD	788	12/72	3	W-51	1980/81.	Utility	600TT	94	17.59	209	295
Turkey Pt 3	SAD	666	12/72	3	W-44	1982.	Utility	600TT	90	13.05	210	291
Turkey Pt 4	SAD	666	09/73	3	W-44	1983.	Utility	600TT	90	21.51	183	220
Point Beach 1	SAD	485	12/70	2	W-44	1984.	W	600TT	77	5.76	117	210
HB Robinson 2	SAD	700	03/71	3	W-44	1984.	Utility	600TT	85	12.06	225	349
DC Cook 2	SAD	1060	07/78	4	W-51	1988/89.	U/MKF	690TT	112	5.61	202	330
Millstone 2	SAD	858	12/75	2	Ce-Sys 67	1992.	U/FD	690TT	198	6.97	135	228
North Anna 1	SAD	907	06/78	3	W-51	1993.	B	690TT	130	2.40	51	96
North Anna 2	SAD	907	12/80	3	W-51	1995.	B	690TT	114	1.42	?	68

[1] U/FD = Utility/Flour Daniels (SAD), U/MKF = Utility/MK Ferguson (SAD), W = Westinghouse (SAD)
[2] 600 = Inconel 600, 690TT = Inconel 690 Thermally Treated

4. ISKUSTVA I PLANOVI POJEDINIH ZEMALJA

4.1. SAD

U SAD-u su do sredine 1995. zamijenjeni parogeneratori u 13 NE, a do 2000. godine planira se obaviti zamjena u još 11 nuklearnih elektrana. Od već završenih zamjena u 10 je elektrana zamijenjen samo donji dio s cijevnim snopom (tablica 2), i to su ujedno jedine djelomične zamjene parogeneratora dosad obavljene. Izvođači zamjena bile su američke tvrtke Westinghouse, Bechtel, Flour Daniels i MK Ferguson te kanadsko poduzeće Babcock & Wilcox International. Samo 1992. u Americi je raspisan natječaj za izradu i zamjenu 17 parogeneratora. Narudžbe su dobili Babcock & Wilcox (14) te Westinghouse (3) dok su europski izvođači (Framatom, Siemens, ABB/CE i Austria's Voest Alpine) ostali praznih ruku.

Za SAD je karakteristično da poslove zamjene nadgleda i vodi vlasnik elektrane, što zbog potreba za stalnim kontrolama izvođača i podizvođača radova dovodi do čestih odlaganja i kašnjenja. Uza sve to, glavni izvođač zamjene ima obvezu iskoristiti usluge lokalnih poduzeća i obrtnika čija uvježbanost i motivacija redovito nisu na razini koja bi osigurala poštivanje dogovorenih rokova izvedbe. Za usporedbu, identične modifikacije rađene u jednoj američkoj nuklearci trajale su 10 dana, a u švedskoj NE Ringhals 2 49.5 sati.

Može se izvesti zaključak da je europskim pristupom, prema kojem je elektrana tijekom zamjene pod potpunom kontrolom izvođača, zamjena mnogo produktivnija jer je na taj način osigurana maksimalna stručnost i usklađenost te najkraće trajanje. Ipak, da i u Americi stvari kreću nabolje, govori činjenica da je zbog povećanog broja zamjena i visokih troškova (110 – 130 mio USD po elektrani) 10 elektroprivrednih organizacija 1990. osnovalo Grupu za zamjenu parogeneratora (Steam Generator Replacement Group), čime su uskoro postignute velike uštede, osobito na poslovima planiranja.

4.2. Francuska

Francuska je do 1995. zamijenila 9 parogeneratora u nuklearnim elektranama Dampierre 1, Bugey 5 i Gravellines 1. Namjera Francuske elektroprivrede je svake godine (do 2001) zamijeniti parogeneratore u jednoj nuklearnoj elektrani. Specifična situacija je u skupini 900 MW-nih elektrana iz tzv. CPO serije koje nemaju dovoljno veliki otvor za opremu u kontejnmentu, tako da se planirana zamjena temelji na rezanju generatora pare na dva dijela. Očekivano trajanje takve zamjene iznosi oko 70 dana, dok će zamjene parogeneratora u jednom dijelu trajati oko 40 dana. Redovito je glavni izvođač zamjene francusko poduzeće Framatom.

4.3. Belgija

Godine 1993. u NE Doel 3, nakon 11 godina rada, uspješno je obavljena prva belgijska zamjena parogeneratora. Zamjena je trajala samo 44 dana. Novi parogeneratori imaju 28% veću izmjenjivačku površinu koja je omogućila podizanje snage elektrane 8%. Izrada novih generatora bila je povjerena Siemensu. U drugoj polovici 1995. zamijenjeni su parogeneratori u NE Tihange 1. Paralelno sa zamjenom parogeneratora podignuta je snaga elektrane za 90 MW uz ukupne troškove od 240 mio USD. Tijekom 1996. i 1997. belgijska elektroprivreda planira zamijeniti parogeneratore i u NE Doel 4 i Tihange 3. Izvođač obiju zamjena vjerojatno će biti konzorcij Siemens-Framatom. Zanimljivo je da je ugovor o izradi novih parogeneratora za Tihange 1 sklopljen s japanskim poduzećem Mitsubishi Heavy Industries koje je ponudilo znatno nižu cijenu po parogeneratoru (12 mio USD nasuprot Framatomovih 20 mio USD). Za elektranu Tihange 3 nove parogeneratore će osigurati Westinghouse, a za Doel 4 Framatom.

4.4. Švedska

Švedska je do danas zamijenila parogeneratore u elektranama Ringhals 2 i 3. Ugradnjom novih parogeneratora omogućeno je podizanje snage za 9.5% u NE Ringhals 2 i 10% u elektrani Ringhals 3. Treba spomenuti da je, s obzirom na smještaj parogeneratora unutar zaštitne zgrade i položaj otvora u kontejnmentu kroz koji će se parogeneratori izvući van (15 metara iznad zemlje), tijek zamjene u ovim elektranama dosta sličan očekivanoj zamjeni parogeneratora u NE Krško.

4.5. Španjolska

Španjolska je potkraj 1992. i početkom 1993. godine sklopila ugovore s konzorcijem Siemens-Framatom o izradi 12 parogeneratora za NE Almaraz 1, 2 i Asco 1, 2. Vrijednost ugovora je 240 mio USD. Konzorciju je povjerena i zamjena 6 parogeneratora u elektranama Asco 1 i 2 vrijedna 120 mio USD. U ovom poslu španjolska nuklearna industrija sudjeluje s gotovo 50% radova. Zamjena parogeneratora u dva bloka elektrane Almaraz povjerena je američkoj tvrtki Bechtel. U tu svrhu potpisan je ugovor vrijedan 80 mio USD uz uvjet da na poslovima zamjene, a prema načelu zajedničkog ulaganja sudjeluju i dvije španjolske tvrtke. Do kraja 1995. godine obavljena je zamjena u NE Asco 1, dok će se zamjena parogeneratora u preostala 3 bloka obaviti između 1996. i 1997.

4.6. Njemačka

U Njemačkoj je obavljena prva europska zamjena parogeneratora (Obrigheim, 1983). Nosilac radova bio je KWU, a zamjena je obavljena nakon samo 14 godina rada elektrane. Kako većina elektrana ima »U« cijevi izrađene od Incoloya 800, danas njemačka nuklearna industrija nema toliko problema s degradacijama cijevi jer se ovaj materijal pokazao mnogo otpornijim na koroziju od Inconela 600.

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 255 – 261

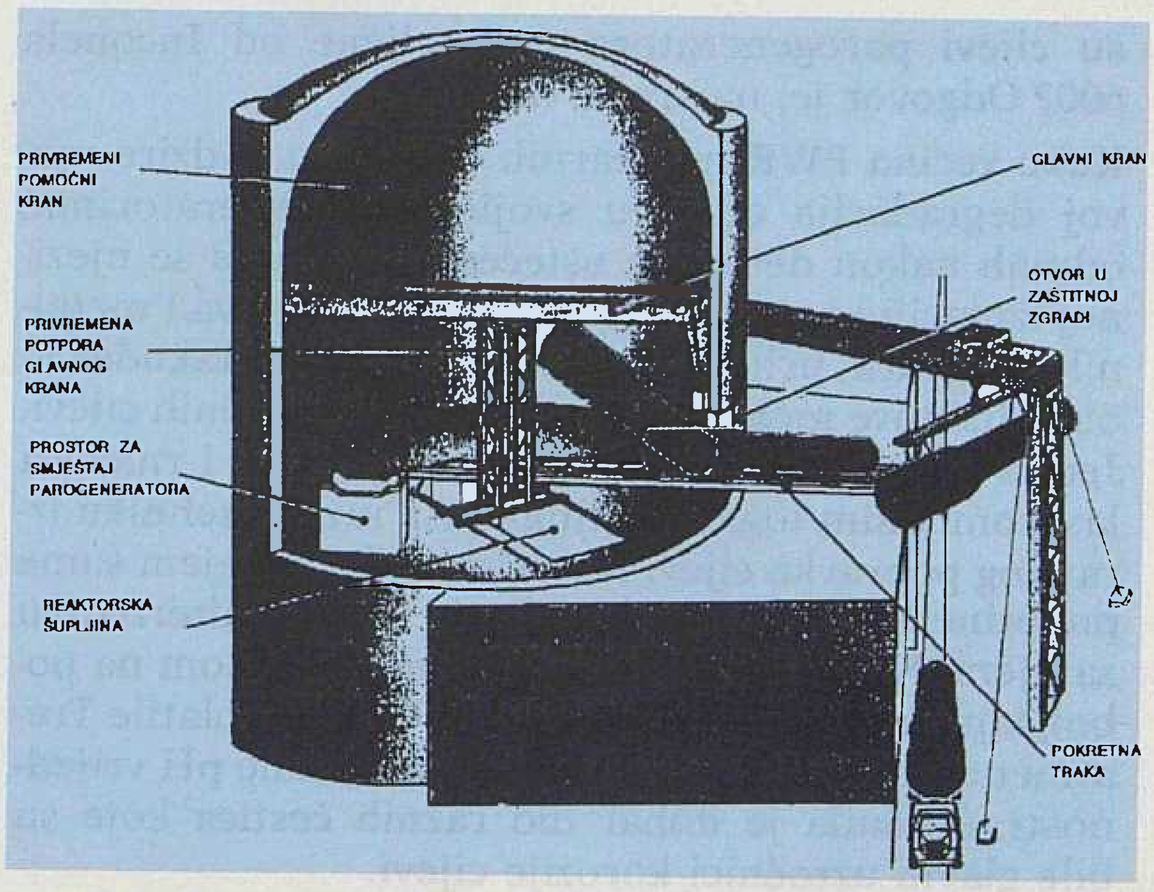
4.7. Švicarska

Do sada su u Švicarskoj zamijenjeni parogeneratori u NE Beznau 1. Početni plan bio je zamjena samo donjega dijela, da bi se nakon detaljnih analiza donijela odluka o zamjeni kompletnog parogeneratora. Nosilac radova bio je njemačko-švicarski konzorcij KWU-Shulzer. Samoj zamjeni prethodilo je 13-mjesečno planiranje potrebnih radova. Nove parogeneratore izradio je Framatom (materijal cijevi Inconel 690TT). Uz elektrane Doel 3 i Gravellines 1, po trajanju i primljenim kolektivnim dozama ovo je jedna od najuspješnijih zamjena.

4.8. Japan

Kako su parogeneratore japanskih nuklearki radile američke tvrtke Westinghouse i Combustion Engineering te kasnije Mitsubishi Heavy Industries po njihovoj licenci, nije iznenađujuće da većina nuklearnih elektrana ima velike probleme s oštećenim cijevima parogeneratora. Trenutačno se u Japanu radi na 8 projekata zamjene koji uključuju i izradu 23 nova generatora pare. Izrada novih parogeneratora i poslovi zamjene povjereni su već spomenutom domaćem poduzeću Mitsubishi Heavy Industries.

Jedna od četiri japanske elektroprivredne organizacije — Kansai Electric — potpisala je s Mitsubishijem ugovor o zamjeni 21 parogeneratora u 7 elektrana. Ugovor se odnosi na elektrane Ohi 1, 2, Mihama 1, 2, 3 i Takahama 1 i 2 i vrijedan je 1 520 mio USD, a obuhvaća poslove izrade i instaliranja novih parogeneratora.



Slika 2. Transport parogeneratora tijekom zamjene

1994. godine počela je zamjena parogeneratora u 19 godina staroj elektrani Genkai 1 koja je u vlasništvu korporacije Kyushu Electric te zamjena parogeneratora u NE Takahama 2. Ove je godine završena zamjena u elektranama Ohi 1, Mihama 1 i Mihama 2 (nakon više od godine dana radova i nakon gotovo četverogodišnje obustave zbog ozbiljnog loma cijevi parogeneratora).

5. ALTERNATIVE ZAMJENI PAROGENERATORA

Već se dulje postavlja pitanje je li zamjena parogeneratora jedina opcija za 140 nuklearnih elektrana čije

Tablica 3. Planirane zamjene parogeneratora

Elektrana	Zemlja	Snaga na pragu, (MWe)	Komercijalni pogon	Broj parog.	Godina zamjene	Izrada parog. stari/novi[1]	Materijal novih parog.
Tihange 3	B	1 006	09/85	3	1997.	Fra/W	Inconel 690TT
Doel 4	B	1 010	07/85	3	1996.	W/Sim-Fra	Inconel 690TT
Asco 2	E	887	03/86	3	1996.	W/Sim-Fra	Incoloy 800
Almaraz 1	E	900	10/81	3	1996.	W/Sim-Fra	Incoloy 800
Almaraz 2	E	900	02/84	3	1997.	W/Sim-Fra	Incoloy 800
Dampierre 3	F	890	05/81	3	1995.	Fra/Fra	Inconel 690TT
St Laurent B1	F	880	08/83	3	1995.	Fra/Fra	Inconel 690TT
Tricastine 2	F	945	12/80	3	1996.	Fra/Fra	Inconel 690TT
Mihama 3	J	780	12/76	3	1996/7.	MHI/MHI	Inconel 690TT
Ohi 2	J	1 120	12/79	4	1997.	MHI/MHI	Inconel 690TT
Takahama 1	J	780	11/74	3	1996.	W/MHI	Inconel 690TT
Ikata 1	J	538	09/78	2	1997/98.	MHI/MHI	Inconel 690TT
Catavba 1	SAD	1 129	06/85	4	1995/6.	W/BWI	Inconel 690TT
Farley 2	SAD	829	07/81	3	1997.	W/W	Inconel 690TT
Farley 1	SAD	829	12/77	3	2002.	W/W	Inconel 690TT
Kewaunee	SAD	540	06/74	2	1996.	W/W	Inconel 690TT
Ginna	SAD	470	03/70	2	1996.	W/BWI	Inconel 690TT
McGuire 1	SAD	1 129	12/81	4	1995.	W/BWI	Inconel 690TT
McGuire 2	SAD	1 129	03/84	4	1996.	W/BWI	Inconel 690TT
Pt Beach 2	SAD	485	10/72	2	1996/7.	W/W	Inconel 690TT
St Lucie 1	SAD	839	12/76	2	1997.	CE/BWI	Inconel 690TT
Zion 1	SAD	1 040	12/73	4	1996.	W/BWI	Inconel 690TT
Zion 2	SAD	1 040	09/74	4	2001.	W/BWI	Inconel 690TT

[1] BWI = Babcock & Wilcox International (CDN), B = Bechtel (SAD), CE = Combustion Engineering (SAD), Fra = Framatom (F), KWU = Krafwerk Union (D), MHI = Mitsubishi Heavy Industries (J), Sim = Siemens (D), W = Westinghouse (SAD)

su cijevi parogeneratora napravljene od Inconela 600? Odgovor je, na sreću, negativan.

Kako većina PWR nuklearnih elektrana nadzire razvoj degradacija cijevi u svojim parogeneratorima, odmah nakon detekcije oštećenja, pristupa se njezinoj izolaciji i sanaciji. Osim ugradnje čepova i metalnih rukavaca, primjena lasera u mehanici također je otvorila nove mogućnosti popravaka oštećenih cijevi. Jedna od njih je spajanje cijevne stijenke i rukavca laserom. Osim toga, Westinghouse razvija tehniku izravnog popravka cijevi laserskim zavarivanjem same pukotine što može predstavljati efikasnu alternativu zamjeni. Nadalje, većina elektrana prelaskom na poboljšanu kemiju napojne vode (AVT, All Volatile Treatment), koja se sastoji od dizanja njezine pH vrijednosti, uklonila je dobar dio raznih čestica koje su bile glavni uzročnici korozije cijevi.

Uzroke primarne korozije (PWSCC, Primary Water Stress Corrosion Cracking) još uvijek je dosta teško nadvladati, no neke operacije otpuštanja zaostalih naprezanja u Inconelu 600 nastalih tijekom izrade cijevi upućuju na moguće produljenje životnog vijeka parogeneratora.

I na kraju, posljednja alternativa zamjeni parogeneratora jest prijevremeno zatvaranje elektrane. Problemi s parogeneratorima doveli su 1992. do zatvaranja NE San Onofre 1 nakon 24 godine rada, a nakon samo 17 godina rada slična je sudbina zadesila i NE Trojan. U obje američke elektrane vlasnici su zaključili da bi troškovi zamjene (više od 200 mio USD) i rad sa starim parogeneratorima bili ekonomski neopravdani.

Današnje procjene govore da bi redovitom inspekcijom parogeneratora, primjenom nove sekundarne kemije i novih postupaka pri sanaciji oštećenja, kao i razmjenom stečenih iskustava, u nekim NE bilo moguće izbjeći zamjenu parogeneratora, i to uz potpuno ekonomsko opravdanje takvog postupka.

6. PODIZANJE SNAGE ELEKTRANE ZAMJENOM PAROGENERATORA

Nekim elektranama pruža se jedinstvena mogućnost da zamjenom parogeneratora podignu svoju nominalnu snagu za 10 i više %. Odluka o podizanju snage može imati znatan utjecaj na način financiranja same zamjene, jer je povećanom proizvodnjom električne energije njezine troškove moguće puno brže pokriti. Podizanje snage nije isplativo u svakoj elektrani. Preliminarnim studijama određuje se hoće li postojeće sigurnosne margine nuklearnih komponenata biti dostatne za rad elektrane na višoj snazi, odnosno jesu li potrebne kakve dodatne modifikacije komponenata. Tek nakon detaljnih sigurnosnih analiza, odvagivanjem potrebnih preinaka i dodatnih financijskih ulaganja, donosi se konačna odluka.

Porast snage postiže se ugradnjom novih parogeneratora veće izmjenjivačke površine, preinakama u rasporedu cijevnih snopova, određenim modifikacijama na turbini, gorivu itd.

Prema dostupnim podacima, zamjenom parogeneratora podignuta je nominalna snaga u švedskoj elektrani Ringhals 2 (9.5%), u NE Indiana Pt 3 (2%). U belgijskim elektranama Doel 3 i Tihange 1 snaga je podignuta 8%, odnosno 10.5%. Zamjenom parogeneratora u NE Ringhals 3 planira se postići 8 – 12% viša snaga, a zamjenom Westinghouseovih parogeneratora u švicarskoj elektrani Beznau 1 moguće je, bez većih modifikacija, dignuti snagu elektrane za 12%. Za NE Krško se predviđa da bi elektrana mogla, nakon zamjene parogeneratora, raditi na 6.3% višoj snazi od nominalne.

7. SITUACIJA U NE KRŠKO

Iz dosadašnjeg teksta možemo zaključiti da je zamjena parogeneratora često izvođena operacija i da će tako biti i ubuduće. Uz osvrt na tu problematiku promatranu u svjetskim okvirima treba reći da niti NE Krško nije iznimka te da ima slične poteškoće kao i dobar dio ostalih PWR elektrana [10]. Prosječna začepljenost parogeneratora na kraju remonta 1995. iznosila je 17.27%, što je u odnosu prema prošlogodišnjem remontu povećanje za 1%. Ipak, posljednjih nekoliko godina uočljiv je trend sporije degradacije cijevi koji je rezultat dvaju faktora, i to:

1. izmjene sekundarne kemije — dizanje pH vrijednosti napojne vode i
2. uvođenje sanacije cijevi rukavcima.

Sadašnja dopuštena granica začepljenosti za NEK je 18%, a u izradi je elaborat o mogućnosti sigurnog rada nuklearke i s 23% začepljenosti.

7.1. Pregled poduzetih aktivnosti u vezi sa zamjenom parogeneratora

NEK danas raspolaže s više studija koje se odnose na zamjenu parogeneratora i na podizanje snage elektrane nakon zamjene.

Radi bolje ilustracije predstojećeg posla navedene su preporuke studije o izvodljivosti zamjene [7] koju je izradila američka inženjerska kuća Gilbert Commonwealth International, Inc (GCI) 1992. godine:

- preporučuje se vađenje parogeneratora u jednom komadu,
- za primarni krug se preporučuje kao optimalna metoda »jednostrukog reza« (po jedan rez između parogeneratora te ulaznog i izlaznog cjevovoda),
- trajanje planirane obustave radi zamjene parogeneratora procijenjeno je na 90 dana,
- procijenjena kolektivna doza koja će se primiti na poslovima zamjene iznosi 5.7 čov-Sv,
- troškovi same zamjene (ako bi je izvodio Westinghouse) iznosili bi 25.7 mio USD. U njih nisu uključeni troškovi izrade, testiranja i transporta novih parogeneratora kao niti troškovi izdavanja dozvole za njihov rad,
- studija predlaže osnivanje posebne radne grupe koja bi se bavila samo navedenom problematikom.

7.2. Predviđene daljnje akcije NEK-a na području zamjene parogeneratora

Nakon pozitivnog očitovanja Hrvatske elektroprivrede u ime Hrvatske, kao i Slovenske republičke uprave za nuklearnu sigurnost (RUJV), za početak realizacije programa zamjene čeka se još samo suglasnost vlade i Parlamenta Republike Slovenije [11]. Na temelju podataka iz kraja 1994. aktivnosti bi se trebale odvijati prema sljedećem rasporedu:

1. raspisati natječaj za realizaciju zamjene do kraja 1. kvartala 1995,
2. do kraja 2. kvartala 1995. prikupiti ponude,
3. tehničku i komercijalnu evaluaciju ponuda zaključiti do kraja 3. kvartala 1995,
4. pripremiti ugovor u tijeku 4. kvartala 1995,
5. osigurati u najkraćem mogućem roku izradu i dopremu novih parogeneratora, ako je moguće za remont u tijeku 1998,
6. raspisati poslove studija za povećanje snage elektrane i sigurnosne analize te poslove za ugradnju novih parogeneratora u tijeku 1996.

S obzirom na nešto sporiju degradaciju cijevi od očekivane i kašnjenje s odlukom Parlamenta Republike Slovenije o zamjeni parogeneratora (odluka će biti donesena u paketu s novom slovenskom energetskom strategijom, vjerojatno do kraja 1995), realno je očekivati barem jednogodišnje kašnjenje s realizacijom projekta zamjene u odnosu prema prethodno iznesenom planu. Očekuje se da će NE Krško do kraja 1995. predložiti pokretanje postupka izmjene parogeneratora kako bi se taj posao mogao obaviti tijekom remonta 1999. godine ili najkasnije 2000. godine [11].

8. ZAKLJUČAK

Od prve realizirane zamjene parogeneratora u američkoj elektrani Surry 2 proteklo je 15 godina. Za to vrijeme obavljena je potpuna ili djelomična zamjena osamdesetak parogeneratora u 28 europskih, japanskih i američkih nuklearnih elektrana. Prema stručnim procjenama ista sudbina može zadesiti još stotinjak elektrana PWR tipa.

Konkurentnost među izvođačima zamjene dovela je do višestrukih skraćenja rokova, manjih primljenih doza i sve više tehničke razine izvedenih radova, a već kod svake sljedeće zamjene realno je očekivati još bolje rezultate. Dosadašnje iskustvo nekih izvođača (u prvom redu konzorcija Siemens-Framatom) već je toliko da se o zamjeni parogeneratora može govoriti kao o rutinskom poslu, neovisno o specifičnostima svake elektrane.

Perspektiva podizanja snage elektrane usporedo sa zamjenom parogeneratora omogućuje otplate nastalih troškova dodatnim prihodom iz povećane proizvodnje električne energije. Na taj način, gledano i s financijske strane, projekt zamjene parogeneratora znatno je prihvatljiviji i vlasniku elektrane i široj javnosti.

Nadalje, nove tehnike popravka oštećenih cijevi pružaju nadu da zamjena nije jedina mogućnost, ali samo za onaj dio PWR nuklearnih elektrana u čijim parogenaratorima mehanizmi degradacije nisu još toliko izraženi. Na žalost, NE Krško ne pripada toj skupini nuklearnih elektrana. S obzirom na oštećenost parogeneratora, njihova zamjena je u NE Krško opravdana i s tehnološkog i s ekonomskog gledišta, a, dugoročno gledajući, sama zamjena osigurava stabilnost i raspoloživost NEK-a.

Uzevši u obzir već spomenuto stanje parogeneratora i ograničenja u radu NEK-a koja proizlaze iz takvog stanja, visoku cijenu saniranja parogeneratora, elektroenergetsku situaciju u Hrvatskoj i Sloveniji i povoljne cijene električne energije iz nuklearke, realno je očekivati skori početak projekta zamjene parogeneratora u NE Krško.

LITERATURA

[1] Nuclear Engineering International, 1991 – 1995.
[2] Siemens Service News, December 1989, August 1993, October 1993, July 1994, December 1994, July 1995.
[3] Bechtel Annual Report, 1992 – 1995.
[4] Bechtel Briefs, August 1994.
[5] Nuclear Europe Worldscan, 1991 – 1995.
[6] Study of Power Uprate Feasibility Report; Westinghouse Energy Systems International, 1992.
[7] Steam Generator Removal and Replacement Study; Gilbert Commonwealth International, Inc., 1992.
[8] Steam Generator; Izobraževalni centar za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča, Maj 1991.
[9] Recirculating Steam Generators; Babcock & Wilcox, 1993.
[10] Izvještaj NE Krško o zamjeni parogeneratora; NEK 1994, interni dokumenti
[11] Vjesnik Hrvatske elektroprivrede; lipanj 1995, srpanj 1995.
[12] Nucleonics Week, 1993 – 1995.

SOME TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF STEAM GENERATOR REPLACEMENT IN NUCLEAR POWER PLANTS

Because of bad material choice and unsuitable technical solutions, vertical steam generators built in the 70-ies, in a part of PWR-type nuclear power plants, show different pipe degradation. Actions done were just a temporary attempt to stop the corrosion, but the last lately frequently occuring solution is the replacement of the steam generator.

In the paper, the most frequent pipe damages and their rehabilitation are described, as well as problems during replacement and criteria for its successfulness. A brief experience over the world together with realised and planned replacement as well as the state of the art of the NPP Krško steam generator are also presented.

EINIGE TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE GESICHTSPUNKTE DES DAMPFERZEURGERWECHSELNS IN KERNKRAFTWERKEN

Wegen unentsprechender Werkstoffwahl und ungeeigneter technischen Lösungen erschienen in den Kernkraftwerken vom Typ PWR bald verschiedene Mängel an den Röhren der, in den 70. Jahren gebauten, senkrechter Dampferzeuger. Unternommene Reparaturen haben die Korrossion vorläufig gehemmt, heuer aber wird immer mehr das Auswecheln von Dampferzeugern durchgeführt.

Beschrieben sind die häufigsten Beschädigungen der Röhre und deren Reparaturen, weiters Probleme welche bei dem Auswechseln auftauchen sowie die Erfolgsmaßstäbe für dieses Unterfangen. Neben der kurzen Darstellung der Welterfahrungen und der vorgesehenen, sowie verwirklichten Auswechseln ist auch ein knapper Rückblick auf die Probleme and Damferzeugern im Kernkraftwerk Krško gegeben.

Naslov pisca:

Josip Lebegner, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda, d.d.
Direkcija za razvoj i inženjering
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995–11–03.

ELKA, tvornica električnih kabela, utemeljena je 1927. godine u Zagrebu, a proizvodnjom električnih kabela bavi se gotovo već sedamdeset godina. Prije desetak godina Elka je preseljena iz centra grada na novu lokaciju u Zagrebu, u industrijsku četvrt na Žitnjaku, gdje su izgrađeni novi proizvodni pogoni i poslovni objekti te je obavljena kompletna rekonstrukcija i modernizacija tvornice.

Naše tri tvornice — u Zagrebu, Zadru i Tugonici — zauzimaju površinu od preko 188.000 m², s natkrivenim prostorom od 112.000 m².

Naš proizvodni kapacitet iznosi 26.000 tona električnih kabela i vodova, telekomunikacijskih kabela, lakirane žice i metalne užadi godišnje. Naši glavni kupci u zemlji su: elektroprivreda, pošte, željeznica, brodogradnja, rudarstvo, industrija, građevinarstvo i zanatstvo, a oko jedne četvrtine proizvodnje ELKA u zadnjih 40 godina izvozi na tržišta zemalja zapadne i istočne Europe i zemlje Bliskog Istoka.

ELKA ima 1215 zaposlenih.

ELKA d.d.
TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA
ZAGREB, Žitnjak bb, P.P. 150, HRVATSKA
Telefon: 041/232 200, Teleks: 21-193 elka
Faks: 041/223 898

PRIMJENA MODELA KONCENTRIČNOG SUSTAVA PLANIRANJA RADOVA U OBJEKTIMA PRIJENOSNE MREŽE

Miroslav Mesić, Zagreb

UDK 621.316.1:621.314.2
STRUČNI ČLANAK

Sigurnost rada elektroenergetskog sustava neposredno ovisi o stanju objekata prijenosne mreže. Transformatorske stanice su objekti visokog stupnja složenosti i promatrane kao cjelina čine skup objekata istovrsne funkcije, različite starosti, tehnologije i stanja. Izvanrednim pregledom stanja objekata po zadanom kriteriju dobivaju se podloge za analizu i ocjenu stanja objekata, te ocjena vrste i karaktera radova za promjenu stanja. Iz navedenih postavaka izvodi se model koncentričnog sustava planiranja radova smjerom poboljšanja stanja objekata.

Ključne riječi: prijenosna mreža, objekt, stanje, pregled, ocjena, analiza, radovi, planiranje, model, primjena.

1. UVOD

Prijenosna mreža jedan je od tri glavna dijela elektroenergetskog sustava, a sigurnost i pouzdanost rada sustava neposredno je povezana sa stanjem objekata (dalekovodi i transformatorske stanice 110–400 kV). Ukupno stanje objekata određuju redovno i interventno održavanje, zamjene, rekonstrukcije i modernizacije, kao i način eksploatacije objekta, te prirodni proces stanja.

Postupnom izgradnjom novih objekata s vremenom je nastao složen skup objekata istovrsne funkcije, a različite starosti, tehnologije i ukupnog starenja. Općenito se može reći da se starijim objektima do sada nije davala potrebita pozornost na razini sustava, pa je s vremenom nastao velik zaostatak i nerazmjer potreba za radovima obnavljanja i izvršenja radova.

Smanjivanje i eliminacija akumularnih zaostataka, posebice u starijim objektima, neposredno pridonosi povećavanju sigurnosti rada sustava, a kako je riječ o objektima u funkciji, svako ulaganje u obnovu i revitalizaciju višestruko je opravdano s tehničkog i ekonomskog aspekta.

Za složeni skup transformatorskih stanica različite starosti i stanja razrađena je metodologija planiranja radova prema rezultatima analize i ocjene stanja objekata na primjeru PrP-a Zagreb (39 transformatorskih stanica 110–400/x kV), a primjena metodologije u 1994. i 1995. godine daje dobre rezultate.

Na slici 1. prikazana je prijenosna mreža PrP-a Zagreb locirana u sjeverozapadnome dijelu Republike Hrvatske.

2. PREGLED STANJA OBJEKATA PRIJENOSNE MREŽE

2.1. Redovni pregledi

2.1.1. Redovni pregledi transformatorskih stanica (dnevni, tjedni, mjesečni) propisani su Pravilnikom o održavanju elektroenergetskih objekata prijenosne mreže i potvrđuju se ispunjavanjem tipiziranih obrazaca. Na temelju rezultata pregleda pristupa se redovnom ili interventnom održavanju.

2.1.2. Redovni pregledi dalekovoda prema Pravilniku iz prethodne točke obavljaju se dva puta godišnje (proljeće, jesen), a na temelju rezultata pregleda također se pristupa redovnom ili interventnom održavanju.

2.2. Inspekcijski pregledi

2.2.1. Ukupno stanje objekata prijenosne mreže putem inspekcijskih pregleda redovito kontrolira i nadzire Elektroenergetska inspekcija te Inspekcija rada.

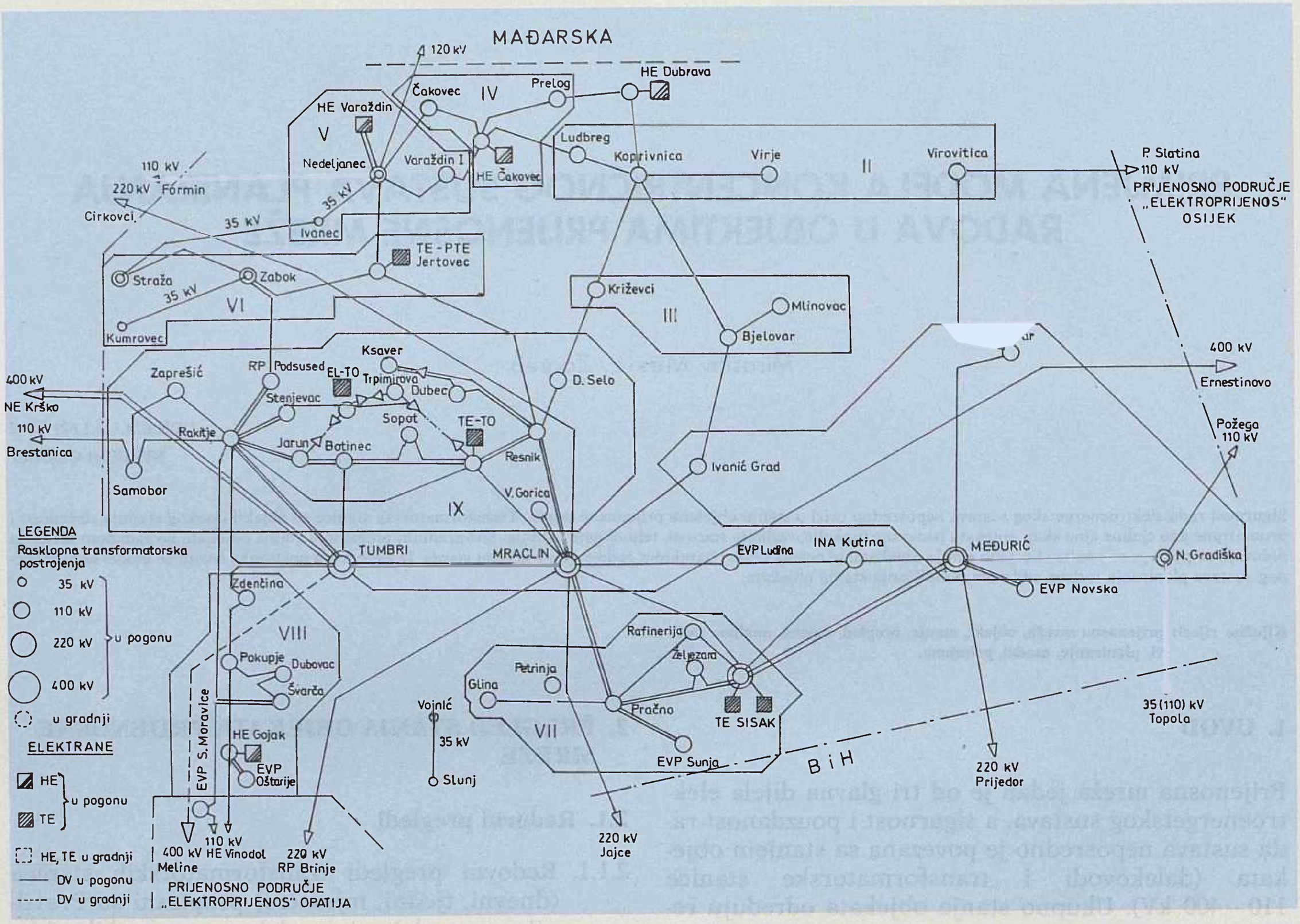
2.2.2. Inspekcijski pregledi potvrđuju se zapisnicima o pregledu.

2.3. Izvanredni pregled stanja transformatorskih stanica

2.3.1. Sustavnu ocjenu ukupnog stanja objekta moguće je utvrditi pomoću izvanrednog pregleda. Putem posebno izrađenog obrasca točno se propisuje opseg pregleda i elementi ocjenjivanja stanja.

Glavne podgrupe pregleda jesu: visokonaponska – primarna oprema, sekundarna oprema,

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 263 – 269



Slika 1. Shema mreže 110, 220 i 400 kV PrP-a Zagreb

vlastita potrošnja i pomoćni pogoni, građevinski objekti, alati i oruđa u objektu.
Uz ocjenu stanja elemenata podgrupa upisuje se vrsta, karakter i stupanj važnosti radova popravaka, zamjena i rekonstrukcija primjerice R1-rekonstrukcija 1. stupnja važnosti.

2.3.2. Izvanredni pregled stanja objekata prema unaprijed određenom kriteriju trebaju obaviti najiskusniji djelatnici održavanja, te potvrditi ispunjavanjem navedenog obrasca.
Rezultat izvanrednog pregleda na primjeru PrP-a Zagreb jest 39 ispunjenih obrazaca, a sve aktivnosti pripreme, obavljanja pregleda i skupljanja obrazaca trajale su približno mjesec dana (veljača 1994. god.).

3. ANALIZA I OCJENA STANJA OBJEKATA

3.1. Pojedinačna ocjena stanja objekta

3.1.1. Glavni element pojedinačne ocjene stanja jest ispunjeni obrazac izvanrednog pregleda.
Zbog kompletiranja ukupne slike stanja uz obrazac se prilažu osnovni podaci o objektu, rezultati preventivnih i ostalih ispitivanja, podaci o pogonskim događajima i većim radovima u objektu koji se nalaze u pogonskoj dokumentaciji.
Time je slika stanja objekta upotpunjena.

3.1.2. Na temelju rezultata izvanrednog pregleda objekta i dopunskih podataka objektu se dodjeljuje ocjena:
Kritično, nezadovoljavajuće, zadovoljavajuće, dobro, vrlo dobro, odlično.
Zbog nepoznatog stanja TS 110/10 (20) kV Petrinja za vrijeme obavljanja pregleda — veljača 1994. god. izuzetno je uvedena i ocjena **nepoznato.**

3.1.3. Osim ocjene stanja, objektu se dodjeljuje i stupanj važnosti objekta u elektroenergetskom sustavu u rasponu od 1 do 3 gdje je 1 oznaka najvećeg stupnja važnosti.

3.1.4. Osnovni uvjet korektnosti pojedinačne ocjene stanja objekta uz već rečenu kvalitetu izvanrednog pregleda stanja jest strogost i objektivnost u ocjenjivanju, tako da se u graničnim slučajevima objekt svrstava u niži ocjenski razred.

3.2. Analiza stanja objekta

3.2.1. Pojedinačne ocjene stanja objekta omogućuju grupiranje objekata po odabranom kriteriju.
U tablici 1. prikazana je kategorizacija objekata po starosti, a svakom je objektu pridijeljena oznaka generacije opreme (I – V), ocjenski raz-

Tablica 1. Kategorizacija objekata po starosti

R. br.	Naziv objekta	God. puštanja u pogon	Generacija	Stanje	Stupanj važnosti
1.	TS Rakitje	1952.	I.	kritično	1
2.	TS Nedeljanec	1952.	I.	zadovoljavajuće	1
3.	TS Resnik	1958.	I.	kritično	1
4.	TS Pračno	1958.	I.	zadovoljavajuće	2
5.	TS Mraclin	1962.	II.	nezadovoljava	1
6.	TS Međurić	1962.	II.	dobro	1
7.	TS Zabok	1964.	II.	nezadovoljava	2
8.	TS Pokuplje	1964.	II.	dobro	2
9.	TS Bjelovar	1966.	II.	dobro	2
10.	TS Virovitica	1966.	II.	dobro	2
11.	TS Ludina	1968.	II.	nezadovoljava	2
12.	TS Koprivnica	1969.	II.	dobro	2
13.	TS Čakovec	1971.	III.	dobro	2
14.	TS Jarun	1971.	III.	dobro	1
15.	TS Ivanić Grad	1973.	III.	zadovoljavajuće	2
16.	RP Podsused	1974.	III.	zadovoljavajuće	3
17.	TS Ludbreg	1977.	III.	zadovoljavajuće	3
18.	TS N. Gradiška	1978.	III.	dobro	2
19.	TS Tumbri	1978.	III.	dobro	1
20.	TS Križevci	1980.	IV.	vrlo dobro	2
21.	TS Samobor	1980.	IV.	zadovoljavajuće	2
22.	TS Dugo Selo	1982.	IV.	dobro	3
23.	TS Zdenčina	1982.	IV.	vrlo dobro	3
24.	TS Daruvar	1983.	IV.	dobro	2
25.	TS Zaprešić	1983.	IV.	vrlo dobro	3
26.	TS Varaždin gr.	1983.	IV.	dobro	3
27.	TS Straža	1986.	IV.	vrlo dobro	2
28.	TS Švarča	1986.	V.	vrlo dobro	2
29.	TS Elto	1987.	V.	dobro	3
30.	EVP Oštarije	1987.	V.	vrlo dobro	3
31.	TS Prelog	1987.	V	vrlo dobro	3
32.	TS Botinec	1987.	V.	dobro	1
33.	TS Virje	1987.	V.	dobro	2
34.	TS Željezara	1987.	V.	dobro	3
35.	TS Trpimirova	1988.	V.	vrlo dobro	2
36.	TS Dubovec	1988.	V.	vrlo dobro	3
37.	TS Dubec	1989.	V.	vrlo dobro	2
38.	TS Petrinja	1989.	V.	nepoznato	2
39.	TS Mlinovac	1989.	V.	odlično	3

red stanja objekta i ocjena stupnja važnosti. Navedena je tablica dobra ilustracija svih različitosti u promatranom skupu objekata.

3.2.2. Iz podataka u tablici 1. proizlazi starosna struktura objekata prikazana u tablici 2, a u sljedećoj tablici 3. dana je struktura objekata prema stanju, dakle broj objekata i zastupljenost po generacijama opreme u ocjenskim razredima. U tablici 4. prikazan je udio objekata razvrstanih po ocjenskim razredima u ukupnom broju objekata.

Tablica 2. Starosna struktura objekta

R. br.	Generacija objekta	Broj objekta	Udjel u ukupnom broju
1.	I. (1950 – 1959)	4	10,3%
2.	II. (1960 – 1969)	8	20,5%
3.	III. (1970 – 1979)	7	18,0%
4.	IV. (1980 – 1985)	8	20,5%
5.	V. (1986 – 1989)	12	30,7%
	ukupno	39	100,0%

Tablica 3. Struktura objekta prema stanju

	I.	II.	III.	IV.	V.	Ukupno
odlično	—	—	—	—	1	1
vrlo dobro	—	—	—	4	6	10
dobro	—	5	4	3	4	16
zadovoljava	2	—	3	1	—	6
nezadovoljava	—	3	—	—	—	3
kritično	2	—	—	—	—	2
nepoznato	—	—	—	—	1	1
ukupno	4	8	7	8	12	39

Tablica 4. Zastupljenost objekata prema stanju

R. br.	Stanje	Broj objekata	Udjel u broju objekata
1.	odlično	1	2,6%
2.	vrlo dobro	10	25,6%
3.	dobro	16	41,0%
4.	zadovoljavajuće	6	15,4%
5.	nezadovoljavajuće	3	7,7%
6.	kritično	2	5,1%
7.	nepoznato	1	2,6%
	ukupno	39	100,0%

3.2.3. Na temelju podataka u tablicama 1 – 4 moguće je analizirati stanje u skupu promatranih objekata po zadanom kriteriju. Starosna struktura objekata pokazuje povećanje opsega prijenosne mreže u vremenu s posebno povećanim intenzitetom u razdoblju 1986 – 1989. godine. Udio objekata najstarije, I. generacije iznosi 10,3%, ali je riječ o objektima najvišeg stupnja važnosti, pa njihovo stanje izrazito utječe na sigurnost elektroenergetskog sustava.
Sveukupno se može konstatirati da je starosna struktura objekata u promatranom skupu dosta povoljna s pravilnom zastupljenošću generacija opreme.

3.2.4. Struktura objekata prema stanju pokazuje velik broj objekata dobrog i vrlo dobrog stanja (ukupno 66,6%), ali i nezadovoljavajuće i kritično stanje ukupno 5 objekata (12,8%), od kojih su čak 3 iz grupe objekata najvišeg stupnja važnosti. Prigodom te ocjene nužna je selektivnost u zaključivanju, pa će se detaljnije analizirati struktura prema stanju u ocjenskom razredu **dobro.**

Primjer 1. Analiza strukture objekata prema stanju u ocjenskom razredu **dobro**

Generacija	I.	II.	III.	IV.	V.	Ukupno
Broj objekata	—	5	4	3	4	16

— **Dobro** stanje objekata II. i III. generacije svakako je pozitivno i poželjno i pokazuje kvalitetnu njegu objekata nepovoljne starosne strukture, te daje smjer kojim treba nastaviti da se zadrži postignuti ocjenski razred.
— Za objekte IV. i V. generacije samo **dobro** stanje je siguran znak nedovoljne brige i predznak prijelaza u još niži ocjenski razred, što ne korespondira povoljnoj starosnoj strukturi objekata.
— Jedan od razloga za navedene odnose svakako je i činjenica da objekti II. i III. generacije imaju u većem dijelu veći stupanj važnosti u sustavu, pa im se stoga po logici stvari dodjeljuje veći prioritet u radovima.
— S obzirom na najpovoljniju starosnu strukturu objekata iz V. generacije moguće je relativno malim ulaganjima objekte promaknuti u viši ocjenski razred i tako promijeniti ukupne odnose u promatranom skupu objekata.

3.2.5. Analiza stanja objekata u cjelini pokazuje dosta pravilne odnose stanja objekata i njihove starosne strukture, iako ima pozitivnih i negativnih izuzetaka.
Iz ocjene odnosa u skupu objekata i uvažavanje stupnja važnosti objekata u sustavu proizlaze i zadaće za poboljšanje ukupnog stanja. Na prvome mjestu je, svakako, promjena stanja objekata iz ocjenskog razreda **kritično** i **nezadovoljavajuće,** a zatim slijede zadaće usmjerene prijelazu objekata u viši, odnosno sprečavanju prijelaza u niži ocjenski razred. Na taj način u određenom razdoblju moguće je znatno promijeniti ukupnu sliku stanja u skupu objekata.

4. OCJENA VRSTE I KARAKTERA RADOVA ZA PROMJENU STANJA

4.1. Struktura radova

4.1.1. Budući da se izvanrednim pregledom stanja objekata iz točke 2.3.1. utvrđuju vrsta, karakter i stupanj važnosti radova za promjenu stanja, iz pojedinačne ocjene stanja objekta moguće je izvesti i strukturu radova. U tablici 5. prikazana je tako struktura radova po vrstama i prioritetu, i to po generacijskim podgrupama. Očekivano je najveći broj radova 1. stupnja važnosti (p_1) u objektima I. i II. generacije ($12+31=43$) iz ocjenskih razreda **kritično** i **nezadovoljavajuće.** Također je očekivan i velik broj radova 2. stupnja važnosti (p_2) u objektima III. i IV. generacije ($15+18=33$) iz viših ocjenskih razreda.
Opadanje opsega i stupnja važnosti radova u objektima viših generacija korespondira starosnoj dobi objekata.

4.1.2. Zastupljenost radova po vrstama i prioritetima u objektima prikazana je u tablici 6. U ocjeni pokazatelja također je potrebit oprez, jer primjerice mali broj većih rekonstrukcija u postrojenjima — 7 sadrži veće radove 1. stupnja važnosti (p_1) u čak 4 objekta najnižih ocjenskih razreda, a najveće važnosti u sustavu. Veći opseg građevinskih radova s 1. stupnjem važnosti u čak 12 objekata upućuje na veće zaostatke u građevinskom održavanju i u pravilu korespondira starosnoj strukturi objekata.

4.1.3. Iz strukture radova proizlaze i zadaće za promjenu stanja, što je sukladno pravilnostima naznačenim u analizi stanja objekata. Očita je najveća potreba za većim radovima — zamjena i rekonstrukcija u objektima iz najnižeg ocjenskog razreda, najvećeg stupnja važnosti u sustavu, a najnepovoljnije starosne strukture.

4.2. Grupiranje radova

4.2.1. Iz pregleda svih radova u jednom objektu radovi se mogu svrstati u grupe po zadanom kriteriju. Tako je moguće izdvojiti važnije radove iz ocjenskog razreda **kritično** što je prikazano u tablici 7.

4.2.2. Jedan od kriterija grupiranja radova može biti i pregled istovrsnih radova po objektima, što je povoljno u ocjeni ukupnog opsega radova i troškova s primjerice jednim vanjskim izvođačem radova.
Grupiranje radova po zadanom kriteriju dobra je podloga i uvod u postupak planiranja radova.

Tablica 5. Struktura radova po vrstama i prioritetu

Red. br.	Generacija prioriteta / Vrsta radova	I.			II.			III.			IV.			V.			Σ			Σ Objekata
		p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3	p1	p2	p3	
1.	preventivna ispitivanja	3	—	—	4	2	—	3	2	—	3	—	—	1	1	—	14	5	—	19
2.	popravci el. opreme u objektu	—	—	—	1	—	—	2	2	—	—	—	—	1	—	—	4	2	—	6
3.	zamjene primarne opreme	2	2	—	6	1	—	1	1	1	2	—	—	—	—	1	11	4	2	17
4.	manje rekonstr. u postrojenju	—	—	—	2	2	—	1	2	1	2	1	2	—	—	8	5	5	11	21
5.	veće rekonstr. u postrojenju	2	—	—	2	—	1	—	1	—	—	1	—	—	—	—	4	2	1	7
6.	manji građevinski radovi	—	—	—	1	2	—	1	1	—	2	1	—	—	1	3	4	5	3	12
7.	veći građevinski radovi	4	—	—	5	—	—	1	2	1	1	—	—	1	—	—	12	2	1	15
8.	sređivanje tehn. i pog. dok.	1	3	—	—	8	—	—	7	—	—	8	—	—	12	—	1	38	—	39

Tablica 6. Zastupljenost radova u objektima

Red. br.	Vrsta radova	Broj objekata	Udjel po prioritetu			Udjel u ukupnom broju objekata
			p1	p2	p3	
1.	preventivna ispitivanja	19	14 74%	5 26%	— —	48,8%
2.	popravci el. opreme u objektu	6	4 67%	2 33%	— —	15,4%
3.	zamjene primarne opreme	17	11 65%	4 23%	2 12%	43,6%
4.	manje rekonstrukcije u postrojenju	21	5 24%	5 24%	11 52%	53,8%
5.	veće rekonstrukcije u postrojenju	7	4 57%	2 28%	1 15%	17,9%
6.	manji građevinski radovi	12	4 33%	5 42%	3 25%	30,7%
7.	veći građevinski radovi	15	12 80%	2 13%	1 7%	38,4%
8.	sređivanje tehn. i pog. dokumentacije	39	1 2,5%	38 97,5%	— —	100,0%

5. PLANIRANJE RADOVA PREMA REZULTATIMA ANALIZE STANJA I OCJENE RADOVA ZA PROMJENU STANJA

5.1. Sustav planiranja radova u HEP-u

5.1.1. Postojeći sustav planiranja radova investicijskog i tekućeg održavanja, zamjena, rekonstrukcija i modernizacija u HEP-u može se ukratko svesti na popis radova po objektima i odnosnim troškovima krajem tekuće godine za sljedeću. Navedeni popis zatim se reducira do stupnja raspoloživih financijskih sredstava.

5.1.2. Iskustveno se može reći da je običajna razina reduciranja potreba rada 50% u odnosu na početni opseg radova.

5.1.3. Tijekom posljednjih 10 godina evidentno je dosta uredno stanje u kategoriji radova investicijskog i tekućeg održavanja, dok je u kategoriji radova zamjena, rekonstrukcija i modernizacija evidentan dosta velik zaostatak, koji je suma višegodišnjih uzastopnih zaostataka. Primjerice, pregled stanja objekata, rezultati analize i ocjene stanja obavljenih u PrP-u Zagreb u veljači 1994. godine u cijelosti potvrđuju stupanj akumuliranih zaostataka.

5.1.4. Dakako da je tijekom Domovinskog rata u Republici Hrvatskoj došlo do prekida svih oblika redovnog održavanja, zamjena i rekonstrukcija i može se govoriti samo o interventom održavanju i sanaciji ratnih šteta u objektima prijenosne mreže, što je već dotada akumulirane zaostatke još povećalo.

5.1.5. Osnova za nominaciju radova i određivanje planskog statusa radova jest kod radova investicijskog i tekućeg održavanja Pravilnik o održavanju elektroenergetskih objekata prijenosne mreže kojim su propisane vrste radova i učestalost održavanja, a za radove iz kategorije zamjena, rekonstrukcija i modernizacija nema određenih kriterija, pa je osnova za nominaciju i planski status radova pogonsko iskustvo, pogonski događaji i rezultati preventivnih ispitivanja opreme.

Tablica 7. Važniji radovi u objektima iz ocjenskog razreda *kritično*

				Vrsta radova		Izvođač		Pl. st. '94		Prip. rad.	
						vanj.	samost.	da	ne	t. dok.	ugovar.
Razred: Kritično	TS 110/30 kV Resnik	VN postr.	1.	zamjena energetskog transformatora TR1 110/30 kV, 60 MVA	Z1	+		+		+	+
			2.	rekonstrukcija i tvornički remont energetskog transf. TR2 110/30 kV, 60 MVA	R1	+		+			+
			3.	rekonstrukcija DV polja 110 kV	R1	+		+		+	
			4.	rekonstrukcija malog otpora	R1	+			+		
			5.	zamjena mjernih transform. 110 kV	Z2		+	+			
		gr. obj.	6.	rekonstrukcija ravnog krova zgrade SN	R1	+		+		+	
			7.	ispitivanje kvalitete betona i stabilnosti betonskih konstrukcija u postrojenju	P1	+		+			
			8.	hortikulturno uređenje objekata i okoliša	P1	+		+			
			9.	uređenje odvodnje i kanalizacije u objektu	P1	+					
	TS 110/30 kV Rakitje	VN postr.	1.	zamjena energetskog transformatora 110/30 kV, 25 MVA	Z1	+			+	+	
			2.	rekonstrukcija položaja i priključaka energetskih transf. TR1 i TR2	R1	+			+	+	
			3.	rekonstrukcija sabirnica 110 kV	R1	+		+		+	
			4.	zamjena mj. transf. 110 kV (2 kom)	Z2		+	+			
			5.	zamjena kompresora 40b (kom 2)	Z2		+	+			
			6.	zamjena ispravljača 48 V=	Z1		+		+		
		gr. obj.	7.	zamjena betonskih portala sabirnica 110 kV i postolja aparata	Z1	+		+		+	+
			8.	priključak objekta na javnu vodov. mrežu	Z1	+			+		

5.2. Model koncentričnog sustava planiranja radova

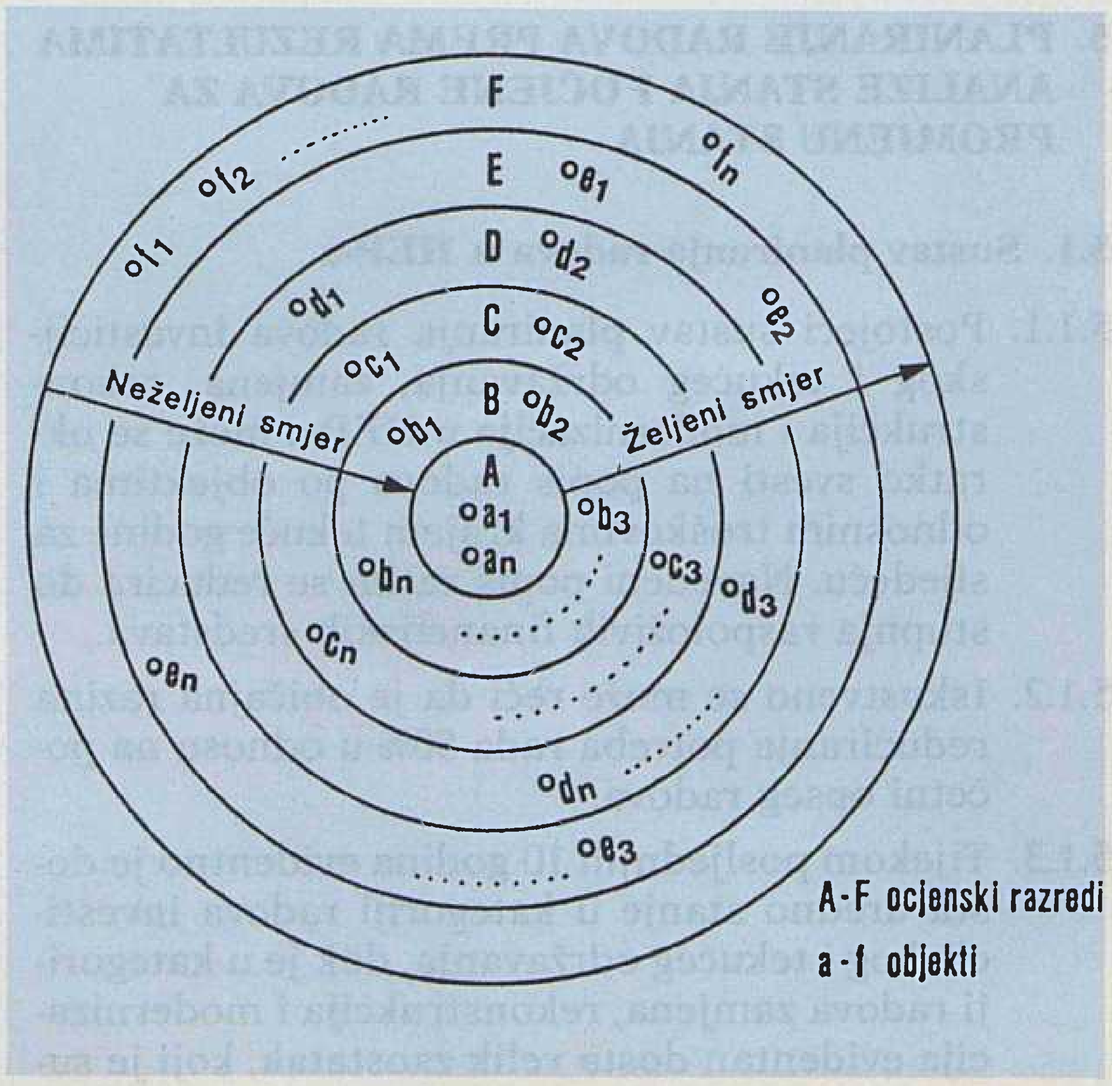
5.2.1. Pravilnosti i korelacije koje pokazuje analiza stanja objekata, te ocjena vrste i karaktera radova za promjenu stanja daju osnovu za postavljanje modela koncentričnog sustava planiranja radova. Navedeni model dodjeljuje planski status radovima i objektima prema kriterijima stanja, važnosti dijela postrojenja za objekt, a objekta za elektroenergetski sustav.

Objektima najnižeg ocjenskog razreda A — **kritično** ($a_1 \ldots a_n$) dodjeljuje se prioritetni planski status, i to u radovima 1. stupnja važnosti (P1, R1, Z1). To su obično objekti I. generacije i 1. stupnja važnosti za sustav.

5.2.2. U planiranju radova slijede zatim objekti sljedećega ocjenskog razreda B — **nezadovoljavajuće** ($b_1 \ldots b_n$), i to također u radovima 1. stupnja važnosti. To su obično objekti I. i II. generacije, ali 1. stupnja važnosti.

5.2.3. Prigodom planiranja zatim slijede objekti višeg ocjenskog razreda i nižeg stupnja važnosti radova i važnosti objekta za sustav s logikom prijelaza objekta u viši ocjenski razred (željeni smjer) i sprečavanja prijelaza objekta u niži ocjenski razred (neželjeni smjer).

5.2.4. Na temelju postavljenog modela koncentričnog sustava planiranja moguće je postaviti prvu projekciju plana radova koja se zatim ite-



Slika 2. Model koncentričnog sustava planiranja radova

rira s obzirom na raspoloživa financijska sredstva, ali obrnutim redoslijedom — dakle, odgodom radova u objektima povoljnijega ocjenskog razreda i nižeg stupnja važnosti radova u objektu i objekta u sustavu.

5.2.5. Navedeni model koncentričnog sustava planiranja radova investicijskog i tekućeg održavanja, zamjena, rekonstrukcija i modernizacija primijenjen je u PrP-u Zagreb prigodom izrade planova radova za 1995. godinu.
Tako su planski status dobili objekti najnižega ocjenskog razreda A — **kritično,** te radovi najvišeg stupnja važnosti, što je prikazano u tablici 7. Kako je većina planiranih radova obavljena tijekom 1995. godine, može se konstatirati da je ukupna slika stanja objekata PrP-a Zagreb promijenjena eliminacijom kritičnog stanja u objektima koji su time prešli u ocjenski razred **zadovoljavajuće** ili čak **dobro.**

5.2.6. Model koncentričnog sustava planiranja može se primijeniti za bilo koji podsustav istih ili sličnih karakteristika (objekti različite starosti i stanja, iste funkcije, godišnji ciklus planiranja radova), a navedeni tablični pregledi s pokazateljima mogu se jednostavno voditi i ažurirati uz pomoć elektroničkog računala. Uz ostale prednosti (preglednost, sustavnost, brzina) najveća prednost modela jest planiranje radova po određenim kriterijima i ipak mjerljivim pokazateljima.

6. ZAKLJUČAK

6.1. Sigurnost rada elektroenergetskog sustava neposredno ovisi o stanju objekata prijenosne mreže, a stanje objekata o kvaliteti i pravodobnosti redovnog održavanja i obnavljanja objekta, te starenju kao prirodnom procesu.
Transformatorska stanica 110 – 400/x kV je objekt visokog stupnja složenosti, a svi objekti zajedno vrlo su složeni skup s elementima različite starosti, tehnologije i stanja u istoj osnovnoj funkciji.

6.2. Zbog različitih razloga s vremenom nastao je velik nerazmjer potreba i stvarno obavljenih radova, posebice u kategoriji radova zamjena, rekonstrukcija i modernizacija, pa je današnja slika skupa objekata pokazatelj višegodišnjih akumuliranih zaostataka.

6.3. Budući da su objekti u funkciji, svako ulaganje u obnavljanje višestruko je tehnički i ekonomski opravdano, a smanjivanje akumuliranih zaostataka neposredno povećava sigurnost rada elektroenergetskog sustava.

6.4. Za sustavnu ocjenu stanja objekata i postupak planiranja radova nema određenih kriterija, te se najčešće primjenjuju iskustvene procjene.

6.5. Na osnovi dosadašnjih pogonskih iskustava u PrP-u Zagreb razvijen je model koncentričnog sustava planiranja radova koji se izvodi iz sustavnog pregleda stanja objekata po zadanom kriteriju, analize i ocjene stanja objekata, te ocjene vrste i karaktera radova za promjenu stanja. Navedeni model dodjeljuje planski status objektima i radovima prema kriterijima stanja, važnosti dijela postrojenja za objekt i objekta za elektroenergetski sustav u koncentričnim krugovima po redoslijedu važnosti, u čemu je i njegova najveća prednost s obzirom na to da su pokazatelji mjerljivi.

6.6. Model koncentričnog sustava planiranja radova primijenjen je u PrP-u Zagreb pri izradi planova radova za 1995. godinu, te su planski status dobili objekti 1. stupnja važnosti za sustav iz najnižeg ocjenskog razreda — **kritično** s radovima najvišeg stupnja važnosti.

6.7. Opisani model može se primijeniti u bilo kojem podsustavu istih ili sličnih karakteristika (objekti iste funkcije, različite starosti i stanja), a navedeni tablični pregledi s pokazateljima mogu se jednostavno voditi i ažurirati uz pomoć elektroničkog računala.

LITERATURA

[1] M. MESIĆ: »Pregled stanja objekata PrP-a Zagreb« (veljača 1994. god.)

APPLICATION OF THE CONCENTRICAL WORK PLANNING SYSTEM MODEL IN TRANSMISSION NETWORK STATIONS

Security of the electric power system operation depends directly on the current state of the transmission network stations. Transformer stations are plants of a very high level of complexity and regarded as an entity they make a group of the same function plants, of different age, technology and state. By an auxiliary inspection of the current state considering the criteria given, bases for plants analysis and evaluation of their state can be obtained as well as the needed works for the amelioration of the current state. From these assumptions a model for concentrical work planning system is created in order to ameliorate the state of the substations.

ANWENDUNG EINES MODELLS DER KONZENTRISCHEN PLANUNG DER ARBEITEN IN DEN ANLAGEN DES ÜBERTRAGUNGSSYSTEMS

Die Betriebssicherheit eines Vebundsystems ist vom Zustand seiner Hochspannungsanlagen unmittelbar abhängig. Umspannwerke sind im hohem Maße verwickelte Einrichtungen und -als Ganzes betrachtetstellen eine Menge von Anlagen gleicher Aufgabe aber unterschiedlichen Alterundsgrades, verschiedener Herstellungslösungen und jeweils anderen Betriebszustandes dar.
Mittels einer Zustandsübersicht der Anlagen nach vorgegebenen Erkennungsmerkmalen werden Unterlagen herbeigebracht, welche für deren Überprüfung, Beurteilung und Art der Eingriffe notwendig sind, um eine positive Zustandsänderung zu erzielen.
Das geschiet auf Grund der erwähnten Unterlagen mittels eines Modells des konzentrischen Arbeitsplanungssystems.

Naslov pisca:

Miroslav Mesić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda d.d.
Direkcija za upravljanje i prijenos PrP Zagreb
10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995–11–5

ISTRAŽIVANJE STARENJA IZOLACIJSKOG SUSTAVA TRANSFORMATORA

Antun Mikulecky — Sonja Čabrajac — dr. sc. Zdenko Godec, Zagreb

UDK 621.314.2:621.315.6
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Opisan je model za istraživanje starenja izolacije uljnih transformatora koji omogućuje izbor i nadzor utjecajnih parametara na brzinu starenja, te primjenu neposrednih i posrednih dijagnostičkih metoda za određivanje stupnja ostarjelosti izolacije. Objašnjeni su pojmovi iz područja starenja izolacijskog sustava transformatora i ukratko opisane dijagnostičke metode kojima će se istraživati.

Ključne riječi: energetski transformator, dijagnostika izolacije, istraživanje starenja, model.

1. UVOD

Udio starih transformatora u Hrvatskom elektroenergetskom sustavu relativno je velik. Gotovo polovica energetskih transformatora starija je od 20 godina, te se postavlja pitanje treba li ih postupno zamjenjivati novima ili ih je bolje obnavljati, kada je to opravdano. Za ocjenu opravdanosti obnove potrebno je poznavati stanje i preostali vijek trajanja izolacijskog sustava transformatora, što nije jednostavno. Ocjena se donosi na temelju niza ispitivanja i kriterija za interpretaciju. Posljednjih godina počele su se primjenjivati nove metode za ocjenu stanja i ostarjelosti izolacijskog sustava kojima još nedostaju kriteriji za interpretaciju rezultata mjerenja. Te metode mogle bi poboljšati pouzdanost ocjene ostarjelosti izolacije. Da bi se mogla predložiti metodologija praćenja starenja transformatora u pogonu, započelo se s istraživanjem starenja izolacijskog sustava na modelima.

Modeli su koncipirani tako da što bolje reprezentiraju izolacijski sustav energetskih transformatora u pogledu vrste materijala (ulje i papir) i njihovih međusobnih omjera, sadržaja vlage, otopljenog kisika, itd. Starenje izolacijskog sustava transformatora istraživat će se primjenom sljedećih dijagnostičkih metoda: mjerenja mehaničkih svojstava papira, mjerenja stupnja polimerizacije papira (degree of polymerization — DP), fizikalno-kemijske analize ulja, kromatografske analiza plinova iz ulja, visokoučenske tekućinske kromatografije furana iz ulja (high performance liquid chromatography — HPLC) otpora izolacije i faktora gubitaka izolacije (tg δ) te polarizacijskog spektra izolacije metodom povratnog napona (recovery voltage method — RVM). Modeli omogućuju primjenu svih navedenih dijagnostičkih metoda u istim uvjetima, a to je, prema našim spoznajama, temeljna razlika prema sličnim istraživanjima u svijetu u kojima se modeli prilagođavaju pojedinim dijagnostičkim metodama ili grupama dijagnostičkih metoda. Modeli su zbog toga relativno složeni. To su posebno prilagođeni mali jednofazni transformatori bez jezgre, ukupne mase veće od 100 kg. Oni će se kontrolirano stariti podešavanjem temperature na prikladnu razinu.

Ciljevi istraživanja su:

1. utvrđivanje korelacija između dijagnostičkih metoda koje se koriste pri određivanju stanja izolacijskog sustava i procjeni preostalog vijeka trajanja izolacije transformatora,
2. kvantifikacija utjecaja otvorenog i zatvorenog sustava disanja transformatora na brzinu starenja njegove izolacije,
3. određivanje optimalne metodologije praćenja starenja transformatora u pogonu,
4. poboljšanje metodologije procjene preostalog vijeka trajanja izolacije transformatora,
5. pouzdanija procjena efekata obnove transformatora.

2. STARENJE IZOLACIJSKOG SUSTAVA

Starenje transformatora je nepovratno slabljenje funkcionalnih svojstava transformatora s vremenom. Ono se očituje kao porast vjerojatnosti kvara transformatora, odnosno kao smanjenje pouzdanosti pogona. Vijek trajanja transformatora jest vrijeme tijekom kojega on izvršava svoju zadaću na tehnički, ekonomski i ekološki zadovoljavajući način.

Starenje materijala od kojih je transformator izrađen treba razlikovati od starenja transformatora. Zadaća materijala je da izdrže naprezanja, a transfor-

Zahvaljujemo tvrtki Končar-Energetski transformatori d.o.o., Zagreb, koja je omogućila ovo istraživanje.

matora da funkcionira s odgovarajućom pouzdanosti. Starenje materijala očituje se kao nepovratno slabljenje bitnih svojstava materijala tijekom vremena. Vijek trajanja materijala jest trajanje naprezanja do trenutka kada bitna svojstva materijala dostignu granično niske vrijednosti, koje uvelike ovise i o dizajnu transformatora.

Starenje transformatora, u smislu pouzdanosti pogona, treba promatrati kao proces koji se odnosi na sve komponente transformatora. Međutim, u ovom radu istraživat će se samo starenje izolacijskog sustava, čiji su osnovni materijali ulje mineralnog podrijetla i papir.

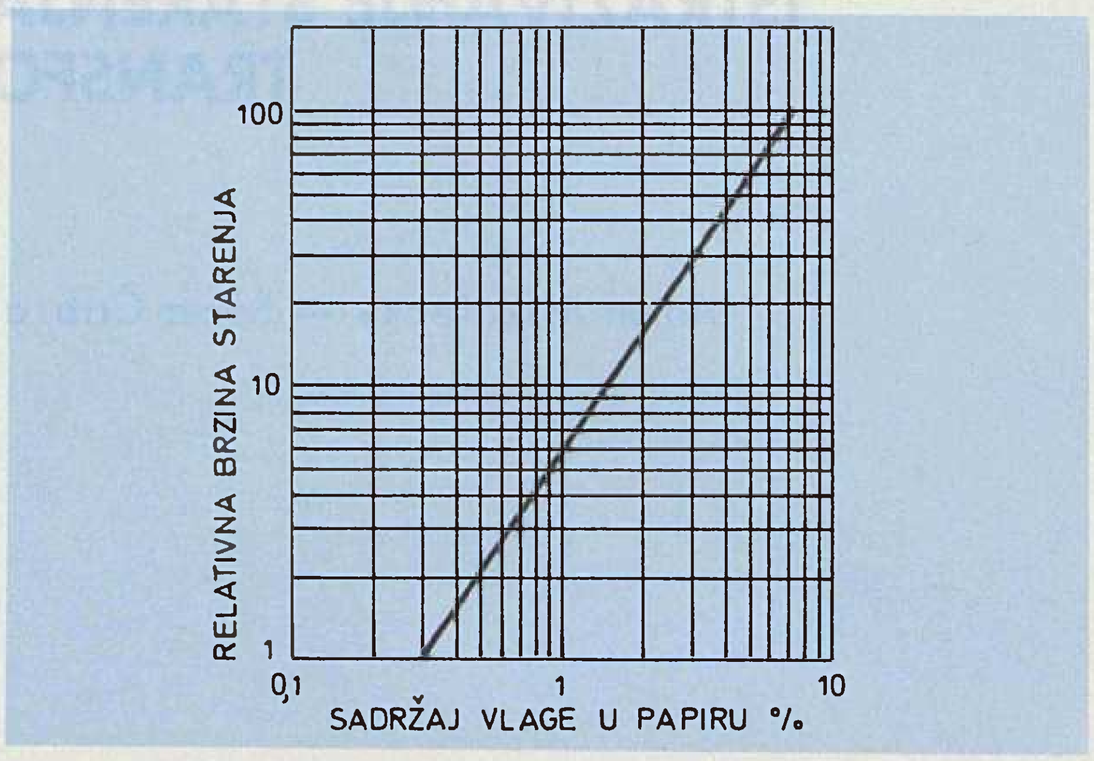
Starenje izolacijskog sustava složen je proces slabljenja njegovih električnih, mehaničkih i termičkih svojstava. Zadaća je izolacije transformatora da izdrži napon, podnese sile koje djeluju na namote i da omogući hlađenje dijelova koji se zagrijavaju. Izolacija je tijekom pogona izložena električnim, mehaničkim i termičkim naprezanjima. Sva ta naprezanja uzrokuju starenje i međusobno su usko povezana. Na primjer, starenje papirne izolacije rezultira slabljenjem mehaničkih svojstava papira, a time i smanjenjem otpornosti transformatora na dinamičke sile kratkog spoja, što kao krajnju posljedicu može imati proboj transformatora i/ili deformaciju namota. Isto tako, starenje ulja može generirati značajne količine smolastih produkata razgradnje ulja, koji — ako se nataložе na namote i hladnjake — mogu dovesti do pregrijanja odnosno ubrzanog termičkog starenja izolacije sa sličnim krajnjim posljedicama kao i u prvom primjeru.

2.1. Termičko starenje

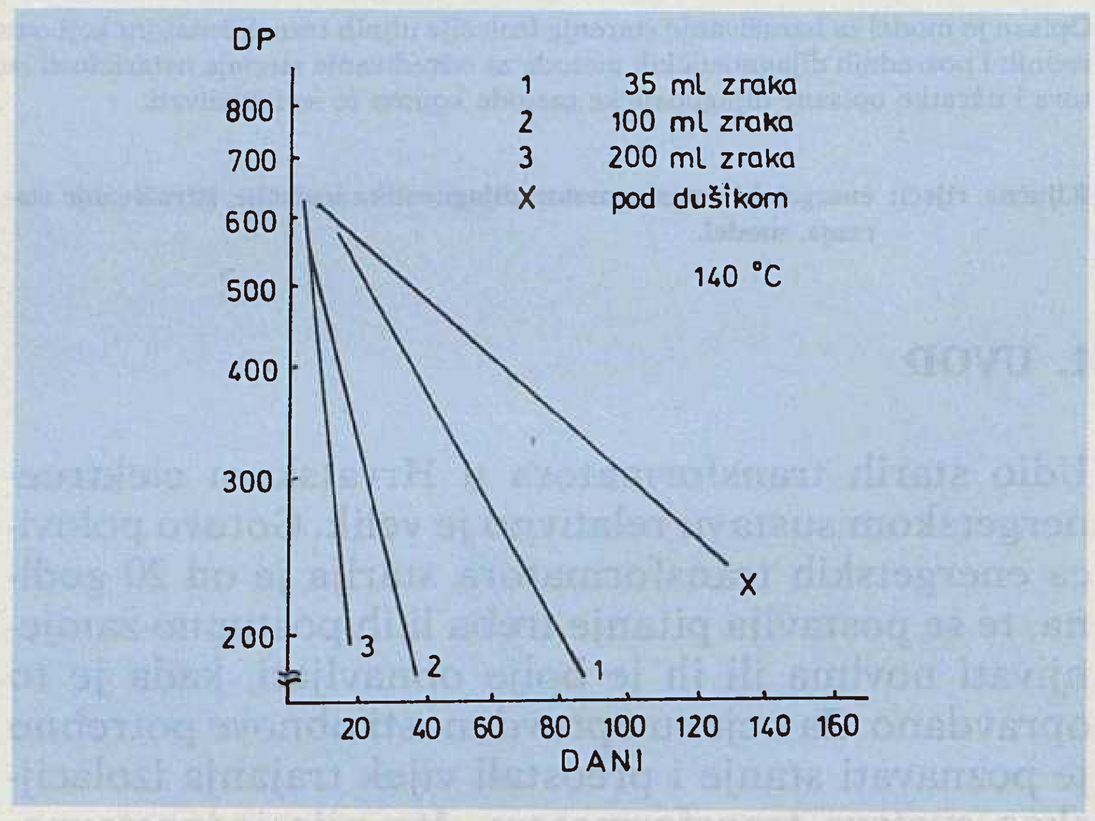
U prijašnjim IEC preporukama za terećenje transformatora [1] jedino se temperatura navodi kao činitelj koji utječe na brzinu starenja izolacije transformatora (ulje i papir), i to tako da svako povećanje temperature za 6 K, unutar temperaturnog područja od 80 do 140 °C, udvostručuje brzinu starenja.

U novim IEC preporukama za terećenje transformatora [2] navodi se ista ovisnost brzine starenja o temperaturi kao u [1], uz napomenu da ona ovisi i o sadržaju kisika i ovlaženosti izolacije, pri čemu ti utjecaji, na žalost, nisu kvantificirani. Prema laboratorijskim istraživanjima u Končar-IET i podacima iz literature [3, 4, 5] znatan je utjecaj sadržaja kisika i vlage na brzinu termičkog starenja izolacije (slika 1. i 2). Na izolaciju transformatora u pogonu (dakle realni sustav izložen složenim pogonskim uvjetima) pojedinačne utjecaje dobivene laboratorijskim ispitivanjima nije moguće jednostavno preslikati zbog međudjelovanja mnoštva utjecajnih veličina.

Sadržaj vlage i kisika u izolaciji transformatora postupno raste s trajanjem pogona zbog naplinjavanja ulja kisikom iz zraka putem otvorenog sustava disanja, prodora vlage u izolaciju zbog nesavršenosti dehidratora, te zbog toga što je voda jedan od produkata normalnog starenja papira. Zbog navedenih razloga brzina starenja izolacije novog transformatora znatno je sporija nego starog pri istim temperaturama [6]. Trajanjem pogona transformatora smanjuje se učinkovitost rashladnog sustava. Taj proces je najizraženiji kod OFWF i OFAF hlađenja i ima kao posljedicu postupno povećanje temperature rashladnog medija i ubrzanje procesa starenja starijih transformatora.



Slika 1. Utjecaj vlage na starenje papira [4]



Slika 2. Utjecaj dobave zraka na starenje papira

Ulje i papir su po sadržaju vlage u međusobnoj ravnoteži, pri čemu je ukupna količina vode znatno veća u papiru nego u ulju. S porastom temperature topljivost vode u ulju raste, a sadržaj vode u papiru opada [7], tj. dolazi do migracije vode u smjeru ulja. To znači da dijelovi papirne izolacije koji su na višom temperaturi imaju manji sadržaj vode nego oni na nižoj temperaturi. Ako promatramo brzinu starenja papira u transformatoru kao funkciju temperature i sadržaja vode, proizlazi da razlika u sadržaju vode ujednačava brzinu starenja papira na dijelovima namota s različitim temperaturama. Analizom u [8] ustanovljene su znatno manje razlike ostarjelosti papira gornjih i donjih krajeva namota nego što bi dobili računom uz uvažavanje gradijenata temperature u namotu i preporuka za račun brzine starenja papira prema uputama za terećenje transformatora [2]. Pozitivan efekt migracije vlage između papira i ulja na starenje izolacije jedan je od razloga zbog čega se smatra povoljnim pogon transformatora s približno konstantnom temperaturom [9]. Nagle promjene

temperature transformatora mogu dovesti do lokalnog prezasićenja vlagom papirne izolacije jer su brzine promjene temperature transformatora znatno veće nego brzine razmjene vlage između papira i ulja. Nejednolika raspodjela vlage povećava vjerojatnost proboja izolacije transformatora.

2.2. Naponsko starenje

Izolacija transformatora zbog naprezanja pogonskim naponom stari vrlo sporo ako je dimenzionirana u skladu sa standardima i tako da u pogonskim uvjetima nema parcijalnih izbijanja. Međutim vlaga, naplinjenost izolacije, prisutnost produkata degradacije izolacije i krutih nečistoća mogu znatno smanjiti napon početka parcijalnih izbijanja. U literaturi o starenju transformatora često se izolacijska svojstva papira povezuju s oštećenjem izolacije zbog gubitka mehaničkih svojstava nastalih kao posljedica termičkog starenja izolacije [3]. Uzimajući u obzir navedeno, može se reći da dielektrička čvrstoća izolacijskog papira slabi vrlo sporo ako nije mehanički oštećena.

2.3. Mehaničko starenje

Slabljenje mehaničkih svojstava izolacije tijekom pogona transformatora u osnovi znači slabljenje otpornosti transformatora na dinamičke sile kratkog spoja. Otpornost transformatora na kratki spoj postiže se odgovarajućim dimenzioniranjem namota, izolacije, steznog sustava namota i izvoda namota na maksimalne sile koje u vanjskom kratkom spoju mogu nastupiti. Osim toga, tijekom proizvodnje transformatora, primjenom prikladnih tehnoloških postupaka, osigurava se otpornost transformatora na kratki spoj kako je projektom predviđeno. Međutim, jedna od utjecajnih veličina — iznos aksijalnog prednaprezanja namota transformatora, tijekom pogona polagano opada [10]. Posljedica je smanjenje otpornosti transformatora na kratki spoj, pa taj proces uvjetno možemo smatrati starenjem unatoč tome što je dotlačivanjem namota tijekom obnove transformatora moguće postići izvorno prednaprezanje [11].

Dinamičke sile kratkog spoja kumulativno djeluju na namote, izolaciju i stezni sustav. To znači da svaka izloženost kratkom spoju smanjuje vijek trajanja transformatora. Ta je pojava u biti vrlo slična starenju, a temeljni utjecajni faktor je učestalost, intenzitet i trajanje kratkih spojeva. Prema [12] smatra se da su kratki spojevi česti ako je njihov broj veći od 10 u vijeku trajanja transformatora snaga 0.5 do 5 MVA, a veći od 5 za transformatore snaga 5 do 30 MVA. Također se preporučuje različito štićenje transformatora često izloženih kratkom spoju za razliku od transformatora kod kojih to nije slučaj.

3. DIJAGNOSTIČKE METODE ZA UTVRĐIVANJE OSTARJELOSTI IZOLACIJSKOG SUSTAVA TRANSFORMATORA

Stanje izolacijskog sustava može se procijeniti na temelju niza ispitivanja. Na temelju njih i kriterija za interpretaciju rezultata može se procijeniti i preostali vijek trajanja izolacijskog sustava. Te metode ispitivanja nazivamo dijagnostičkim metodama.

Dijagnostičke metode za utvrđivanje ostarjelosti izolacije energetskih transformatora mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine: a) neposredne — na uzorku materijala izvađenog iz transformatora mjeri se svojstvo koje odražava stupanj ostarjelosti i b) posredne — mjere se produkti razgradnje izolacije ili utjecaj produkata razgradnje na određene parametre transformatora.

a) *Neposredne dijagnostičke metode*

- Mjerenje mehaničkih svojstava papira provodi se na uzorcima. Rasipanje rezultata je veliko, pa je mjerenja potrebno provesti na velikom broju uzoraka papira. Zbog toga je ova metoda neprikladna za transformatore u pogonu [13].
- Mjerenje prosječnoga viskozimetrijskog stupnja polimerizacije papira (DP) jest određivanje prosječne dužine lanca molekule celuloze koja se skraćuje u ovisnosti o veličini i trajanju naprezanja. DP je u poznatoj korelaciji s mehaničkim svojstvima papira, te zbog toga ovu metodu možemo smatrati neposrednom. Za mjerenje je potrebna mala količina uzorka papira. Nedostatak metode jest visoka cijena uzimanja reprezentativnih uzoraka papira [14, 20].
- Fizikalno-kemijskom analizom ulja određuje se stupanj degradacije i onečišćenja ulja. Proširenom analizom ulja (ubrzano laboratorijsko starenje) procjenjuje se njegov preostali vijek trajanja. Metoda je vrlo prikladna za transformatore u pogonu [15, 20].

b) *Posredne dijagnostičke metode*

Temeljni nedostatak svih posrednih dijagnostičkih metoda za određivanje ostarjelosti izolacije jest taj što se općenito ne može razlučiti podrijetlo produkata razgradnje odnosno vrsta degradacije, tj. je li posrijedi starenje ili neki drugi proces. Treba dobro poznavati mehanizam stvaranja i odstranjivanja produkata degradacije, kao i njihov utjecaj na mjerene veličine, da bi se mogla donijeti kvalitetna ocjena.

- Kromatografska analiza plinova iz ulja omogućuje pouzdanu procjenu prisutnosti povećanih električnih i termičkih naprezanja u izolaciji mjerenjem plinovitih produkata razgradnje ulja i papira. Iznosi koncentracija i omjeri ugljičnog dioksida i monoksida upućuju na brzinu starenja papira. Tumačenje rezultata znatno ovisi o načinu disanja i režimu terećenja transformatora. Međutim, ovom metodom nije moguće ocijeniti preostali vijek trajanja izolacije [16, 17, 20].
- Visokoučinska tekućinska kromatografija furana iz ulja (HPLC) jest metoda koja omogućuje procjenu ostarjelosti papira na temelju sadržaja produkata razgradnje papira (furfuraldehida) otopljenih u ulju. Prednost je ove metode prema mjerenju DP što se mjerenje provodi na uzorcima ulja uzetim na jednostavan način kao za kromatografsku analizu. Metodu je prihvatila radna gru-

pa IEC, a kriteriji za interpretaciju rezultata još se razrađuju [7, 18, 19, 20].

— Otpor izolacije i njezin faktor gubitaka (tg δ) odražavaju opće stanje izolacijskog sustava ulje – papir. Određivanje stupnja ostarjelosti je problematično zbog teškoće razlučivanja utjecaja ovlaženosti od ostarjelosti i nepouzdanog preračunavanja rezultata mjerenja na referentnu temperaturu [20].

— Mjerenje polarizacijskog spektra izolacije (RVM) ubraja se u najnovije metode za određivanje stanja izolacije transformatora. Kriteriji za interpretaciju još uvijek se razrađuju. Problemi u primjeni vezani su za razlučivanje utjecaja ovlaženosti od ostarjelosti izolacije i preračunavanje na referentnu temperaturu. Među električnim metodama za određivanje ostarjelosti izolacije ova metoda najviše obećava [21, 22].

Niti jedna od poznatih dijagnostičkih metoda nije samostalno dovoljna za donošenje ocjene o ostarjelosti izolacije transformatora [20]. Direktne metode su pouzdanije, ali za analizu papira znatno su skuplje u primjeni. Dijagnostička vrijednost indirektnih metoda za određivanje ostarjelosti izolacijskog sustava ulje – papir ograničena je i nije dosta istražena.

4. OPIS MODELA ZA ISTRAŽIVANJE STARENJA IZOLACIJSKOG SUSTAVA TRANSFORMATORA

Za istraživanje starenja i dijagnostičkih mogućnosti metoda za određivanje ostarjelosti izolacijskog sustava izrađeni su posebni modeli. Konstrukcijom modela nastojalo se što više približiti realnim uvjetima termičkog starenja transformatora u pogonu, imajući na umu utjecajne parametre svojstva materijala, temperature, ovlaženost i sadržaj kisika.

Način disanja transformatora bitno utječe na brzinu starenja izolacije. U praksi se rabe dva načina disanja transformatora koji na različite načine omogućuju promjene volumena ulja izazvane promjenama temperature. Jedan je tzv. otvoreni sustav disanja kod kojeg je ulje transformatora u doticaju sa zrakom osušenim najčešće pomoću silikagela u dehidratoru. Drugi je zatvoreni sustav disanja kod kojeg ulje transformatora nije u dodiru sa zrakom okoliša — transformator je hermetički zatvoren, a promjene volumena ulja kompenzira gumena membrana u konzervatoru ili elastično izvedeni dijelovi kotla.

U ulju transformatora s otvorenim sustavom disanja znatno je veća koncentracija kisika nego kod transformatora sa zatvorenim sustavom disanja, te zbog intenzivnije oksidacije izolacija znatno brže stari.

Zbog toga su izrađena dva modela: jedan s otvorenim (model 1), a drugi sa zatvorenim sustavom disanja (model 2). Oba su modela izvedena s elastičnom prokronskom membranom (slika 1) koja omogućuje disanje hermetički zatvorenog modela 2. Kod modela 1 ona je maksimalno istegnuta i blokirana, a na njezinu vrhu je spojen uobičajeni dehidrator punjen silikagelom i opremljen uljnom stupicom. Spuštanje i dizanje membrane modela 1 omogućuje izmjenu zraka iznad ulja, te na taj način simulira disanje transformatora u pogonu.

S posebnom pozornošću birani su materijali za izradbu modela, osobito oni koji su u kontaktu s uljem zbog mogućega međusobnog kemijskog utjecaja. Uporabljeni su isključivo materijali koji se koriste u uljnim transformatorima. Izuzetak su brtve i provodni izolatori. Kao brtveni materijali korišteni su specijalni kemijski i temperaturno otporni materijali. Provodni izolatori su za ovu svrhu posebno izrađeni. Kroz standardno porculansko tijelo provučeni su izvodi namota i termoparova te zaliveni visokokvalitetnom zaljevnom masom. Unutrašnjost čeličnog kotla očišćena je pjeskarenjem i nije bojena.

Materijali koji sačinjavaju sustav izolacije modela (ulje i papir) od renomiranih su proizvođača, a koriste se već niz godina u proizvodnji energetskih transformatora. Omjeri količina ulja i papira, uključujući i pojedine vrste papira, u skladu su s omjerima koji se postižu u realnim transformatorima. Točnije, uzete su približno srednje vrijednosti tih omjera između starijih i novijih izvedaba transformatora. Računske mase papira i ulja modela te njihovi omjeri prema ulju za model i realne transformatore dani su u tablici 1.

Tablica 1. Mase papira i ulja u modelu i njihov relativan udio prema masi ulja za model i transformatore

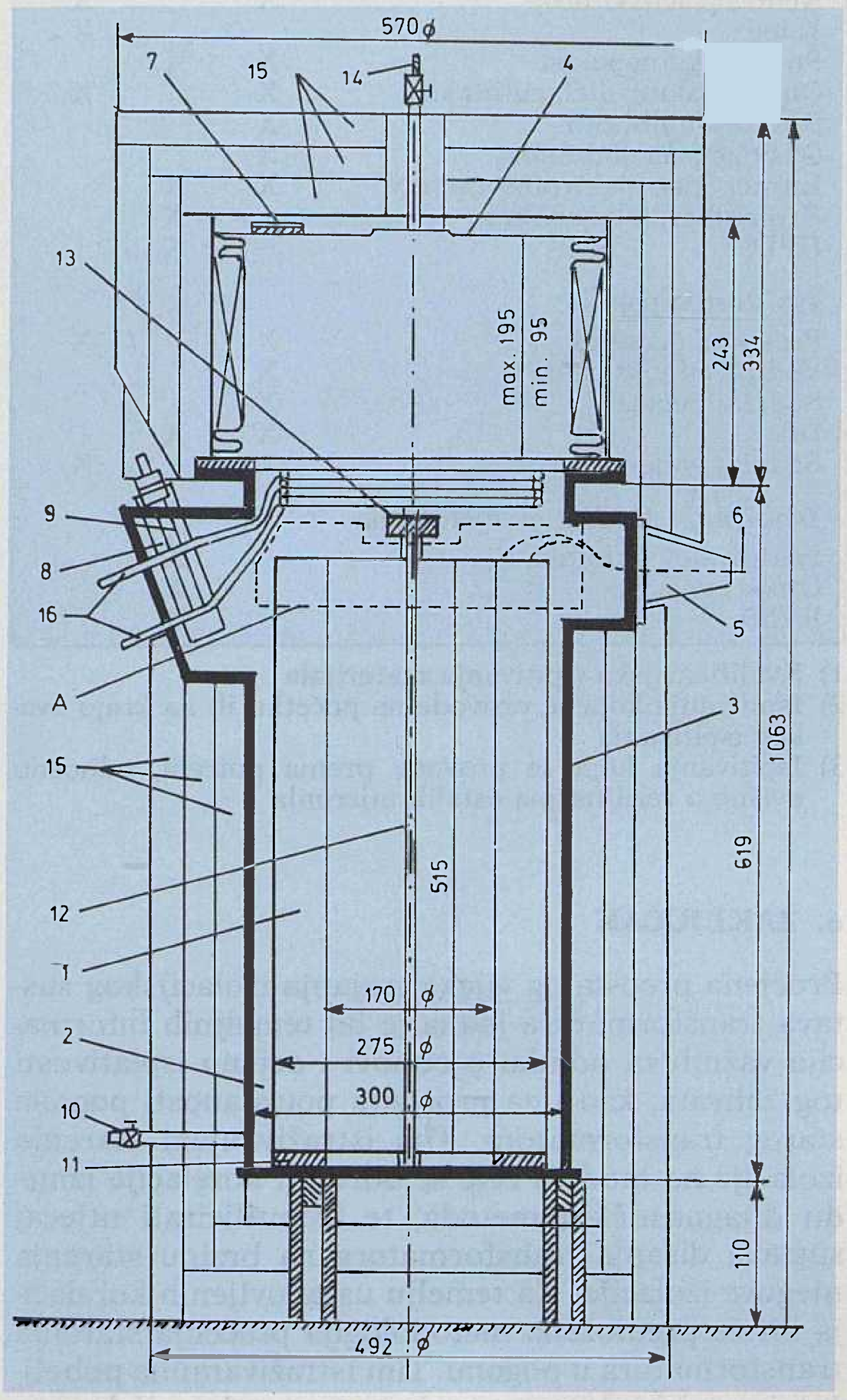
	U modelu		U transformatorima
	[kg]	[%]	[%]
papir na vodičima	1,85	4	3 do 5
tvrdi papir	5,57	12	7 do 15
papir ukupno	7,42	16	10 do 20
ulje	46,5	—	—

Uzimanje uzoraka ulja i papira tijekom ispitivanja modela ne smije znatnije mijenjati uvjete ispitivanja. Kao granična vrijednost postavljena je promjena mase ulja i papira od ±5% u odnosu prema srednjoj masi tijekom ispitivanja. Ovime je, uz stvarno potrebnu masu uzoraka za ispitivanja, određena masa (veličina) modela. Rezultat navedenoga relativno je velik model za laboratorijske uvjete.

Modeli se suše i impregniraju uljem pod vakuumom, slično transformatorima u proizvodnji, radi postizanja prosječnih pokazatelja osušenosti i naplinjenosti izolacijskog sustava.

U toplinskom smislu model je napravljen tako da temperatura bude približno jednaka po cijelom njegovu obujmu i da se tijekom vremena što manje mijenja. To je nužno ako se brzine starenja žele računski procjenjivati. To je postignuto odgovarajućom konstrukcijom modela (slika 1). Zbog toplinske izolacije modela bit će potrebna mala snaga zagrijavanja, što rezultira malim gustoćama toplinskog toka i malim razlikama temperatura namot – ulje, koje se procjenjuju na 1 K. Toplinskom izolacijom modela smanjena je snaga zagrijavanja oko deset puta. Pri izboru temperature na kojoj će se provoditi starenje treba imati na umu dva međusobno suprotna zahtjeva.

Trajanje eksperimenta ne smije biti predugo — maksimalno nekoliko mjeseci, a temperatura ne smije biti previše visoka kako bi izbjegli nepouzdanost preračunavanja zbog velikih iznosa faktora preračunavanja na stvarne temperature u transformatorima. Smatra se da će temperature između 120 do 130 °C zadovoljiti oba zahtjeva.

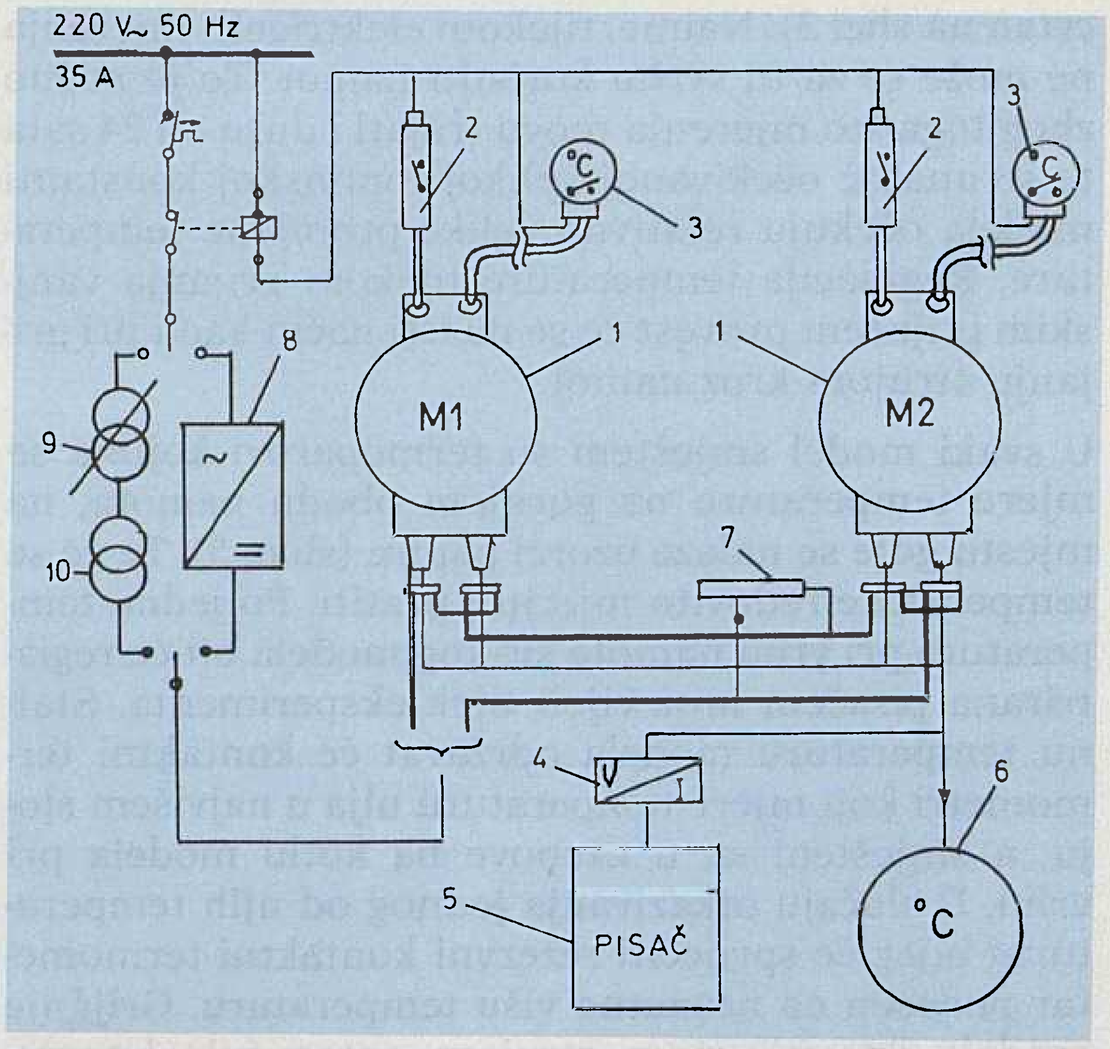


1 — namoti modela
2 — transformatorsko ulje
3 — kotao modela
4 — elastična membrana
5 — provodni izolatori
6 — izvodi namota i termoparova
7 — otvor za uzimanje uzoraka papira
8 — džepovi za termometre
9 — osjetilo kontaktnog i živinog termometra
10 — ventil za uzimanje uzoraka ulja
11 — ležište namota
12 — svornjak za stezanje namota
13 — elementi za stezanje namota
14 — odzračni ventil i priključak za dehidrator modela 1
15 — toplinska izolacija
16 — priključci vodenog hladnjaka

A — detalj namota, vidjeti sliku 5.

Slika 3. Model za istraživanje starenja sustava izolacije transformatora

Model se zagrijava strujom kroz namote, i to na dva načina. Dovođenje na željenu temperaturu provodi se izmjeničnom strujom i izvorom veće snage, a nakon što se ta temperatura postigne, prelazi se na istosmjeran stabilizirani izvor napajanja (slika 4). Namoti su zapravo četiri suosna dvoslojna svitka namotane bakrene žice 3,8 × 1 mm, izolirane papirom

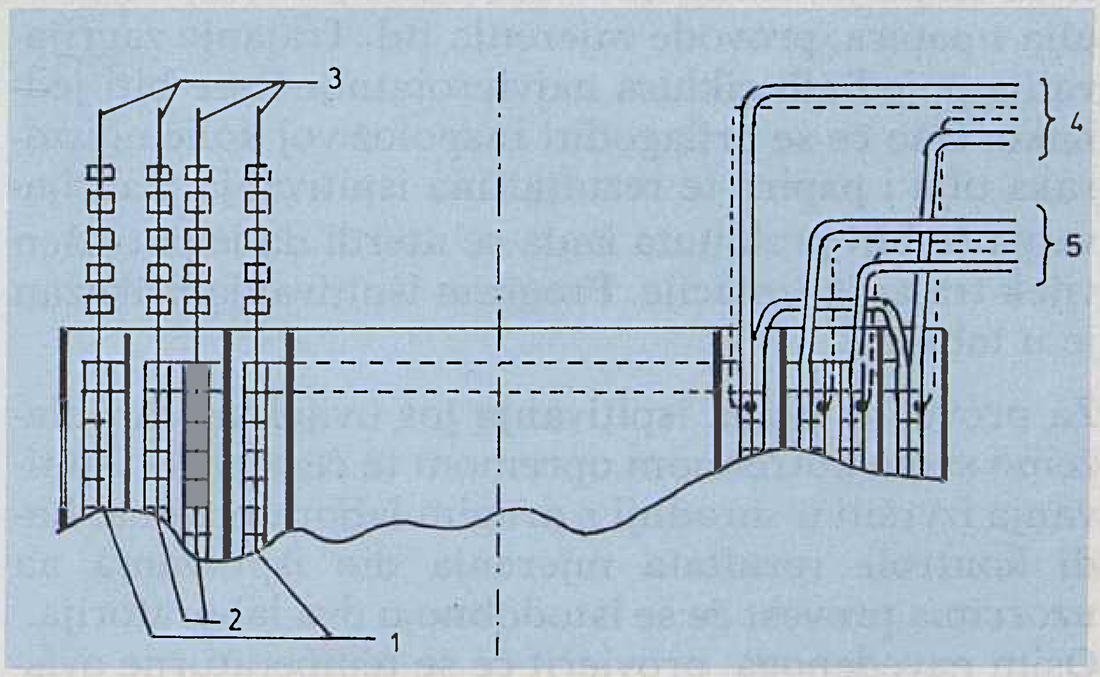


1 — modeli
2 — precizni kontaktni termometar
3 — pomoćni kontaktni termometar
4 — mjerni pretvornik
5 — pisač
6 — višekanalni digitalni termometar
7 — suotpornik
8 — stabilizirani istosmjerni izvor
9 — regulacijski transformator
10 — međutransformator

Slika 4. Napajanje modela, mjerenje i regulacija temperature

obostranog prirasta 0,79 mm (slika 5). Tijekom zagrijavanja svici su spojeni serijski, kao i oba modela. Eventualne razlike postignutih temperatura među modelima, zbog razlika u toplinskoj izolaciji ili otporu namota, kompenzirat će se suotpornikom spojenim na model koji se više zagrijava.

Modeli imaju ugrađenu spiralu za hlađenje vodom, čime se ubrzava hlađenje modela na željenu temperaturu. Time će se znatno pojednostaviti istraživanje utjecaja temperature na rezultate električnih dijagnostičkih metoda. Osim toga na dno modela s vanjske strane ugrađen je grijač čija je zadaća održavanje temperature na potrebnoj vrijednosti (nije na-



1 — namot 1
2 — namot 2
3 — uzorci papira
4 — izvodi termoparova i namota 1
5 — izvodi termoparova i namota 2

Slika 5. Detalj namota, smještaj uzoraka papira i termoparova

crtan na slici 3). Naime, tijekom električnih mjerenja ne može se za tu svrhu koristiti namot. To je nužno zbog toga što mjerenja mogu trajati i duže od 24 sata te se unatoč očekivanoj velikoj toplinskoj konstanti modela očekuju relativno velike promjene temperature. Regulacija temperature tijekom grijanja vanjskim grijačem provest će se na isti način kao i pri grijanju strujom kroz namot.

U svaki model smješteni su termoparovi kojima se mjere temperature na gornjem obodu namota, na mjestu gdje se nalaze uzorci papira (slika 5). Te će se temperature redovito mjeriti i pratiti. Po jedna temperatura pri vrhu namota svakog modela bit će registrirana pisačem kroz cijeli tijek eksperimenta. Stalnu temperaturu modela održavat će kontaktni termometri koji mjere temperaturu ulja u najvišem sloju, a smješteni su u džepove na kotlu modela pri vrhu. U slučaju otkazivanja jednog od njih temperaturni bijeg će spriječiti rezervni kontaktni termometar podešen na neznatno višu temperaturu. Grijanje modela istosmjernom strujom omogućuje istovremeno mjerenje srednje temperature namota $U-I$ metodom.

5. PROGRAM ISPITIVANJA

Program ispitivanja prilagođen jest određivanju korelacija između pojedinih dijagnostičkih metoda za procjenu ostarjelosti izolacijskog sustava ulje – papir. Na temelju ustanovljenih korelacija bit će predložena metodologija praćenja starenja transformatora u pogonu.

Prije sklapanja modela ulje i papir podvrgnuti su kvalifikacijskim i kontrolnim ispitivanjima. Nakon sušenja, impregnacije i mirovanja modela uzimaju se prvi uzorci ulja i papira i provodi prva serija električnih mjerenja. Uzorci papira uzimat će se kroz za to predviđen otvor na vrhu membrane, tijekom čega je površina ulja samo vrlo kratko izložena zraku. Nakon toga počinje prvi ciklus zagrijavanja u odabranom trajanju, zatim se model hladi, uzimaju uzorci ulja i papira, provode mjerenja itd. Trajanje zagrijavanja pojedinih ciklusa najvjerojatnije neće biti jednako. Ono će se prilagoditi raspoloživoj količini uzoraka ulja i papira te rezultatima ispitivanja. Zagrijavanja će biti prekinuta kada se utvrdi da je potrošen vijek trajanja izolacije. Program ispitivanja prikazan je u tablici 2.

Za provedbu plana ispitivanja još uvijek ne raspolažemo svom potrebnom opremom te će se neka ispitivanja izvršiti u suradnji s drugim laboratorijima. Radi kontrole rezultata mjerenja dio ispitivanja na uzorcima provest će se istodobno u dva laboratorija. Osim navedenoga, provjerit će se temperaturne ovisnosti rezultata mjerenja električnih metoda novih, djelomično ostarjelih i kritično ostarjelih modela.

Tablica 2. Program ispitivanja materijala i modela

	1)	2)	3)
Ispitivanja ulja			
Izgled i boja	X	X	
Gustoća i kinemat. viskoznost	X		
Plamište i stinište	X		
Sadržaj vode	X	X	
Neutralizacijski broj	X		X
Talog			X
Površinska napetost	X	X	
Otpor i faktor diel. gubitaka	X		X
Sadržaj inhibitora	X		
Oksidacijska stabilnost	X		
Infracrvena spektrofotometrija	X	X	
Kromatografska analiza		X	
HPLC		X	
Ispitivanja papira			
Prekidna čvrstoća	X		X
Vodlj. vod. ekstrakta	X		
Sadržaj pepela	X		
DP	X	X	
Sadržaj vode	X		X
Ispitivanja modela el. metodama			
Faktor diel. gubitaka		X	
Otpor izolacije		X	
RVM		X	

1) Kvalifikacijska ispitivanja materijala
2) Ispitivanja koja se provode na početku ili na kraju svakog ispitivanja
3) Ispitivanja koja se provode prema potrebi, odnosno ovisno o rezultatima ostalih mjerenja

6. ZAKLJUČAK

Procjena preostalog vijeka trajanja izolacijskog sustava transformatora jedna je od temeljnih informacija važnih za odluku o obnovi i ocjenu isplativosti tog zahvata, kao i za procjenu pouzdanosti pogona starog transformatora. Tim istraživanjem starenja izolacije na modelu žele se odrediti korelacije između dijagnostičkih metoda, te kvantificirati utjecaj sustava disanja transformatora na brzinu starenja njegove izolacije. Na temelju ustanovljenih korelacija bit će predložena metodologija praćenja starenja transformatora u pogonu. Tim istraživanjima poboljšat će se pouzdanost procjene preostalog vijeka trajanja izolacije energetskih transformatora. Osim toga, steći će se prijeko potrebna iskustva u primjeni novih dijagnostičkih metoda.

LITERATURA

[1] IEC Recommendation-Publication 354 (1972): Loading guide for oil-immersed transformers.
[2] IEC Standard-Publication 354 (1991): Loading guide for oil-immersed transformers.
[3] W. J. MCNUTT: »Insulation thermal life considerations for transformer loading guides«, Transactions on Power Delivery 7 (1992) 1, 392 – 401.
[4] H. P. MOSER: »Transformerboard«, EHV-Weidmann Lim., St. Johnsbury, Vermont, USA, 1979.
[5] L. PETTERSSON: »Estimation of the remaining service life of power transformers and their insulation«, Electra, 133 (1990), 65 – 71.

[6] B. PAHLAVANPOUR, R. LINAKER, E. POVAZAN: »Extension of life span of power transformer by on-site improvement of insulating materials«, IEE Colloquium on assessment of degradation within transformer insulation systems, London, 06. 12. 1991., Ref. 6.

[7] M. CARBALLEIRA: »HPLC contribution to transformer survey during service or heat run tests«, Electra, 133 (1990), 45 – 51.

[8] A. MIKULECKY, S. ČABRAJAC, J. TIŠOV, Z. GODEC, D. PAVELKA, V. PODOBNIK: »Istraživanje rješenja za produženje vijeka trajanja generatorskih transformatora NE Krško«, Končar-Institut za elektrotehniku, 1990.

[9] V. SHENOY: »Life extension of power transformers«, Paper presented at the CIGRE 1992 Sesion, Paris, 30. 08. – 05. 09.

[10] P. KIENAST: »Messung der axialen Wicklungseinspankrafte mit Dehnungsmebstreifen an Leistungstransformatoren«, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 87 (1988), Heft 10, 519 – 521.

[11] A. MIKULECKY, S. ČABRAJAC: »Održavanje energetskih transformatora«, Energija, 40 (1991) 6, 389 – 397.

[12] IEEE C 37.91 – 1985: Guide for protective relay (Appendix).

[13] IEC 554 – 2: Specification for cellulosic papers for electrical purposes, Part 2: Methods of test.

[14] IEC 450: Measurement of the average viscosimetric degree of polymerization of new and aged electrical papers.

[15] IEC 422: Supervision and maintenance guide for mineral insulating oils in electrical equipement.

[16] IEC 567: Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipement and for the analysis of free and dissolved gases.

[17] IEC 599: Interpretation of the analysis of gases in transformers and other oil-filled electrical equipement in sevice.

[18] J. GRAHAM, M. SAMAT, M. DUVAL, M. CARBALLEIRA, A. de PABLO HERMIDA, E. SPICAR: »Applications of liquid chromatography to the analysis of electrical insulating materials«, CIGRE, Paris, 1988, Paper WG SC 15.

[19] T. V. OOMMEN, E. M. PETRIE, R. B. van BREEMEN, C. A. HANEY: »Analysis of furanic compounds from cellulose aging by GC – MS and attempts to correlate with degree of polymerization«, CIGRE Symposium: Diagnostic and maintenance techniques, Berlin, 1993, 110 – 02.

[20] A. MIKULECKY, Z. GODEC, S. ČABRAJAC: »Prijedlog preporuka za redovito održavanje energetskih transformatora nazivnih snaga većih od 5 MVA«, HEP, Direkcija za proizvodnju, 1993.

[21] A. BOGNAR, G. CSEPES, I. HAMOS, I. KISPAL, P. OSVATH: »Comparing various methods for dielectric diagnostics of oil-paper insulation systems in the range of low-frequencies or long time-constants«, 8th International symposium on high voltage engineering, Yokohama, Japan, August 23 – 37, 1993, 99 – 103.

[22] G. CSEPES, I. HAMOS, I. KISPAL, J. SCHMIDT, A. BOGNAR: »A DC expert system (RVM) for checking the refurbishment efficiency of high voltage oil-paper insulating system using polarization spectrum analysis in range of long-time constants«, CIGRE 1994 Sesion, Paris, 12 – 206.

AGEING RESEARCH OF THE TRANSFORMER INSULATION SYSTEM

A model for research of oil transformer insulation system ageing is described, that unables choice and control of influence parameters on the ageing speed, as well as the usage of direct and indirect diagnostic methods for determination of the insulation oldness levell. Basic concepts from the field of transformer insulation system ageing process are explained and diagnostic methods, that are going to be used in the research, are briefly described.

DIE FORSCHUNG VON ALTERUNGSERSCHEINUNGEN IN DEN ISOLIERUNGSSYSTEMEN VON UMSPANNERN

Beschrieben ist ein Modell zur Untersuchung der Isolationsalterung von Transformatorenölen, welches sowohl die Auswahl der auf die Alterungsgeschwindigkeit Einflußübenden Parameter, als auch die Anwendung direkter und indirekter Methoden der Bestimmung des Alterungsgrades der Isolation ermöglicht. Gegeben sind die Begriffsbestimmungen aus dem Bereich der Alterung von Isolationssystemen in Transformatoren. Auch die der Forschung dienenden diagnostischen Methoden sind kurz beschrieben.

Naslov pisaca:

Antun Mikulecky, dipl. ing.
Sonja Čabrajac, dipl. ing.
dr. sc. Zdenko Godec, dipl. ing.
Končar — Institut za elektrotehniku
10000 Zagreb, Baštijanova b.b.
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995–11–03

PRIMJENA VJETROELEKTRANA U ELEKTROENERGETICI

Dr. sc. Danilo Feretić — Željko Tomšić, Zagreb

UDK 621.311.4:621.31

STRUČNI ČLANAK

Prikazuje se potencijal energije vjetra u proizvodnji električne energije i tehnološke osnove rada vjetroelektrane. Razmatraju se investicijski troškovi gradnje vjetroelektrane i daje se analiza energetskih i ekonomskih uvjeta rada vjetroelektrana u Hrvatskoj.

Ključne riječi: energija vjetra, vjetroelektrana, ekonomičnost vjetroelektrane.

UVOD

Porast interesa za iskorištavanje energije vjetra evidentan je u cijelom svijetu. Iako se energija vjetra iskorišta tisućama godina, razvoj tehnologija za korištenje energije vjetra koje će pomoći u zadovoljavanju potreba modernog svijeta velik je izazov. Sedamdesetih godina ovog stoljeća razumijevanje i znanje o tehnologijama za iskorištavanje energije vjetra bilo je još na elementarnoj razini, ali od tada je razvoj tehnologija načinio značajan korak. U samo petnaestak godina bile su razvijene male i srednje vjetroelektrane i već su u komercijalnoj uporabi, dok se eksperimentalne vjetroelektrane od nekoliko MW još ispituju.

Mnoge nepoznanice o tehnologijama za iskorištavanja energije vjetra su riješene, ali neke još ostaju.

Vjetar je vrlo promjenjivi izvor energije. Brzina vjetra se mijenja s geografskim položajem, s oblikom zemljišta, visinom iznad površine mora, s dobi dana i s godišnjim dobom.

1. ENERGETSKI POTENCIJAL VJETRA

Energija vjetra je energija kretanja atmosferskih masa koja nastaje zbog razlike tlaka zraka poradi nejednolikog zagrijavanja atmosfere Sunčevim zračenjem. Računa se da se oko 0,7% Sunčeve energije koja dospijeva na površinu Zemlje troši na pokretanje atmosferskih masa. Konverzija Sunčeve energije u kinetičku energiju plinova odvija se pretežno u višim slojevima atmosfere, na oko 12 km visine. Od te je energije samo oko 1% raspoloživo za korištenje u nižim slojevima atmosfere, što pak odgovara potencijalnoj snazi vjetra od oko 10 TW [1].

Brzine vjetrova su zbog manjeg trenja prosječno veće na površini oceana nego u unutrašnjosti kontinenata. Zbog toga su najbolje lokacije za iskorištenje energije vjetra na rubovima kontinenata koji graniče s oceanima (posebno na zapadnim rubovima). Suglasno tome optimalne lokacije za iskorištenje energije vjetra nalaze se na pacifičkoj obali SAD (Kalifornija) i na atlantskoj obali europskoga kontinenta (Danska, Švedska, Velika Britanija, Nizozemska, Francuska i Španjolska). Već u davna vremena u tim se zemljama koristila energija vjetra za pokretanje mlinova. Samo u Nizozemskoj je krajem 18. stoljeća u pogonu bilo oko 10 000 vjetrenjača. Potencijal energije vjetra posebno se ocjenjuje za postrojenja na kopnu i postrojenja na morskim platformama.

U nekim zemljama (Nizozemska, Danska, Njemačka, Švedska, Velika Britanija) razmatraju se uvjeti gradnje vjetroelektrana na platformama na morskoj pučini. Te lokacije imaju pogodnost veće brzine vjetra nego one na kopnu, manje ograničenje u pogledu izbora lokacije i manje smetnje stanovništvu. Eksperimentalna elektrana tog tipa izgrađena je u Švedskoj u blizini njezine jugozapadne obale. Riječ je o vjetroelektrani s turbinom snage 200 kW izgrađenoj 300 m od obale koja je temeljena na dubini 7 metara.

Energetski potencijal elektrana na vjetar koji bi mogao biti iskorišten do godine 2010. procijenjen je za neke zemlje koje su najizrazitiji potencijalni korisnici te vrsti energije. Podaci su navedeni u tablici 1. [1] [2]

Tablica 1. Energetski potencijal vjetra u nekim zemljama koji bi se mogao koristiti do godine 2010.

Zemlja	Energetski potencijal elektrana na vjetar do godine 2010. u TWh godišnje
SAD	500
Velika Britanija	80
Njemačka	35
Danska	70
Nizozemska	20
Švedska	10

Potencijal vjetroelektrana ovisi o propisima zaštite okoliša (propisane udaljenosti vjetrenjača od naseljenih područja).

Korištenje energije vjetra za proizvodnju električne energije moguće je za opskrbu pojedinačnih potrošača ili elektroenergetskog sustava.

U prvom slučaju posrijedi su potrošači koji su priključeni na elektranu na vjetar tipične snage 10 do 100 kW, a paralelno s njom, kada je energija vjetra nedostatna, mogu se opskrbiti iz drugoga vlastitog izvora (najčešće dizel-agregat) ili iz električne mreže. U drugom slučaju govorimo o elektranama u pravom smislu. Tu je obično riječ o sustavima s mnogo vjetroelektrana na istoj lokaciji (što se u literaturi naziva farmom).

2. TEHNIČKI OSNOVI RADA ELEKTRANA NA VJETAR

Elektrane na vjetar pretvaraju kinetičku energiju kretanja zračne mase u energiju okretanja zračne turbine (vjetrenjače).

Ako je A površina koju opisuje vjetrenjača promjera D pri okretanju, masa zraka brzine v i gustoće ρ koja u jedinici vremena prolazi kroz tu površinu iznosi $Av\rho$.

Snaga koja se može dobiti iz te mase zraka jest:

$$P = (Av\rho)\frac{v^2}{2} = \frac{A\rho}{2}v^3 \text{ [W]} \tag{2.1}$$

Od te je snage u teorijski optimalnom slučaju moguće iskoristiti 16/27 dio (što je dokazao Betz još 1919. godine [4]), tako da je maksimalno moguća snaga na osovini vjetrenjače

$$P_{max} = (8/27)\,A\rho v^3 = 0{,}296\,A\rho v^3 = 0{,}232\,D^2\rho v^3 \text{ [W]}$$

Budući da je gustoća zraka približno konstantna, maksimalno moguća snaga je razmjerna produktu D^2v^3.

Stvarna snaga vjetrenjače niža je od maksimalno moguće te iznosi:

$$P_s = 0{,}232\,\eta D^2\rho v^3 \text{ [W]} \tag{2.2}$$

gdje je η faktor niži od jedinice i predstavlja odnos izlazne snage na osovini i teorijski maksimalne snage. Kod modernih vjetroelektrana s vjetrenjačom od dvije lopatice odnos $P_s/P = 0{,}591\,\eta$ i iznosi između 0,35 i 0,55. Treba još računati i sa stupnjem učinkovitosti generatora, pa se ukupni stupanj djelovanja η može procijeniti na 0,34 – 0,54. Računat ćemo s najpovoljnijim stupnjem djelovanja, tj. s vrijednošću 0,54.

Gustoća zraka je oko 1,25 kg/m^3. Uz dane vrijednosti koeficijent uz D^2v^3 u izrazu (2.2) postaje oko 0,157. Može se nadalje izraziti i snagu po jedinici površine. Koristeći se navedenim vrijednostima dobivamo:

$$p = 0{,}29\,\eta v^3 \text{ [W/m}^2\text{]} \tag{2.2}$$

Snaga dobivena po jedinici površine ovisi jedino o brzini vjetra i faktoru učinkovitosti pretvorbe energije η. Ovisnost specifične snage o brzini vjetra veoma je izražena (treća potencija), pa je opravdanost gradnje vjetroelektrana izrazito ovisna o prosječnoj brzini vjetra i vremenskom rasporedu te brzine tijekom godine. Brzina vjetra je podložna brzim promjenama, znatno više nego protok vodotoka, jer u samo nekoliko minuta mogu nastati znatne promjene brzine vjetra.

Proračun proizvedene energije u vjetrenoj elektrani traži poznavanje učestalosti pojave vjetra određenog intenziteta.

Raspodjela vjerojatnosti pojave određene brzine vjetra određuje se funkcijama raspodjele [7], od kojih je univerzalno primjenjiva Weibullova funkcija raspodjele koja ima oblik:

$$p(v) = \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \tag{2.3}$$

gdje je c konstanta ovisna o srednjoj brzini vjetra, a k koeficijent koji varira u granicama 1,8 do 2,2.

Ako je koeficijent $k = 2$ Weibullova raspodjela prelazi u jednostavniju i češće primjenjivanu Rayleighovu raspodjelu koja ima oblik:

$$p(v) = \frac{2v}{c^2} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^2} \tag{2.4}$$

Ako se funkcija $p(v)\,dv$ raspodjele integrira u nekim granicama brzina, onda dobivena vrijednost određuje vjerojatnost pojave vjetra u tim granicama brzine u nekom razdoblju. Obično se računa s razdobljem od godine dana. Integral te funkcije u granicama od nula do neizmjerno jednak je jedinici.

Na osnovi Rayleighove raspodjele možemo jednostavno odrediti vezu između konstante c i srednje brzine vjetra postavkom:

$$\bar{v} = \frac{\int_0^\infty p(v)\,v\,dv}{\int_0^\infty p(v)\,dv} = \frac{\sqrt{\pi}}{2}c \tag{2.5}$$

ili

$$c = \frac{2\bar{v}}{\sqrt{\pi}} \tag{2.6}$$

Uz danu vrijednost konstante c Rayleighova raspodjela se može izraziti kao:

$$p(v) = \frac{\pi v}{2\bar{v}^2} e^{-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2} \tag{2.7}$$

Vidimo da raspodjela učestalosti pojave vjetra koja zadovoljava Rayleighovu raspodjelu ovisi samo o srednjoj brzini vjetra na lokaciji.

U analizi moguće proizvodnje električne energije u vjetrenoj elektrani nas ne zanima samo raspodjela brzine vjetra u danom razdoblju nego i raspodjela proizvedene snage. Funkcija raspodjele omogućuje nam da preko nje izrazimo prosječnu vrijednost brzine vjetra na treću potenciju $(v^3)_{sr}$. Ta se na temelju funkcije raspodjele $p(v)$ određuje iz relacije:

$$(v^3)_{sr} = \frac{\int_0^\infty v^3 p(v)\,dv}{\int_0^\infty p(v)\,dv} = \frac{6}{\pi}(\bar{v})^3 = 1{,}91(\bar{v})^3 \tag{2.8}$$

Srednja vrijednost kubične brzine vjetra na treću potenciju gotovo je dva puta veća od srednje brzine vjetra na treću potenciju. To pokazuje da je snaga vjetrene elektrane računata na temelju srednje brzine vjetra znatno podcijenjena.

Mjerenja su pokazala da su razlike još veće jer teorijska Rayleighova raspodjela daje pri većim brzinama vjetra nešto manju učestalost pojave od mjerene. Raspodjela pri većim brzinama bliže je mjerenim vrijednostima ako se umjesto Rayleighove uzme Weibullova raspodjela s koeficijentom k od oko 1,5. Mišljenje o boljoj prilagodbi teorijske raspodjele brzina vjetra s mjerenim vrijednostima kada se ona izrazi Weibullovom raspodjelom umjesto Rayleighovom raspodjelom navodi i Beenstock [8].

Proračun srednje brzine i srednje vrijednosti kubične brzine vjetra na temelju Weibullove raspodjele (2.3) dovodi do izraza:

$$\bar{v} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \tag{2.9}$$

$$(v^3)_{sr} = c^3\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \tag{2.10}$$

Odnosi konstanti c i srednjih brzina određeni su gama funkcijama.

Odnos srednje vrijednosti kubične brzine vjetra na lokaciji i srednje brzine vjetra na treću potenciju možemo na osnovi danih izraza definirati kao:

$$\frac{(v^3)_{sr}}{(\bar{v})^3} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right)^3} \tag{2.11}$$

Uz $k = 1{,}5$ odnos se svodi na:

$$\frac{(v^3)_{sr}}{(\bar{v})^3} = \frac{\Gamma(3)}{(\Gamma(1{,}667))^3} = \frac{2\Gamma(2)}{(\Gamma(1{,}667))^3} = 2{,}73$$

Analizom karakteristika vjetra na lokaciji Vir prof. Požar [6] utvrdio je da je moguća proizvodnja vjetrene elektrane promjera 100 m na toj lokaciji računana na temelju prosječne godišnje brzine vjetra (5,476 m/s) 2 517 MWh, dok je proizvodnja iste elektrane određena iz desetominutnih prosječnih brzina vjetra na lokaciji (dakle na temelju brzine vjetra koja dovoljno točno slijedi godišnju funkciju raspodjele) 6 866 MWh. Iz tih podataka možemo zaključiti da raspodjela brzine vjetra na lokaciji Vir odgovara Weibullovoj raspodjeli s koeficijentom $k = 1{,}5$, jer je odnos navedenih energija 6 866/2 517 = 2,73, što se vrlo dobro poklapa s odnosom izračunanim na temelju takve raspodjele.

Do sličnog rezultata dolazi i prof. Kulišić analizom spektra učestalosti vjetra na području Zagreba [7]. Tu se pri srednjoj godišnjoj brzini vjetra od 1,93 m/s navodi mjerenjem utvrđena srednja vrijednost kubične brzine od 2,7 m/s. Odnos kubusa tih brzina $(2{,}7/1{,}93)^3$ iznosi 2,74.

Iz navedenog zaključujemo da se Weibullova funkcija raspodjele brzina vjetra iz koje proizlazi raspodjela generirane snage u dobroj suglasnosti s mjerenjima dobiva iz relacija (2.3) i (2.9) uz koeficijent $k = 1{,}5$:

$$p(v) = 1{,}285\,\frac{v^{0,5}}{\bar{v}^{1,5}}\,e^{-0{,}857\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^{1,5}} \tag{2.12}$$

Poznavanje funkcije raspodjele brzina vjetra na lokaciji dopušta njezino korištenje za izračunavanje niza drugih parametara.

Numeričkom integracijom funkcija $p(v) = f(v)$ i $v^3 p(v) = f(v)$ u granicama brzina vjetra koji su relevantni za danu lokaciju, odnosno u granicama unutar kojih radi vjetroelektrana, mogu se dobiti pokazatelji koji definiraju energetske parametre elektrane.

Brzina vjetra varira u širokim granicama stoga elektranu na vjetar moramo dimenzionirati vodeći brigu o sljedećim parametrima:

- najnižoj brzini vjetra pri kojoj elektrana počinje s radom,
- najvišoj brzini vjetra pri kojoj se elektrana obustavlja,
- brzini vjetra iznad koje elektrana daje nominalnu snagu.

Kolika će se snaga vjetra odabrati kao referentna za dimenzioniranje elektrane, ovisi dakako o optimiranju odnosa cijena gradnje elektrane i cijene dobivene energije. Grubb [5] uzima kao referentni slučaj za proračun proizvedene energije u vjetrenoj turbini da turbina daje punu snagu između 1,6 i 3,2 prosječne brzine vjetra na lokaciji, a snaga joj pada na nulu (turbina se obustavlja) kod 0,8 prosječne brzine vjetra (odnosno kod osmine nominalne snage). Budući da vjetroturbina određene veličine mijenja snagu proporcionalno s v^3, to će specifična investicija vjetroturbine biti razmjerna s $(1/v)^3$. Prosječna brzina vjetra na lokaciji presudno utječe na ekonomičnost vjetroturbina.

Brzina vjetra raste s visinom iznad tla. Standardna visina mjerenja brzine vjetra je na oko 10 m visine. Brzina vjetra v_H na visini H može se dobiti množenjem brzine na visini 10 m faktorom $(H/10)^p$, gdje je eksponent p oko 0,14 [4]. Budući da su obično visine osovine vjetroturbine 60 do 100 m iznad tla, brzine vjetra će na tim visinama biti 1,28 do 1,38 puta veće od brzine vjetra na visini 10 m.

Drugi podatak bitno značajan jest vrijeme trajanja korištenja maksimalne snage vjetroturbine.

3. STATUS KORIŠTENJA ENERGIJE VJETRA U SVIJETU

Energija vjetra za proizvodnju električne energije do sada je najviše korištena u SAD, Danskoj, Velikoj Britaniji, Nizozemskoj i Njemačkoj. U nekoliko drugih zemalja korištenje te energije bilo je ograničeno na pojedinačne i uglavnom eksperimentalne slučajeve. Status korištenja energije vjetra u nekim zemljama OECD daje tablica 2. [2] [7]

Vremena iskorištenja instalirane snage vjetroelektrana u zemljama u kojima su one trajno uključene u električnu mrežu (to su zemlje u kojima su uvjeti za korištenje energija vjetra među najpovoljnijima) na temelju podataka iz tablice iznose:

Danska: 1 146 sati, Njemačka: 789 sati, SAD: 1 279 sati.

Tablica 2. Korištenje energije vjetra u zemljama OECD 1990. godine

Zemlja	Broj vjetroturbina trajno priključenih na električnu mrežu	Instalirana snaga elektrana na vjetar MW	Proizvedena električna energija GWh
Australija	–	1,0	–
Danska	2 250	253	290
Japan	–	2,0	–
Nizozemska	–	40,0	–
Njemačka	111	19,0	15
SAD	16 000	1 407	1 800
Švedska	–	9,0	11,4
Velika Britanija	–	8,8	29

Snage vjetroturbina većih snaga koje su instalirane u pojedinim zemljama OECD-a u kW, kao i godine instaliranja daju sljedeći pregled:

Danska: 2 000 (1978), 630 (1979), 630 (1980), 5 × 750 (1986), 2 000 (1987)
Italija: 1 500 (1989)
Kanada: 500 (1984), 4 000 (1987)
Nizozemska: 1 000 (1984), 2 × 500 (1989)
Njemačka: 3 000 (1983), 3 000 (1987), 640 (1988), 2 × 640 (1989), 1 200 (1990), 1 200, 750, 3 000 (1991)
SAD: 2 000 (1979), 2 × 2 500 (1980), 5 000, 4 000 (1981), 2 000, 2 500 (1982), 7 500, 2 500 (1986), 14 × 600 (1987), 2 500, 3 200 (1988).
Španjolska: 1 200 (1989)
Švedska: 3 000 (1982), 2 000 (1983), 750 (1987), 3 000 (1988)
Velika Britanija: 3 000 (1987), 750 (1988), 1 000 (1980), 500 (1990).

Iako većina instaliranih vjetroturbina ima snagu veću od 1 MW, analiza izvršena u EPRI-u (Electric Power Research Institute, Palo Alto, USA) pokazuje da se optimum odnosa cijene turbine i cijene proizvedene energije postiže pri snazi vjetroturbina u granicama 300 – 750 kW [2]

4. INVESTICIJSKI TROŠKOVI VJETROTURBINA

Snaga vjetroturbine ovisi o faktoru $v^3 D^2$ (izraz 2.2), a investicijski troškovi uglavnom o promjeru turbine. Prema Beurskensu [1], investicijski troškovi vjetroturbina u Europi su razmjerni površini koju opisuje lopatica (dakle razmjerni s D^2), iz čega slijedi već prije navedeni zaključak da su specifični investicijski troškovi na raznim lokacijama proporcionalni s v^{-3}. Suglasno navedenome karakteristična je za specifične investicijske troškove vjetroelektrana na nekoj lokaciji malena ovisnost o snazi, tako da se specifična cijena turbina u rasponu snaga od nekoliko stotina kilovata do nekoliko megavata kreće između 1 500 i 2 000 US$/kW. Suprotno očekivanju, velike turbine su po jedinici snage skuplje od manjih zbog pomanjkanja serijske proizvodnje. Prema IAEA-TECDOC-646 investicijski troškovi vjetroelektrana u razvijenom tržištu trebali bi biti: za snagu 50 kW 1 800 US$/kW, za snagu 200 kW 1 400 US$/kW, a za snagu 4 MW 2 000 US$/kW (vrijednost US dolara iz 1987. godine).

U praksi ima i odstupanja. Tako je primjerice vjetroelektrana snage 1,2 MW, naručena 1987. u Njemačkoj, stajala čak 3 200 US$/kW. Cijena pak takve elektrane snage 3 MW instalirane 1989. godine u Švedskoj bila je 1 780 US$/kW [2]. Najniža cijena vjetroelektrane snage 3 MW jest ona izgrađena u Velikoj Britaniji 1987. godine, čija cijena, prema Grubbu [5], iznosi oko 1 600 US$/kW.

Mnogi autori predviđaju znatan pad investicijskih troškova vjetroturbina [2] (spominju se čak vrijednosti između 200 i 300 US$/kW) ako se počnu serijski proizvoditi.

Cijena vjetroturbine s generatorom iznosi oko 50% cijene vjetroelektrane [1]. Ostatak investicijskih troškova su troškovi projekta, pripreme i uređenja gradilišta i pristupnih cesta, komunikacija, transformatorske stanice, građevinskih radova (čiji znatan dio je čini cijena temeljenja i nosećeg tornja s potpornom konstrukcijom), spoj na električnu mrežu, montaža, uređenje lokacije i dr.

Navedena očekivanja, smanjenja investicijskih troškova vjetroelektrana u budućnosti se uglavnom odnose na cijenu samih vjetroturbina, a znatno manje na troškove infrastrukture.

Troškovi pogona i održavanja vjetroelektrana obično se navode kao postotak investicijskih troškova godišnje. Taj postotak se u prosjeku ocjenjuje između 1% i 2% [1]. To znači: ako uzmemo srednju vrijednost od 1,5% godišnje, godišnji bi troškovi pogona i održavanja vjetroelektrane čija investicijska suma iznosi 1 700 US$/kW iznosili oko 25,5 US$/kW godišnje.

Na temelju podataka iz tablice 2. vidimo da je vrijeme korištenja instalirane snage izvedenih vjetroelektrana u zemljama koje sadrže najbolje lokacije za njihovu gradnju reda 1 200 sati godišnje.

Kod vjetroelektrana računa se s trajanjem komercijalnog pogona od 20 godina.

Ako uzmemo u račun prosječne kamate na uložena sredstva za gradnju elektrane od 7% godišnje i njihovu otplatu u razdoblju komercijalnog rada elektrane, cijena energije iz vjetrene elektrane uz investicijsku sumu od 1 700 US$/kW, cijenu održavanja 25,5 US$ godišnje te korištenje instalirane snage 1 200 sati godišnje iznosi:

$$\frac{1\,700 \times 0{,}07}{1\,200 \times (1 - 1{,}07^{-20})} + \frac{25{,}5}{1\,200} = \\ = 0{,}155 \text{ US\$/kWh} = 15{,}5 \text{ US centi/kWh} \quad (4.1)$$

5. ENERGETSKI I EKONOMSKI UVJETI RADA VJETROELEKTRANE U HRVATSKOJ

Hrvatska svojim smještajem pripada područjima svijeta u kojima su najpovoljniji uvjeti za iskorištenje energije vjetra u elektroenergetici. Već je napomenuto da su optimalna područja na zapadnim obalama Europe i Sjeverne Amerike (posebno u Velikoj Britaniji, Danskoj, Nizozemskoj i sjevernoj Njemačkoj te

u Kaliforniji), jer na obalama mora u tim područjima srednje godišnje brzine vjetra dosežu iznose iznad 8 m/s, a na morskoj pučini i više od 9 m/s.
U Hrvatskoj je jedna od najpovoljnijih lokacija za korištenje energije vjetra ona na otoku Viru i za nju postoje dugogodišnja mjerenja brzine vjetra. Prosječne mjesečne brzine vjetra na toj lokaciji dane su tablicom 3. [6]

Tablica 3. Prosječne mjesečne brzine vjetra na lokaciji Vir

Mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
v_{sr} m/s	8,003	5,216	5,421	5,291	5,026	4,298	4,824	4,380	3,179	7,156	6,282	5,567

Prosječna godišnja brzina vjetra na lokaciji jest 5,476 m/s.

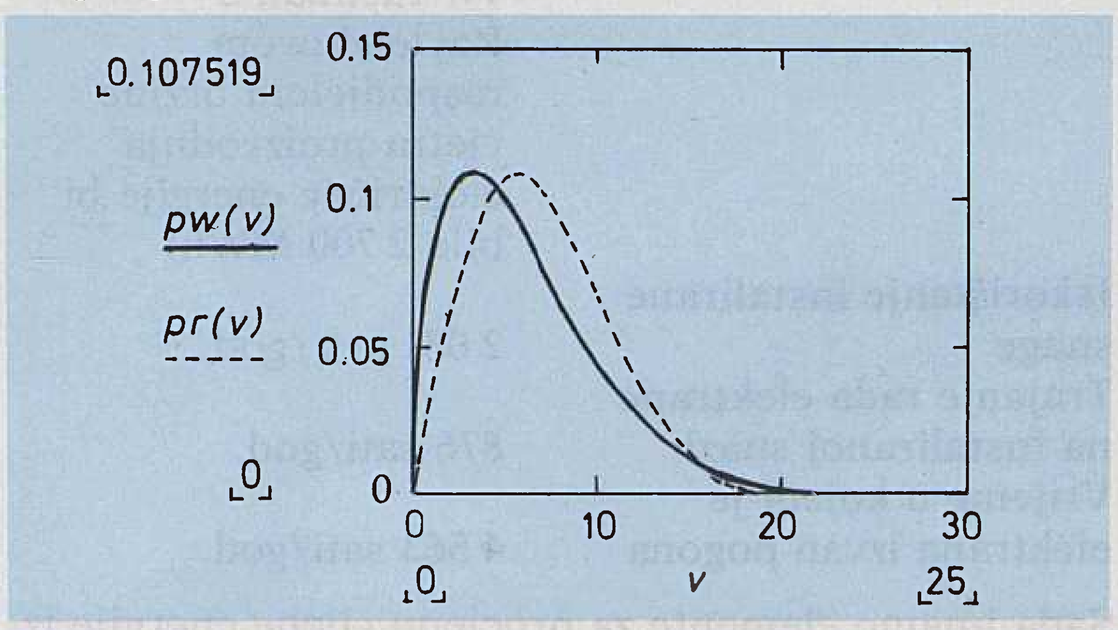
Smatrat ćemo da su, prema standardnoj praksi, brzine vjetra mjerene na visini otprilike 10 m, što znači da će na visini osi vjetroturbine (na oko 40 m visine) biti $4^{0,14} = 1,21$ puta veće. Prosječna godišnja brzina vjetra s kojom ćemo računati snagu i proizvedenu energiju vjetrene turbine na lokaciji Vir bit će oko 6,65 m/s.

Već je navedeno da podrobna mjerenja brzina vjetra na lokaciji Vir (u desetominutnim razmacima) pokazuju dobro slaganje s Weibullovom raspodjelom s koeficijentom $k = 1,5$, koja je dana relacijom (2.12).
Za ekonomičnost vjetroelektrane najvažniji je izbor brzine vjetra pri kojoj elektrana postiže instaliranu snagu. Ako se prisjetimo navoda da specifična investicija vjetroturbina malo ovisi o snazi, logično je da će se bolja ekonomičnost postići pri manjim snagama jer je tada vrijeme korištenja instalirane snage veće. Premala snaga također nije ekonomična jer tada počinje jače djelovati utjecaj troškova infrastrukture i uređenja zemljišta. To je razlog da je, kao što je napomenuto, EPRI u svojim analizama došao do spoznaje da je ekonomičnost vjetroelektrana, ovisno o lokacijama, najpovoljnija u području instaliranih snaga 300 – 750 kW po jedinici.

Ako, nadalje, prema Grubbu [3] uzmemo kao standardnu postavku da će vjetrena elektrana početi s proizvodnjom pri brzini vjetra 80% prosječne, da će dati nominalnu snagu pri brzini vjetra 160% prosječne i da će biti obustavljena pri brzini vjetra iznad 320% prosječne brzine (to u slučaju lokacije Vir odgovara brzinama vjetra na visini 40 m od 5,32 m/s, 10,6 m/s i 21,2 m/s), dobivamo na temelju navedene funkcije raspodjele brzine vjetra na lokaciji da će elektrana proizvoditi nominalnu snagu 17,3% vremena (1 515 sati godišnje), da će raditi sa smanjenom snagom 37% vremena (3 241 sat godišnje), dakle ukupno će biti u pogonu 54,3% vremena (4 756 sati godišnje). Elektrana je u prosjeku oko 4 000 sati godišnje izvan pogona. Snaga elektrane s lopaticama promjera 60 m jest 680 kW, a vrijeme iskorištenja instalirane snage 2 810 sati godišnje.

Elektranu možemo dimenzionirati i za drugu brzinu vjetra. Ako bi se, primjerice, ona dimenzionirala tako da postiže nominalnu snagu pri dvostrukoj prosječnoj brzini vjetra, njezina bi snaga narasla na 1 330 kW, ali bi vrijeme iskorištenja instalirane snage palo na oko 1 940 sati godišnje.
Da bismo došli do utemeljene procjene cijene energije iz vjetroturbine na lokaciji Vir, potrebno je računati s karakteristikama pojave vjetra na toj lokaciji, ali i sa svjetskim iskustvima u procjeni investicijskih troškova za gradnju vjetroturbina.
Detaljne studije investicijskih troškova gradnje vjetroturbina izrađene su u Velikoj Britaniji jer tamo postoje i veoma pogodne lokacije za gradnju takvih postrojenja. Primjera radi, na najpovoljnijim lokacijama u Škotskoj i Irskoj postižu se specifične snage vjetroturbina od približno 600 W/m², a u istočnijim dijelovima Europe manje od polovice te snage.
Za referentnu lokaciju u Velikoj Britaniji uzeta je prosječna godišnja brzina vjetra od 8 m/s na visini 60 m i za te je uvjete procijenjena krajem 1980-ih godina specifična investicija vjetroturbine zajedno s montažom, ali bez troškova zemljišta i priključka na mrežu, 1 600 US$/kW (gradnja na pripremljenoj lokaciji) [2], [3]. Procjena se odnosi na strojeve snage oko 1 MW. Budući da je prema prethodnim napomenama cijena vjetroturbine po jedinici površine koju opisuje rotor za danu lokaciju (dakle uz određenu prosječnu brzinu vjetra) približno konstantna možemo na temelju danih podataka odrediti cijenu energije iz vjetroturbine promjera 60 m na lokaciji Vir.

Pretpostavit ćemo navedenu Weibullovu funkciju raspodjele brzine vjetra za lokaciju Vir (izraz 2.12). Prema Grubbu [8] za lokacije u Velikoj Britaniji računano je s Rayleighovom raspodjelom brzine vjetra. Rayleighova raspodjela određuje nešto veću vjerojatnost pojave većih brzina vjetra od Weibullove raspodjele.



Slika 1. Raspodjela brzine vjetra na lokaciji Vir – *pw(v)*-lijeva krivulja i na referentlokaciji u Velikoj Britaniji – *pr(v)*

Iz slike je vidljivo da se najveća učestalost brzina vjetra pojavljuje za brzine vjetra koja je manja od 10 m/s, posebno pri manjoj srednjoj brzini vjetra.
Na temelju navedenoga, te istih minimalnih i maksimalnih brzina vjetra na kojima radi turbina (6 m/s i 25 m/s), možemo odrediti odnos snaga iste vjetroturbine promjera 60 m za standardnu lokaciju u Velikoj Britaniji i za lokaciju Vir. Uvjeti rada vjetroturbine

na lokaciji Vir proračunati su alternativno. U prvom slučaju (slučaj a) instalirana se snaga vjetroelektrane postiže pri istom odnosu brzina vjetra/srednja brzina kao kod referentne lokacije (1,6 v_s), a u drugom (slučaj b) taj je odnos povišen tako da se instalirana snaga postiže pri istoj brzini vjetra kao na referentnoj lokaciji.

Rezultati proračuna pokazuju:

Referentna lokacija u Velikoj Britaniji:

Srednja brzina vjetra	8 m/s
Snaga vjetroturbine	1 185 kW
Specifična snaga	419 W/m²
Godišnje proizvedena energija	3 360 MWh
Iskorištenje instalirane snage	2 833 sati/god.
Trajanje rada elektrane na instaliranoj snazi	1 474 sati/god.
Vrijeme u kojem je elektrana izvan pogona	3 128 sati/god.

Lokacija Vir (a)

Srednja brzina vjetra	6,65 m/s
Snaga vjetroturbine	680 kW
Specifična snaga	241 W/m²
Godišnje proizvedena energija	1 890 MWh
Iskorištenje instalirane snage	2 777 sati/god.
Trajanje rada elektrane na instaliranoj snazi	1 535 sati/god.
Vrijeme u kojem je elektrana izvan pogona	4 559 sati/god.

Lokacija Vir (b)

Srednja brzina vjetra	6,65 m/s
Snaga vjetroturbine	1 185 kW
Specifična snaga	419 W/m²
Godišnje proizvedena energija	2 470 MWh (kada bismo i kod lokacije Vir računali s Rayleighovom raspodjelom brzine vjetra proizvodnja električne energije bi bila 2 700 MWh)
Iskorištenje instalirane snage	2 081 sati/god.
Trajanje rada elektrane na instaliranoj snazi	876 sati/god.
Vrijeme u kojem je elektrana izvan pogona	4 563 sati/god.

Sada imamo elemente za procjenu cijene energije iz vjetroelektrane na lokaciji Vir na temelju podataka za istu elektranu na referentnoj lokaciji. U tu ćemo svrhu uzeti u obzir prije navedenu jediničnu investiciju vjetroelektrane na referentnoj lokaciji 1 600 US$kW, kamatnu stopu od 7% godišnje, otplatu uloženih sredstava u ekonomskoj dobi rada elektrane od 20 godina i troškove održavanja elektrane 25,5 US$(kW god.). Cijena energije iz vjetroelektrane u prosječnim uvjetima dobiva se korištenjem izraza (4.1) te iznosi:

— za vjetrenu turbinu na referentnoj lokaciji	5,51 US centi/kWh
— za vjetrenu turbinu na lokaciji Vir: u slučaju a	11,07 US centi/kWh
u slučaju b	8,50 US centi/kWh.

Iskazana specifična investicijska suma vjetroelektrane na referentnoj lokaciji odnosi se samo na cijenu instalirane vjetroturbine na uređenoj lokaciji (dakle bez troškova terena, uređenja gradilišta i priključka na elektroenergetsku mrežu). Budući da lokacija Vir nije uređena lokacija, trebalo bi za odgovarajući iznos povisiti investicijsku sumu.

Ekonomska konkurentnost elektrane ne ovisi samo o cijeni proizvedene energije nego i o položaju elektrane u elektroenergetskom sustavu. Budući da je priroda proizvodnje električne energije u vjetroelektrani stohastički proces, ne možemo sa sigurnošću računati s opskrbom potrošača iz takve elektrane u bilo kojem razdoblju. Iz danih podataka za vjetroelektranu na lokaciji Vir vidimo da je elektrana više od polovicu vremena izvan pogona zbog pomanjkanja vjetra brzine veće od 6 m/s (22 km/h).

Dane činjenice nedvojbeno upućuju na zaključak da gradnjom vjetroelektrana ne bismo mogli smanjiti izgrađenost elektroenergetskog sustava, dakle potrebna snaga ostalih elektrana ne može se smanjiti zbog gradnje vjetroelektrana. U Nizozemskoj, gdje su uvjeti upotrebe vjetroturbina relativno povoljni, izrađena je studija [1] kojom se dokazuje da bi se gradnjom vjetroelektrana moglo nešto uštedjeti na snazi drugih elektrana, ali da ta ušteda nije veća od 5% snage instalirane u vjetroelektranama. Gradnjom vjetroelektrana povisuje se investicijska suma utrošena za gradnju elektrana, pa se smatra da, bez obzira na povoljnost lokacija, udio proizvodnje energije u vjetroelektranama u elektroenergetskom sustavu ne bi trebao biti veći od 10%.

Konkurentnost vjetroelektrane u elektroenergetskom sustavu možemo odrediti samo na temelju ušteđe goriva u termoelektranama koja nastaje zbog njihova pogona. Konkurentnost je, dakako, to bolja što je gorivo skuplje. Kao temelj za usporedbu uzet ćemo prirodni plin kao gorivo za kombinirane plinsko-parne elektrane s današnjom cijenom plina od oko 3,7 US$/GJ i perspektivnom od oko 4,5 US$/GJ te iskoristivost pretvorbe toplinske u električnu energiju od oko 50% u tim elektranama. Specifična cijena goriva u plinskim elektranama uz dane bi uvjete bila 2,6 – 2,7 US centi/kWh.

Usporedba s naznačenom cijenom energije iz vjetroelektrane na lokaciji Vir pokazuje da bi se konkurentnost mogla postići kada bi cijena energije iz vjetroelektrane (odnosno cijena njezine gradnje) bila oko 3 – 4 puta niža od navedene.

Osim toga, gradnjom vjetroelektrana povisila bi se za njihovu cijenu ukupna investicijska ulaganja u elektroenergetski sustav, jer bi ulaganja u gradnju drugih elektrana ostala nepromijenjena. To bi, primjerice, za gradnju vjetroelektrana na lokaciji Vir s

instaliranom snagom 100 MW značilo instalirati 84 vjetroturbine promjera 60 m s cijenom gradnje višom od 160 milijuna US dolara.

Gradnja vjetroelektrana ipak bi mogla biti opravdana za opskrbu potrošača koji podnose prekide u dobavi električne energije (primjerice pogon crpki za natapanje) ili koji su izolirani od elektroenergetskog sustava. Kod izoliranih potrošača manja vjetroelektrana, zajedno s odgovarajućim akumulatorom energije (električni akumulator), može na odgovarajućim lokacijama biti prihvatljivo rješenje.

6. UTJECAJ VJETROELEKTRANA NA OKOLIŠ

Utjecaj vjetroelektrana na okoliš se svodi na:

- buku
- smetnje u radiovezama
- narušavanje krajolika.

Rad vjetroturbina izaziva buku koja se u nekim slučajevima čuje i na udaljenosti većoj od 2 kilometra. Prolaz lopatice pored tornja osjeća se kao prigušen tutanj. Buka se mijenja s brzinom vjetra, a ovisi i o promjeru turbine.
Prema mjerenjima [1], ovisnost buke u decibelima o promjeru turbine (m) može se izraziti relacijom:

$$B(\mathrm{db}) = 22 \log D + 72 \qquad (6.1)$$

Udaljenost vjetroelektrane od naselja treba prilagoditi propisima za dopuštenu buku u naseljima. Zbog toga je u Danskoj i Nizozemskoj razmatrana mogućnost podizanja vjetroturbina na pučini. Zauzetost terena zbog gradnje vjetroelektrana za veće jedinice iznosi oko 2 000 m² po turbini [2].

Utvrđen je nepovoljan utjecaj vjetroelektrana na kakvoću radioprijama i televizijskog prijama. U nekim je slučajevima čak bila naređena obustava turbina zbog omogućenja praćenja televizijskog programa.

Više desetaka visokih tornjeva koji nose vjetroturbine promjera 40 do 100 metara narušava izgled krajolika i stoga je potrebno pažljivo birati područja u kojima bi takva gradnja mogla biti prikladna. U Danskoj i Nizozemskoj bilo je dosta primjera otpora javnosti prema gradnji takvih elektrana. Pri tome su osim navedenih utjecaja često isticana i opasnost vjetroturbina za ptice u letu.

Postoji i stanovit rizik da se odlome lopatice turbine pri olujnom vjetru ili otkidanju nakupljenog leda na lopatici.

Neki su autori (Holdren, Hamilton i dr. [2]) pokušali kvantificirati rizik u okolišu zbog gradnje i pogona vjetroelektrana. Procjene za širu populaciju u okolišu postrojenja kreću se oko 0,2 – 0,6 izgubljenih radnih dana godišnje zbog oboljenja po instaliranom megavatu i 0,06 smrtnih slučajeva po GW/god. proizvedene energije. Procjene za profesionalno osoblje su 0,4 – 10 izgubljenih radnih dana godišnje zbog oboljenja po instaliranom megavatu i 0,09 – 0,6 smrtnih slučajeva po GW/god. proizvedene energije.

7. ZAKLJUČAK

Na temelju iznesenih analiza i rezultata proizlazi da se gradnjom vjetroelektrana u Hrvatskoj ne bi mogla bitnije poboljšati opskrba potrošača električnom energijom jer se zbog nesigurne proizvodnje energije u tim elektranama (čak i na najpovoljnijim lokacijama) njihovom gradnjom ne bi mogla smanjiti potreba za gradnjom i raspoloživošću drugih energetskih izvora u elektroenergetskom sustavu.
Ekonomska vrijednost vjetroelektrana svodi se na smanjenje potrošnje goriva u termoelektranama. Prema današnjim i prognoziranim cijenama klasičnih energenata (u prvom redu prirodnog plina) slijedi da bi se ekonomska konkurentnost vjetroelektrane u Hrvatskoj mogla postići kod 3 – 4 puta niže investicije vjetroelektrane od onih koje se navode u literaturi. Čak i u tom bi slučaju trebalo preispitati opravdanost znatno većih investicijskih ulaganja u elektroenergetske izvore zbog gradnje vjetroelektrana.
Gradnju vjetroelektrana bi, prema današnjim ekonomskim pokazateljima, trebalo razmatrati u slučajevima potrebe opskrbe izoliranih potrošača koji podnose višu cijenu električne energije, kao i potrošača koji podnose duže prekide u opskrbi električnom energijom.

LITERATURA

[1] J. BEURSKENSE: »Wind energy systems: Resources, environmental aspects and costs IAEA«, Tec. Doc.-624, 1991.

[2] Renewable Energy Sources for Electricity Generation in Selected Developed Countries, IAEA-Tec. Doc.-646, 1992.

[3] M. J. GRUBB: »The integration of Renewable Energy Sources«, Energy Policy, Sept. 1991.

[4] W. HEWSON: »Electrical Energy from the Wind«, Energy Technology Handbook, Mc Graw Hill, New York 1977

[5] M. J. GRUBB: »The potential for wind energy in Britain«, Energy Policy, Dec. 1988.

[6] H. POŽAR: »Osnove energetike«, 2. izdanje, Školska knjiga Zagreb, 1992.

[7] P. KULIŠIĆ: »Novi izvori energije«, 2. izdanje, Školska knjiga Zagreb, 1991.

[8] M. BEENSTOCK: »The stochastic economics of windpower«, Energy Economics, January 1995.

USAGE OF WIND POWER PLANTS IN THE ELECTRIC POWER SUPPLY

The potential of wind energy in the production of electric energy is presented as well as the technological basis of the wind power plant operation. Investment costs of wind power plant construction are analysed as well as the conditions of energy and economy for their operation in Croatia.

Energija, god. 44 (1995) 5 – 6, 279 – 286

ANWENDUNG DER WINDKRAFTWERKE IN DER STROMERZEUGUNG

Dargestellt sind sowie der Energieinhalt des Windes vom Standpunkt der Stromerzeugung, als auch technologische Grundlagen des Betriebes von Windkraftwerken. Anlagekosten der Windkraftwerke werden überlegt und energetisch-wirtschaftliche Betriebsbedingungen für Windkraftwerke in Kroatien überprüft.

Naslov pisaca:

Dr. sc. Danilo Feretić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za visoki napon i energetiku
Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska
mr. sc. Željko Tomšić
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za visoki napon i energetiku
Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995–11–22

ORGANIZACIJSKI I VLASNIČKI OBLICI ELEKTROPRIVREDNIH ORGANIZACIJA U EUROPI

Josip Moser, Zagreb

UDK 621.311(4)
STRUČNI ČLANAK

Oblici organiziranja i vlasnički oblici u različitim europskim državama mnogo se razlikuju. U tome nema nekog pravila. Zato u ovom pregledu sve države u Europi i njihove elektroprivrede analiziramo svrstane u četiri glavne skupine: one koje su organizirane kao jedinstvena nacionalna, državna i javna poduzeća u punom vlasništvu države, druga koja su organizirana kao dionička i trgovačka društva ali su u posvemašnjem vlasništvu vlade pojedine države, treći su čista dionička društva na svjetskom tržištu, a četvrtu skupinu čine države u kojoj se susreću mješovite kombinirane organizacije. U radu su analizirane sve važnije europske zemlje, ukupno tridesetjedna.

Ključne riječi: organizacija, vlasništvo, dioničko društvo, privatizacija.

UVOD

Svaka europska država ima danas više ili manje organiziranu elektroprivrednu djelatnost. Pri tome se od zemlje do zemlje može uočiti vrlo velika različitost. Te su razlike uvjetovane prije svega povijesnim razvojem elektroprivredne djelatnosti u dotičnoj zemlji, ali uvjetovane i potrebama zemlje, gospodarskim razvojem i potrebama za energijom, posebno električnom, razinom životnog standarda i navikama stanovništva, raspoloživim energetskim izvorima u zemlji, ovisnosti o uvozu energije itd.

Analiza organizacijskih oblika, kao i vlasničkih odnosa elektroprivredne djelatnosti pojedine europske države omogućuje nam da spoznamo moguće putove organiziranja Hrvatske elektroprivrede u budućnosti. Zato smatramo da je nužno proanalizirati specifičnosti svih organizacijskih oblika i vlasničkih odnosa elektroprivreda najvažnijih europskih država. U ovom pregledu nisu obuhvaćene samo male europske zemlje, kao što su Andora, San Marino, Lihtenštajn, Vatikan, Monako, zato što su one vezane na elektroprivrede zemalja kao što su Španjolska, Francuska, Italija i Švicarska. Nije analiziran ni Island, zbog svoje potpune odvojenosti od kontinenta, kao ni tzv. SR Jugoslavija, zbog nedefiniranoga državnog položaja i rata tijekom prikupljanja podataka, u razdoblju 1992. do 1994.

Sve elektroprivrede u ovom pregledu, odnosno sve države u Europi i njihove elektroprivrede, analiziramo tako da ih svrstavamo u četiri glavne skupine: prvo, one koje su organizirane kao jedinstvena nacionalna, državna i javna poduzeća u punom vlasništvu države, drugo, one koje su organizirane kao dionička i trgovačka društva, ali su u stopostotnom vlasništvu vlade pojedine države, treće, one koje su čista dionička društva na svjetskom tržištu i četvrto, one u kojoj se susreću mješovite kombinirane organizacije.

U ovoj analizi uočavamo da ne postoji neka pravilnost, na primjer, sve zapadnoeuropske zemlje su dionička društva ili sve istočnoeuropske zemlje imaju državna poduzeća. No, pri tome postoji velika šarolikost. Analizu prema gornjim skupinama provest ćemo od zemlje do zemlje.

DRŽAVNA, JAVNA I NACIONALNA PODUZEĆA

Albanija

Albanian Electricity Corporation (AEC), je elektroprivredna organizacija Albanije. To *javno državno poduzeće* objedinjuje ukupno 47 odvojenih poduzeća, i to:

12 za proizvodnju i prijenos,
29 za distribuciju,
6 za prodaju.

Cijena električne energije jedinstvena je za sve potrošače i određuje ju vlada.

Bjelorusija

Elektroprivredom upravlja Ministarstvo za energiju. U tijeku je restrukturiranje elektroprivrednog sektora koje financira fond Europske unije EC TACIS, a restrukturiranje provodi konzultantska tvrtka London Economics uz britansku elektroprivrednu tvrtku Scottish Power.

Bugarska

Nacionalna Električeska Kompanija (NEK) *javno* je *državno poduzeće* za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. Poduzeće je vlasnik svih elektrana (7 TE, jedna NE i 59 HE) te 27 distributivnih regionalnih pogona. NEK je pod neposrednom kontrolom Ministarstva energetike Vlade Bugarske.

Pri rekonstrukciji NE Kozloduj (ukupno 2 811 MW ili oko 32% ukupne proizvodnje u Bugarskoj) sudjeluje EDF iz Francuske s udjelom kapitala. Ne postoji kupnja i prodaja električne energije između proizvodnje, prijenosa i distribucije unutar NEK-a.
Cijena je jedinstvena i određena od strane vlade.

Francuska

ELECTRICITE DE FRANCE (EDF) najpoznatiji je i najveći elektroprivredni subjekt u Francuskoj. *Nacionalno državno poduzeće* EDF nastalo 1946. nakon nacionalizacije oko 1 200 privatnih, komunalnih i javnih elektroprivrednih poduzeća. EDF proizvodi oko 98% godišnje potrošnje Francuske i najveća je elektroprivredna kompanija na svijetu. Zadužena je za proizvodnju, prijenos, distribuciju, razmjenu električne energije. Organizirana je u deset direkcija.
Francuska vlada kontrolira tvrtku nominacijom predsjednika i dijela Administrativnog savjeta, te generalnog direktora i njegova zamjenika. Tvrtka radi na bazi četverogodišnjih planova rada i razvoja poduzeća, a plan usvaja vlada.
EDF sudjeluje u financiranju izgradnje, u gradnji i održavanju postrojenja u mnogim zemljama svijeta. Zbog toga je jedna direkcija EDF International organizirana kao *dioničko društvo* sa 100% vlasništva EDF (države) da bi mogla ulaziti u dioničarstvo s drugima.
EDF radi na načelu marginalnih troškova proizvodnje električne energije, nastojeći da se postigne najniža proizvodna cijena kWh u svakom trenutku. Cijena na razini krajnjega korisnika jedinstvena je i definirana je četverogodišnjim ugovorom s vladom. Zato je EDF stimuliran za povećanje potrošnje, postizanje veće razlike između cijene proizvedenog i prodanog kWh, smanjenje broja neisporučenih kWh i što veće prodaje električne energije inozemstvu. Zato EDF izvozi oko 81 TWh (1993) oko 17% proizvodnje. Tako je EDF šesti izvoznik Francuske.
Osim EDF-a, postoji u Francuskoj desetak manjih elektroprivrednih poduzeća koja nisu bila uključena u nacionalizaciju 1946, a koja po francuskim zakonima smiju djelovati samo ako svake godine imaju pozitivnu bilancu. Ako bi završili s gubitkom, automatski podliježu nacionalizaciji i uključuju se u EDF. Zato takve tvrtke, koje su uglavnom komunalne, privatne ili dionička društva, rade vrlo blisko s EDF-om (isto četverogodišnji ugovor). Najveće među njima su Electricite du Strasbourg i Electricite du Bordeaux. Sve one imaju proizvodne kapacitete i distributivne mreže, a kupuju električnu energiju od EDF-a i koriste se njezinom prijenosnom mrežom. Dužni su krajnjem potrošaču dati istu cijenu kao i EDF svome. Dakle, rade na razlici cijene svog proizvedenog kWh, kupljenog na visokom naponu od EDF-a i cijene prodanog kWh. Činjenica da tako pozitivno posluju gotovo 50 godina govori da se to može.

Grčka

PUBLIC POWER CORPORATION (PPC) je *državno javno poduzeće* ustanovljeno 1950. i odgovorno za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije.
Ukupna instalirana snaga je 9 285 MW, a proizvodnja 33 448 GWh u 1993. PPC je odgovoran i za interkonektivnu mrežu kopnenoga dijela Grčke, kao i za otočne sustave većih otoka kao što su Kreta i Rodos. Na grčkim otocima je oko 30 elektrana, uglavnom TE na mrki ugljen, kojima također upravlja PPC.
Cijena je jedinstvena i nema kupoprodaje od proizvodnje prijenosu i distribuciji. Cijenu za krajnjega korisnika određuje vlada.

Republika Irska

ELECTRICITY SUPPLY BOARD (ESB) jest *javno državno poduzeće* koje ima monopol na proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. Ima ukupnu instaliranu snagu u elektranama 4 052 MW i proizvodnju oko 15 TWh od čega 42% na ugljen, 23% na plin, 16% na teško ulje, 13% na vodu i 6% na otpad. Električna mreža prijenosa i distribucije je vrlo stara, preko 30 godina, te se provodi plan obnove 1994 – 1997. u kojem je ESB veliki investitor.
ESB ima supstidijara u tvrtki ESB International, koja je vlasnik elektrane Corby u Engleskoj, kao i tvrtke ESBI-ETV u Mađarskoj, preko koje vrlo agresivno nastupa kao konzultantska i inženjering-kuća u mnogim zemljama istočne Europe.

Latvija

Elektroprivreda Latvije je *pod upravom Ministarstva za energiju* vlade Latvije. Svi proizvodni, prijenosni kapaciteti i distribucija su *državno vlasništvo,* a elektroprivreda je tijesno povezana i s centralnim grijanjem 23 distrikta u Latviji.
Latvija u potpunosti ovisi o uvozu ugljena, nafte i plina iz zemalja ZND, Estonije, Litve i Rusije. Od 1960. samo 50%, a ponekad i manje, potreba za električnom energijom proizvodi se u tri HE na rijeci Daugavi, ukupno instalirane snage 1 500 MW, i iz dvije TE ukupno 500 MW. Potrošnja električne energije po stanovniku ukupno je 3 843 kWh godišnje.
Nakon stjecanja samostalnosti latvijska vlada omogućila je stranim ulagačima da ostvare projekte u elektroprivredi. Tako je finska kompanija IVO osnovala joint-venture kompaniju Baltic Power Ltd. Latvia, zaduženu za razvoj latvijskog elektroenergetskog sustava. Za sada se projektira daljnja izgradnja hidropotencijala na rijeci Daugavi i termoelektrana-toplana u Rigi i Liepaja. Uvjeti financiranja su vrlo tijesno povezani s porastom potrošnje, te se kapital sporo uključuje. Za sada je u lipnju 1993. EBRD odobrio 32,3 milijuna ECU za hitno poboljšanje financijskog stanja latvijske elektroprivrede, ali uz uvjet da Danish Energy Agency sredi stanje u postrojenjima daljinskoga centralnog grijanja, prelaskom na najjeftinija dostupna goriva.

Litva

Elektroprivreda Litve je *pod upravom Ministarstva za energiju* vlade Litve. Ni jedna zemlja na svijetu ni-

je toliko ovisna o nuklearnoj energiji kao Litva, jer NE Ignalina s 2 × 1 500 MW proizvodi više od 90% ukupne proizvedene električne energije u Litvi (17 od oko 18,5 TWh). Uz tu NE postoji još jedna veća TE i jedna HE, tako da ukupna instalirana snaga u Litvi iznosi oko 6 000 MW, u što se još ubrajaju i tri toplane s oko 850 MW.

NE Ignalina ima dva najveća reaktora 1 500 MW ruskog tipa RMBK (tipa Černobilj), pa se, pogotovo sa Zapada, stalno vrši pritisak da se ta elektrana zatvori. S njezinom prozvodnjom Litva je veliki izvoznik električne energije, što bez nje ne bi bila. Zato se s litvanskom vladom pregovara o pretvorbi te elektrane u sigurniji tip, za što je EBRD odobrila 10. veljače 1994. kredit od 33 milijuna ECU. Slično kao i Latvija, i u Litvi je za termoelektrane-toplane i njihovu modernizaciju angažirana Danish Energy Agency.

Makedonija

ELEKTROSTOPANSTVO NA MAKEDONIJA jest *javno nacionalno poduzeće* koje upravlja proizvodnim postrojenjima, prijenosnom mrežom i distribucijom električne energije, ali i eksploatacijom domaćih rezerva ugljena. Najveći dio potrošnje pokriva se uz TE u okolici Bitole i iz HE na Vardaru. Makedonija pokriva svoje potrebe, ali bez daljnjeg razvoja elektroenergetskih izvora neće moći pokriti očekivani gospodarski rast, posebno jer u potpunosti ovisi o uvozu nafte i plina.

Potkraj 1993. dobila je država prvi kredit od EBRD u iznosu 46,5 milijuna DEM, koji je bio namijenjen pojačanju mreže između Bitole i Skopja, te vladinu programu za zaštitu okoliša oko TE i rudnika ugljena u Bitoli. Dio kredita trebao bi se utrošiti na pripremu poduzeća Elektrostopanstvo za restrukturiranje i privatizaciju.

Cijenu električne energije određuje država, a trenutačno je niža od proizvodne cijene, pa Elektrostopanstvo posluje s gubitkom.

Moldavija

MOLDENERGO *javno nacionalno poduzeće* koje upravlja svim proizvodnim, prijenosnim i distributivnim objektima u zemlji. Premda je po zakonu predviđeno da neka javna poduzeća budu u idućem razdoblju privatizirana, MOLDENERGO nije među njima i ostat će i dalje javno nacionalno poduzeće, jer se država ne želi odreći upravljanja energetikom.

Moldova ima ukupno instaliranu snagu elektrana 2 996 MW i godišnju proizvodnju 12 TWh, dok je potrošnja niža i iznosi samo 9 939 GWh, tako da Moldavija izvozi električnu energiju, uglavnom u Rumunjsku.

Cijenu električne energije određuje država.

Slovačka

SLOVENSKY ENERGETICKY PODNIK (SEP) je glavna elektroprivredna kompanija u Slovačkoj koja kontrolira 84,48% instalirane snage elektrana u zemlji. Uz SEP postoje ZAPADNOSLOVENSKE ENERGETICKE ZAVODI (ZEZ) s 1,18% i STREDSLOVENSKE ENERGETICKE ZAVODI (SEZ) s 2,03%, dok ostalih 12,31% drže samostalni i individualni industrijski i mali proizvođači. Sve nabrojene kompanije su *javna državna poduzeća.*

SEP je odgovoran za proizvodnju električne energije, za proizvodnju topline za grijanje velikih gradova, za upravljanje visokonaponskom mrežom prijenosa, za dispečing, za uvoz i izvoz električne energije, za spremanje nuklearnog otpada i radioaktivnih materijala, za proizvodnju mehaničke i električne opreme i za izgradnju objekata.

Ukupna instalirana snaga u Slovačkoj je 6 707 MW, nuklearne elektrane su 26% instalirane snage, TE 45% a HE 29%. Potrošnja je od 1990. u padu i 1992. je iznosila 28 342 GWh. Bez obzira na to potrošnja električne energije po stanovniku je niska i iznosi 472 kWh godišnje.

Slovačka vlada određuje cijenu električne energije. Kako je do sada ona bila vrlo niska, SEP nije mogao osigurati financijska sredstva za završetak velikih objekata iz plana razvoja do godine 2005, posebno NE Mochovce 4 × 440 MW, dok je projekt velike HE Gabčikovo – Nagymaros 720 MW zaustavljen i predmet je međudržavnog spora između Slovačke i Mađarske na Međunarodnom sudu pravde u Haagu.

U NE Mochovce uložili su EDF i Bayernwerke po 51% kapitala za prva dva bloka, dok je slovačka vlada dobila od EBRD kredit od 1,1 milijarde DEM za dovršenje tih blokova. Prva dva bloka trebala bi proraditi 1996. i 1997. Obje strane kompanije imaju ugovore za prodaju električne energije SEP-u, po unaprijed dogovorenim cijenama, iz tih blokova. Treći i četvrti blok su u gradnji premda još nije osigurano financiranje i SEP traži strane investitore. Garancija za ulaganje je druga NE u Slovačkoj 4 × 408 MW Bohunice koja je u pogonu od 1981. odnosno 1985.

EIB je kreditirala Nacionalnu banku Slovačke za financiranje malih i srednjih proizvođača i turizam, ali u tih 28 milijuna ECU jest i novac predviđen za razvoj programa štednje energije i zaštitu okoliša.

Slovenija

ELEKTRO-SLOVENIJA (ELES) je *javno državno poduzeće,* zaduženo za proizvodnju i prijenos električne energije u Sloveniji pod neposrednom kontrolom Ministarstva energetike i zaštite okoliša. Distribuciju električne energije osigurava pet distributivnih poduzeća, organiziranih regionalno, koja su također *javna nacionalna poduzeća.* Cijenu kupnje i prodaje određuje vlada.

Ukupna instalirana snaga u Sloveniji je 2 008 MW, od čega je 50% u TE, 34% u HE i 16% u NE Krško koja je 50% vlasništva HEP u Hrvatskoj. Proizvodnja je oko 10 TWh, od čega NE (s 332 MW udjelom Slovenije) predstavlja oko 20%.

Slovenska vlada nastoji obnoviti 3 hidroelektrane na rijeci Dravi, pa je 1993. u tu svrhu dobila od EBRD kredit od 73,5 milijuna ECU.

JAVNA PODUZEĆA DIONIČKA DRUŠTVA U STOPOSTOTNOM VLASNIŠTVU DRŽAVE

U ovu skupinu ubrajaju se elektroprivredne organizacije Hrvatske, Italije, Portugala i Ruske Federacije.

Hrvatska

Hrvatska elektroprivreda (HEP) je *javno državno poduzeće,* utemeljeno 1990, za proizvodnju, prijenos, distribuciju električne energije i upravljanje elektroenergetskim sustavom. Poduzeće je vlasnik svih proizvodnih kapaciteta u Hrvatskoj, svih prijenosnih i distributivnih mreža i organizirano je na temelju regionalnih prijenosnih područja (4) i lokalnih distributivnih područja (19). Za proizvodnju i distribuciju planira se postupno privatiziranje tijekom idućeg razdoblja, dok bi djelatnost prijenosa i upravljanja te kupoprodaje bila i dalje u nacionalnom javnom sektoru.

HEP je vlasnik nekih TE i NE na teritoriju susjednih država ali zbog nesređenih pitanja sukcesije i zbog ratne agresije još nisu regulirani svi vlasnički odnosi.

Ne postoji sustav kupoprodaje električne energije između djelatnosti proizvodnje, prijenosa i distribucije unutar HEP-a.

Cijena kWh je jedinstvena za cijeli teritorij i određuje ju vlada, odnosno Ministarstvo gospodarstva.

Italija

ENTE NATIONALE DI ELECTRICITA S. P. A. (ENEL) je *dioničko društvo* od 1. siječnja 1993, čijih svih 100% dionica drži Ministarstvo financija vlade Republike Italije. Ono je od državnoga javnog poduzeća postalo dioničko društvo jedino zbog Zakona o trgovačkim društvima. Država, odnosno vlada postavlja upravni odbor i generalnog direktora i njegova zamjenika. ENEL je najveći elektroprivredni subjekt u Italiji, ali postoji i nekoliko samostalnih proizvođača, uglavnom velikih industrijskih korporacija, koje proizvode za svoje potrebe. Najveći među njima je Montecatini Edison s oko 10 000 MW instalirane snage. On jedini ponekad prodaje viškove svoje proizvodnje ENEL-u.

ENEL je vlasnik 649 HE i 89 TE u Italiji, s ukupnom instaliranom snagom 19 078 MW u HE i 38 226 MW u TE, ukupno 57 304 MW. Italija ima izgrađene tri NE koje su po zakonu iz 1987. god. isključene iz pogona. Godišnja proizvodnja 1993. bila je 244,8 TWh, uvoz 35,3 TWh, a kupnja od samostalnih proizvođača 9,2 TWh. Italija, odnosno ENEL, najveći je uvoznik električne energije u Europi. Uza sve te nabave povremeno se, pogotovo na jugu Italije, pojavljuju nestašice električne energije i uvode redukcije, ovisno o hidraulicitetu.

ENEL je ovlašten za proizvodnju električne energije, razmjenu s inozemstvom, distribuciju i prodaju direktnim potrošačima, te za izgradnju objekata. ENEL jedini smije prodavati električnu energiju potrošačima na niskom naponu na teritoriji Italije, a samostalni proizvođači dužni su prodaju viškova provesti s ENEL-om. Budući da je vlada odredila vrlo niske cijene za otkupljeni kWh od samostalnih proizvođača, time se bitno obeshrabruje prodaja, pa se samostalni proizvođači uglavnom orijentiraju na proizvodnju za vlastite potrebe. Zato se procjenjuje, jer su njihovi proizvodni objekti dosta stari, da bi do godine 2000. ukupna instalirana snaga samostalnih proizvođača trebala pasti na samo 4 100 MW, a prodaja ENEL-u gotovo na nulu.

ENEL je inače ovlašten od talijanske vlade da samostalno uvozi energente, ugljen, naftu i prirodni plin za vlastite potrebe, te je tako jedan od najvećih talijanskih uvoznika.

Cijenu električne energije određuje vlada, a ovisno o cijeni energenata formira se i treći dio, uz utrošeni kWh i angažiranu snagu, dodatak na uvoz energenata. Taj dodatak se korigira svakih šest mjeseci ovisno o kretanju cijena na svjetskom tržištu energenata.

Portugal

ELECTRICIDADE de PORTUGAL (EdP) jedinstveno je elektroprivredno poduzeće u Portugalu, osnovano 1976. nacionalizacijom i integracijom nekoliko regionalnih distributivnih kompanija s portugalskim tadašnjim poduzećem za proizvodnju i prijenos električne energije. Od 1991. to je *dioničko društvo* EdP sa 100% vlasništvom države, tako da je samo promijenjen legalni status s javnog nacionalnog poduzeća u dioničko društvo. EdP predstavlja vertikalno integriranu skupinu poduzeća koja ima monopol na prijenos i distribuciju, dok na planu proizvodnje uz EdP vlada ohrabruje i nove proizvodne tvrtke da uđu u konkurentsku bitku na tržištu.

U ovom času EdP kontrolira oko 95% proizvodnih kapaciteta u Portugalu, a to je 7 589 MW instalirane snage, od čega sedam TE s 3 555 MW i 127 HE s 3 862 MW, a godišnja proizvodnja je 1993. bila 27 585 GWh.

Portugalska vlada nastoji cijenom kojom otkupljuje EdP KWh od individualnih proizvođača potaknuti otvaranje tržišta električne energije. Svi proizvođači koji imaju snagu veću od 10 MW, kao i oni koji se koriste prirodnim plinom kao gorivom, posebno su poticani da uđu na tržište. Zato se u ovom trenutku u Portugalu grade i ulaze u pogon neke velike elektrane koje su izvan EdP-a, a grade ih konzorciji više zajedničkih ulagača, među kojima su i velike strane elektroprivredne kompanije. Tako Tejo Energia Consortium (ENDESA 35%, EdP 10%, EDF 10%, National Power England 45%) gradi TE 3 × 300 MW Pego na uvozni ugljen (prvi agregat u pogonu 1993, a drugi će u listopadu 1995). U Figueira da Foz gradi se TE 750 MW na prirodni plin (GEC-Alsthom 20%, Compegnie Generale des Eaux 20%, EDF 20%, i španjolske kompanije ENDESA i ENESA zajedno 40%), koja bi trebala u pogon sredinom 1995. Jedina TE 918 ME (2 × 450 + 18) kombi-procesa u kojoj bi portugalski investitori imali većinsko vlasništvo (EdP 10%, PowerGen 10%, Siemens 10%, ostali portugalski investitori 70%) gradi se u Tapada do Outeiro, u blizini grada

Porta, i prvi agregat bi trebao proraditi 1997. a drugi 1999. godine.

Ruska Federacija

Nestankom nekadašnjeg SSSR-a nastale su i velike promjene u elektroenergetskom sektoru zemalja nastalih na tlu ove velike države. O nekima od njih zna se relativno malo, na primjer o zemljama s područja Kavkaza, dok se o elektroprivredama europskog dijela zna nešto više i one su u ovoj analizi uglavnom i obrađene.

Prije svega treba imati na umu da je elektroprivredom u SSSR-u izravno upravljala vlada putem vrlo značajnog Ministarstva za energiju i elektrifikaciju — MINENERGO. To je ministarstvo, osim korištenja elektrana, transformatorskih stanica, mreža i sustava centralnih grijanja bilo odgovorno i za planiranje, projektiranje i gradnju novih elektrana, vodova i stanica. Za ukupnu instaliranu snagu od 340 GW i ukupnu proizvodnju od 1 700 TWh za ovo je ministarstvo radilo 2,2 milijuna ljudi raspršenih po cijelom teritoriju tadašnjeg SSSR-a.

Nakon raspada SSSR-a odgovornost za elektroenergetski sektor preuzima vlada svake od novonastalih zemalja Zajednice neovisnih država. U Rusiji kompetencije MINENERGO-a prelaze Ministarstvu goriva i energije (MINTOPENERGO), koje je nastalo u siječnju 1991, osim nadzora nad nuklearnim elektranama, koje su potpale pod Ministarstvo nuklearne energije (MINATOM), koje je formirano u siječnju 1992.

Aktivnosti koje su predane u nadležnost MINTOPENERGO-a bile su sljedeće:

* 72 regionalna elektroenergetska sustava, uključujući i sustave grada Moskve (MOSENERGO) i St. Petersburga (LENERGO), sa svim pripadajućim elementima,
* središnji dispečerski i kontrolni centar
* sve institute za planiranje i projektiranje te kompanije za izgradnju, i
* centralni menadžment bivšeg ministarstva.

U tom trenutku to je značilo oko 1,5 milijun ljudi i oko 210 GW te oko 1 800 TWh.

Tijekom 1992. Vlada Ruske Federacije odlučila je formirati:

* državnu nacionalnu kompaniju kao dioničko društvo sa 100% dionica u vlastitim rukama. Ono se zove RAO »EES ROSSII«. (Engleski naziv je Energy and Electricity System Joint Stock Company.)
* i 72 regionalna dionička društva, zadužena za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije.

Ministarstvo goriva i energije MINTOPENERGO predalo je RAO EES u vlasništvo sljedeće:

* 49% dionica svake regionalne kompanije, a ostalih 51% podijeljeno je zaposlenim radnicima,
* velike elektrane (hidroelektrane iznad 300 MW i termoelektrane iznad 1 000 MW), sve u svemu više od 50% ukupne instalirane snage u zemlji,
* sve prijenosne vodove iznad 330 kV i
* Moskovski centralni dispečerski centar i sedam regionalnih dispečerskih centara upravljanja.

RAO EES je okupio zajedno i sve specifične istraživačke institute, kao i projektne organizacije, te kompanije za gradnju i inženjering, koje su prije bile pod upravom MINENERGO-a. Sveukupno RAO EES ima danas oko 1,2 milijuna zaposlenih.

Očekuje se da će u budućnosti velike elektrane postati autonomna poduzeća jer njihov status još nije definiran. Time bi se otvorile mogućnosti za tržnu utakmicu i konkurenciju. Isto tako planira se privatizacija RAO EES na kraju trogodišnjeg razdoblja koje je odredio predsjednik Jeljcin svojim Predsjedničkim dekretom potpisanim potkraj kolovoza 1992.

Elektroenergetski sustav Ruske Federacije sastoji se od:

* 602 termoelektrane (70,2% proizvodnje u 1993. g.)
* 100 hidroelektrana (18,2% prozvodnje) i
* 9 nuklearnih elektrana (11,6% proizvodnje).

Potrošnja električne energije zadnjih godina u Ruskoj Federaciji značajno pada, tako da je iznosila:

* 1 080 TWh u 1990.
* 1 030 TWh u 1991. (pad — 5%)
* 970 TWh u 1992. (pad — 6%)
* 937 TWh u 1993. (pad — 6%).

Uspoređujući te brojke s drugima, sjetimo se da 1 TWh je 1 milijarda kWh, a da je Republika Hrvatska 1993. potrošila oko 11 TWh.

Pretpostavlja se da će se zbog ekonomske krize u Rusiji ovaj trend pada potrošnje zadržati još nekoliko godina, možda i nakon 2 000, i da još nije na vidiku točka prestanka tog pada.

Ruski elektroenergetski sustav dio je Zajedničkog energetskog sustava UPS (Unified Power System), koji pokriva cijelu teritoriju bivšeg SSSR-a od Vladivostoka do zapadnih granica. Tim UPS upravlja se iz sedam regionalnih dispečerskih centara (Istok, Sibir, Ural, Volga, Centar, Sjeverozapad i Jug) i iz centralnog dispečerskog centra u Moskvi.

Problemi prijenosa električne energije na vrlo velike udaljenosti rješavaju se vrlo ekstremnim rješenjima za interkonektivne vodove: 1 100 kV za AC i DC vodove i 750 i 500 kV AC vodovi duži od 1 000 km.

Na kraju ovog pregleda o elektroprivrednoj situaciji u Rusiji nužno je uočiti da:

* elektroenergetski sektor u Rusiji nastavlja rad dovoljno kvalitetno s obzirom na zemlju u kojoj je mnoštvo značajnih političkih, ekonomskih i administrativnih problema koji nisu još riješeni;
* pristup koji je u organiziranju odabran daje dovoljno autonomije, ali pod strogom paskom države, te uz parcijalnu privatizaciju;
* pad potrošnje, vezan za gospodarsku krizu u zemlji, osjetno je smanjio probleme pokrivanja vršnog opterećenja. Taj pad je otvorio mnogo mogućnosti za izvoz električne energije, posebno prema Zapadu i po niskoj cijeni;
* ipak, mogućnosti izvoza su ograničene jer je Rusija odvojena od Zapada, posebno Ukrajinom, preko koje idu gotovo sve veze prema središnjoj Europi.

ELEKTROPRIVREDNA PODUZEĆA DIONIČKA DRUŠTVA

U ovu skupinu možemo ubrojiti svega pet država čije elektroprivrede djeluju kao čista dionička društva s udjelom velikoga broja subjekata, kao vlasnika dijela dioničkoga kapitala. To su Austrija, Republika Češka, Njemačka, Mađarska i Poljska.

Austrija

Javno elektroprivredno poduzeće saveznog značenja jest Oesterreichische Elektrizitaetswirtschaft AG — Verbundgesellschaft.
Ono je *dioničko društvo:*

51% država
49% dioničari (oko 84 000).

Vlasnik je VVN i VN mreže i najvećih TS. Kontrolira izgradnju objekata i uvoz i izvoz električne energije. Drži kontrolni stok dionica u svakoj kompaniji za proizvodnju i dio dionica u područnim poduzećima za proizvodnju i distribuciju kojih je devet (Sondergesellschaften). Svaka pokrajina ima svoju elektroprivrednu organizaciju (9). One su privatizirane parcijalno, do 49%. Bave se proizvodnjom i prijenosom na 110 kV, regionalnim dispečingom i distribucijom, te kupoprodajom električne energije. Uz njih je u Austriji oko 1 800 malih komunalnih i privatnih poduzeća za proizvodnju na srednjem i niskom naponu, distribuciju i kupoprodaju električne energije.
Glavne Sondergesellschaften i proizvodne tvrtke jesu:

OD — Oesterreichische Donaukraftwerke Wien
TIWAG — Tiroler Kraftwerke Innsbruck
KELAG — Kaerntner Elektrizitaetswerke Klagenfurt
WS — Wiener Stadtwerke Wien
STEWEAG — Steierische Elektrizitaetswerke Graz
VI — Voralberger Illwerke
TKW — Tiroler Kraftwerke Kaprun
BEWAG — Burgerlandischer Elektrizitaetswerke Eisenstadt
OKA — Oberoesterreicherische Elektrizitaetswerke Linz.

Postupak kupoprodaje električne energije teče ovako: Verbund kupuje od proizvodnih poduzeća, Sondergesellschafta i inozemstva po najpovoljnijoj cijeni, a prodaje Sondergesellschaftima po cijeni koju je odredila država (0,60 šilinga kWh). Ovi distribuiraju ili prodaju komunalnim privatnim poduzećima po cijeni koju kontrolira država i pokrajinske vlade (između 1,50 i 2,20 šilinga za 1 kWh). Postoje različite cijene po regijama i u većim gradovima Austrije (ukupno 14 raznih cijena za kWh).

Češka Republika

Ceske Energeticke Zavody (CEZ) su *dioničko društvo,* privatizirano u svibnju 1992, u prvom valu privatizacije putem vouchera, ali ipak u pretežnom vlasništvu države. Do privatizacije bilo je javno nacionalno poduzeće istog imena kao danas. Struktura vlasništva je:

71,1% — državni National Property Fund
3,0% — Restitution Fund
22,2% — razni investment privatisation fund-ovi (167 njih)
3,7% — individualni dioničari (njih 149 380).

Nakon privatizacije CEZ drži monopol na proizvodnju, prijenos i prodaju električne energije, a formirano je ukupno 11 regionalnih distributivnih kompanija, *dionička društva* iste strukture vlasništva. Regionalna distributivna poduzeća kupuju od CEZ-a električnu energiju po cijenama koje određuje Ministarstvo financija. Krajnji potrošač kupuje kWh po jedinstvenoj prodajnoj cijeni.
CEZ ima, u okviru PHARE programa, suradnju u planiranju razvojne strategije privatne tvrtke dioničkoga društva, s Business Improvement Programme i petogodišnji ugovor o investicijskoj suradnji s belgijskom tvrtkom Tractabel.

Njemačka

DEUTSCHE VERBUNDGESELLSCHAFT HEIDELBERG (DVG) je na čelu elektroprivrednih organizacija Savezne Republike Njemačke. To je zajednica njemačkih elektroprivrednih organizacija radi njihova zajedničkog djelovanja. Ta zajednica okuplja 9 elektroprivreda Njemačke. Deveta, VEAG, nastala je od bivše istočnonjemačke državne elektroprivrede pretvorbom u dioničko društvo, čiji kapital imaju ostale elektroprivrede bivše SR Njemačke. O svakoj članici zajednice dajemo nekoliko osnovnih podataka.

Badenwerk AG Karlsruhe

Dioničko društvo za proizvodnju i opskrbu električnom energijom pokrajine Baden-Württemberg. Jedno je od manjih elektroprivrednih poduzeća u Njemačkoj. Udio vlasništva:

55% pokrajina Baden–Württemberg,
45% koncern VIAG.

Godine 1993. proizvodnja je bila 19,81 TWh (oko 4% od 498 TWh ukupne proizvodnje u Njemačkoj).

Bayernwerk AG München (BAG)

Dioničko društvo za proizvodnju, opskrbu i distribuciju električne energije za područje Bavarske (oko 60% potrošnje u regiji). Vlasnička struktura:

58,3% država Bavarska,
38,8% koncern VIAG,
2,9% individualni dioničari.

BAG proizvodi iz vlastitih elektrana, kupuje od pojedinačnih elektrana u Bavarskoj, te od drugih elektroprivreda Njemačke ili iz inozemstva kroz nacionalnu visokonaponsku prijenosnu mrežu.
BAG posjeduje jednu NE i u druge 4 ima 25 do 50% vlasništva. Ima 11 konvencionalnih TE i udjele u vlasništvu niza HE koje su supstidijari BAG-a. Proizvodnja 1993. g. bila je 36,1 TWh ili oko 7,2% ukupne proizvodnje Njemačke.

BAG je jedna od četiri »velikana« (uz RWE, PreussenElektru i VEW) njemačke elektroprivrede.

Berliner kraft-und *Licht* AG Berlin (BEWAG)

Dioničko društvo za proizvodnju i distribuciju električne energije u Berlinu (bivši zapadni Berlin, jedna od saveznih država Njemačke). Struktura vlasništva:

50,8% država grad Berlin,
10 % PreussenElektra,
19 % Electro-Werke,
29,2% individualni dioničari.

BEWAG posjeduje 9 elektrana (TE na ugljen, teško ulje i plin), instalirane snage ukupno 2 603 MW, i u 1993. g. proizvodnja je bila 9,47 TWh.

Energie–Versorgung Schwaben AG Stuttgart (EVS)

Dioničko društvo zaduženo za proizvodnju i distribuciju električne energije, topline i plina u Schwabenu, sjeveroistočnom dijelu savezne države Baden-Württemberg. Također se bavi zbrinjavanjem otpada i telekomunikacijama. U vlasništvu je 185 općinskih vijeća i države Baden-Württemberg, kroz ovu vlasničku strukturu:

43,4% Zweckverband Oberschwabische Elektrizitaetswerke,
18,8% Landeselektrizitaetsverband Württemberg,
13,7% Gemeindeelektrizitaetsverband Schwarzwald/Donau,
13,0% Technische Werke der Stadt Stuttgart,
10,4% Landesbeteiligungen Baden-Württemberg,
0,4% individualni dioničari.

EVS posjeduje vlastite elektrane, proizvodi 19,97 TWh, od čega 51% iz NE, 11% iz HE, 25% iz TE i ostalo kupuje iz savezne mreže.

Hamburgische elektrizitaets-werke AG Hamburg (HEW)

Dioničko društvo za proizvodnju električne energije za hanzeatski grad Hamburg i okolicu. HEW raspolaže sa 110 kV mrežom i s distribucijom električne energije u gradu Hamburgu. Vlasnički odnosi su:

55% grad Hamburg,
35% koncern VEAG,
10% PreussenElektra.

HEW posjeduje vlastite elektrane, udio nuklearne energije u proizvodnji je 51%. Ukupna proizvodnja 1993. g. bila je 12,5 TWh, a vršno opterećenje 2 007 MW (prema instaliranoj snazi 3 815 MW), dok je ukupno zaposlenih 5 714.

PreussenElektra — Konzern und AG Hannover

PreussenElektra organizirana je i kao *koncern* i kao *dioničko društvo*. Koncern PreussenElektra Group je u 100% vlasništvu koncerna VEBA (koji posjeduje uz elektroenergetiku značajne proizvodnje kemijske industrije, cementare, keramiku, građevinarstvo i druge djelatnosti), a PreussenElektra AG je supstidijar koncerna i također u punom vlasništvu koncerna VEBA.

PreussenElektra AG je proizvođač električne energije, prijenosnik i distributer. Radi orijentacije o veličini, treba reći da koncern ukupno proizvodi (1993) 81,5 TWh, dok je AG od toga 57,4 TWh.

Ukupna instalirana snaga AG je 12 772 MW, od čega je 58% u NE, a ostalo su ugljen, plin, teška ulja i lignit.

PreussenElektra ima dionički udio u pet regionalnih elektroprivrednih poduzeća u Njemačkoj, najviše u bivšoj istočnonjemačkoj kompaniji VEAG i u LAUBAG, kompaniji za korištenje istočnonjemačkog lignita.

U prijašnjem desetljeću PreussenElektra snažno je prodirala na Baltik i prema Skandinaviji, tako da posjeduje znatne udjele švedskih kompanija Sydkraft i Baltic Cable consortium.

RWE Energie AG Essen

RWE ENERGIE AG je *dioničko društvo* kojim upravlja kao 100% vlasnik Energy Division RWE Group, koncern, koji je opet u vlasništvu VEBA. RWE Energie AG je zadužena za proizvodnju, prijenos i opskrbu strujom, ali i plinom, toplinom i vodom, ponajprije područja Rajne i Ruhra (premda je poduzeće zaduženo za čak četiri teritorija u raznim njemačkim pokrajinama.

RWE Energie AG ima u posjedu elektrane ukupne instalirane snage 25 777 MW i proizvodi 1993. 125,9 TWh. Više od trećine te proizvodnje prodaje se po posebno ugovorenim cijenama posebnim potrošačima u oblasti Ruhra.

RWE Energie AG je vlasnik preko polovice duljine svih mreža visokog i vrlo visokog napona u Njemačkoj (110 do 380 kV), odnosno 21 063 km, kao i pripadajućih transformatorskih stanica. Dio profita postiže se naplatom tranzita energije kroz te mreže, kao i kupoprodajom električne energije od drugih njemačkih elektroprivrednih organizacija. RWE je najveća elektroprivredna organizacija u Njemačkoj.

RWE opskrbljuje električnom energijom svoje potrošače preko trodijelnog tarifnog sustava, koji je donekle različit od cijena drugih elektroprivreda u Njemačkoj. Samo potrošači iz grupe kućanstva imaju istu cijenu posvuda u Njemačkoj. Ta se cijena usuglašava između savezne vlade, pokrajinskih vlada i DVE.

Vereinigte Energiewerke AG Berlin (VEAG)

Bivša državna istočnonjemačka elektroprivredna organizacija, formirana je od prosinca 1990. kao *dioničko društvo* čije dionice drže druge njemačke elektroprivredne kompanije. Vlasnički udio je:

45% PreussenElektra Group
25% RWE Group
25% BayernwerkGroup
10% njemački fond za privatizaciju Treuhand.

VEAG je vlasnik niza elektrana (ukupna instalirana snaga 14 200 MW), pretežno na lignit, vlasnik je prijenosne mreže u području bivše DR Njemačke i opskrbnik za 15 distributivnih kompanija na području novih pokrajina. U njima ima svoj dionički udio.

Godišnja proizvodnja VEAG-a 1993. g. bila je 50,2 TWh. U budućnosti se predviđa ulaganje od oko 30 milijardi DEM tijekom 15 godina radi smanjenja za-

gađivanja okoliša, tako da će biti zamijenjeno oko 8 000 MW elektrana na lignit.

Vereinigte Elektrizitaetswerke Westfalen AG Dortmund (VEW)

Dioničko društvo zaduženo za proizvodnju i opskrbu električnom energijom područja Westfalije. Vlasnički kapital je:

60% država Westfalije
30% VEBA koncerna
7% PreussenElektra
3% individualnih dioničara.

Ukupna instalirana snaga je 6 494 MW, od čega kompanija posjeduje 4 317 MW u stopostotnom iznosu u šest elektrana, dok ostatak ima u ostalim elektranama kojih drži veći dio dionica. Struktura je 60% TE na kameni ugljen, 25% iz nuklearki i 13% iz TE na plin. Godišnja proizvodnja je 26,1 TWh, i pala je za 3,8% u usporedbi s prethodnom godinom jer se osjetno smanjio opseg rada željezara i kemijske industrije. Zato VEW pokušava raznim stimulativnim tarifama privući druge grane industrije u Westfaliju, pa je usvojen sličan sustav tarifa kao RWE.
VEW je i velik izvoznik električne energije u Nizozemsku za SEP. Osim toga, ova kompanija jedan je od najvećih distributera plina u Njemačkoj.

Osim navedenih elektroprivrednih organizacija, u Njemačkoj postoji još jedan velik individualni proizvođač električne energije:

Veba Kraftwerke Ruhr (VKR)

Ova tvrtka, koja pripada koncernu VEBA, postala je *supstidijar PreussenElektre* 1992. g. Zadužena je da upravlja s osam elektrana ukupne instalirane snage 4 880 MW, s pogonom na njemački mrki ugljen, i još 320 MW u toplanama, sve u sjevernom području rurske oblasti. Tamo je ova kompanija, osim proizvodnjom električne energije, zadužena i za opskrbu toplinskom energijom deset gradova te oblasti.
VKR se bavi i paljenjem otpada, specijalnim otpadom, kontrolom zagađenja okoliša, kao i konzalting-poslovima planiranja, izgradnje, pogona i održavanja postrojenja. Ima i odjel za opskrbu pitkom vodom.

I na kraju, spomenimo da u Njemačkoj postoji oko 1 200 distributivnih, komunalnih i privatnih organizacija, pa i kooperativa, koje se bave kupnjom električne energije na mreži srednjeg napona i distribucijom. One rade na razlici između cijene kupljene i prodane električne energije.

Sve elektroprivredne organizacije u Njemačkoj imaju zajedničku razmjenu električne energije kroz visokonaponsku mrežu. Obračun se vrši preko DVE, a svaka nudi, kupuje i prodaje po cijeni koju međusobno dogovori.

Mađarska

MAGYAR VILLAMOS MUVEK Rt. (MVM Rt.) jedan je od dva segmenta elektroprivredne djelatnosti u Mađarskoj. To je *dioničko društvo,* ali gotovo u potpunosti u rukama države. Struktura vlasništva MVM-a jest:

51% država (Ministarstvo financija),
46% država (Fond za privatizaciju),
3% županije (njih 9).

Vlasništvo županija predstavlja zapravo vlasništvo i vrijednost zemljišta na kojima su izgrađeni elektroprivredni objekti.
MVM je osnovana 1. siječnja 1992, prelaskom iz javnog poduzeća u trgovačko dioničko društvo. Ono koordinira proizvodnju i distribuciju električne energije u Mađarskoj tako da kupuje električnu energiju od proizvodnih postrojenja i prodaje ju distributivnim poduzećima u Mađarskoj. MVM je vlasnik i korisnik nacionalne prenosne mreže i dispečinga, putem poduzeća OVIT Rt. čijih 100% dionica drži MVM Rt.

Ukupna instalirana snaga MVM Rt. je oko 7 000 MW (97% sveukupne u Mađarskoj), a to čini 22 elektrane, koje funkcioniraju kao posebna poduzeća s ugovorom o prodaji proizvedene električne energije MVM-u.
Osim tvrtke MVM Rt., postoji u Mađarskoj šest distributivnih poduzeća, regionalno organiziranih, kao DEDASZ, ELMU, DEMASZ, EDASZ, EMASZ i TITASZ, koje kupuju električnu energiju od MVM-a iz mreže OVIT-a i distribuiraju je te prodaju krajnjim potrošačima. Svaka od regionalnih distribucijskih tvrtki organizirana je kao dioničko društvo i svi imaju jednaku strukturu vlasništva:

51% MVM Rt.,
32% državni fond za privatizaciju u korist fondova zdravstvenog i penzionog osiguranja,
12% individualni vlasnici posjednici vouchera,
5% pojedine županijske i općinske vlasti.

Kako vidimo, država je u oba segmenta gotovo isključiv vlasnik elektroprivrede.
Inače, MVM i distribucije otvorene su za ulaz stranoga kapitala u nove objekte ili u mreže distribucije. Dosad je stigao samo kredit EIB u iznosu 70 mil. ECU za poboljšanje mreže i obnovu elektrana starijih od 30 godina. Također, Phare programom pomaže se restrukturiranje elektroprivrede koju smo opisali.

Ukupna instalirana snaga je 7 277 MW, a proizvodnja 36 988 GWh. Najveći proizvođači su NE Paks sa 1 729 MW i TE Dunamenti sa 1 879 MW na mrki ugljen.
Struktura cijene je formirana tako da MVM Rt. određuje cijenu kojom kupuje od proizvođača, cijenu salda uvoza i izvoza (a Mađarska je uvoznik), tako da je 1992. bila prosječna cijena 2,4187 Ft/kWh za raspoloživih 34 093 GWh. Na to se dodaju troškovi prijenosa, gubitaka u prijenosu i razdiobi, te cijena prodaje distributerima iznosi 3,4696 Ft. Distributeri su u Mađarskoj prodali 30 222 GWh po prosječnoj cijeni određenoj od države po 4,2777 Ft/kWh.

Datum 30. studeni 1995. može biti vrlo značajan za mađarsku elektroprivredu jer toga dana se otvaraju ponude stranih partnera za kupnju dionica 46% vrijednosti dionica koje su bile u rukama Državnog fonda za privatizaciju. Odlukom Vlade Mađarske taj dio

kapitala prodaje se na svjetskom tržištu i time otvara ulaz stranog vlasništva. Vrijeme će pokazati koliko je taj potez bio dobar poslovno, gospodarski, a i politički. Riječ je o odluci Vlade koja je sastavljena od reformiranih komunista, pa je na nju mnogo prigovora iz oporbe. Istodobno, u redovima zaposlenih u MVM-u vlada određena doza straha i neizvjesnosti što će donijeti taj potez u budućnosti.

Poljska

POLISH POWER GRID COMPANY (PPGC) je *dioničko društvo, joint-stock kompanija,* koja je 1990. ustanovljena, ali tako da je u 100%-tnom vlasništvu poljske države putem Ministarstva financija.
PPGC ima monopol na prijenos električne energije i na kupnju električne energije od proizvođača po cijenama određenim godišnjim ugovorima. Cijene se preciziraju na temelju efikasnosti elektrana i cijeni goriva i njihove proizvodnje, a korištenje se određuje prema razini ugovorenih cijena, što defavorizira manje, starije i skuplje elektrane, koje onda ulaze u pogon samo onda kada to potražnja nalaže. Ministarstvo financija je regulator tih ugovora.
U Poljskoj postoje 34 neovisna, takozvana sistemska proizvođača električne energije, i 95% njihove proizvodnje dolazi iz klasičnih termoelektrana na ugljen. Postoji i nekoliko većih samostalnih industrijskih postrojenja koja za svoje potrebe proizvode električnu energiju i viškove povremeno prodaju PPGC-u. Inače, proizvođači električne energije ne prihvaćaju ugljen ako nije izravno ugovoren s rudnikom, a te cijene su kudikamo ispod svjetskih cijena ugljena na spot tržištu. To, donekle, otežava vladinu politiku postupne zamjene ugljena hidrokarbonatima.
PPGC prodaje električnu energiju svakom od 33 regionalnih distributera, čija djelatnost uključuje dispečing na regionalnom planu, održavanje i razvoj mreže, oni su dužni naručivati potrebe od proizvođača preko PPGC-a i prodavati ih potrošačima. To isto na nacionalnom planu radi PPGC, koji vodi nacionalni dispečing, organizira uvoz i izvoz električne energije i dužan je podnijeti vladi takozvani »integralni plan resursa« u kojem se objedinjuju potrebe za investiranjem i razvojem. PPGC je zadužen za provedbu reorganizacije elektroprivredne djelatnosti u novim uvjetima tržne ekonomije.
Vlada je prihvatila da se elektroprivredna djelatnost u proizvodnji i distribuciji organizira po »britanskom modelu«. Tako će proizvođači postati neovisne holding-kompanije. U prvom trenutku one bi trebale postati dionička društva u kojima će Ministarstvo imati polovicu vrijednosti, a ostatak bi bio otvoren privatnom kapitalu. Trebalo bi biti četiri holding-kompanije za klasičnu proizvodnju na ugljen i tri za proizvodnju na lignit. Ove na lignit bile bi vertikalno integrirane s rudnicima lignita. PPGC više ne bi imao monopol za kupnju električne enrgije od proizvođača, jer bi oni mogli izravno prodavati bilo PPGC-u ili distributivnim kompanijama ili direktno potrošačima.
Taj proces je u tijeku. Tako se elektroprivredna djelatnost dijeli na tri odvojene cjeline. Na proizvodnom planu svi neovisni proizvođači rade na osnovi međusobne konkurencije, ali kroz zajedničko upravljačko tijelo. Velike toplane također su postale neovisne kompanije, a također i pumpne hidroelektrane. U njima su vlasništvo stekle također tri odvojene kompanije, ali većinski dio dionica odnosno vlasništva drži PPGC.
Prijenosna mreža u Poljskoj ostaje vlasništvo PPGC, koja i dalje kupuje od proizvođača i prodaje distributerima. Ministarstvo financija i dalje će imati najveći dio vlasničkog udjela, te tako država kani zadržati kontrolu nad kompanijom i nad elektroenergetskim sektorom. PPGC upravo priprema prijedlog dokumenta kojim će se definirati ugovori s Poljskim elektroprivrednim sektorom, kojim se rješava prijelaz sa sadašnjega monopolističkog položaja koji ima danas. PPGC smatra da treba zadržati određenu razinu monopola da bi se zadržale cijene i ohrabrili investitori da ulažu u novu izgradnju objekata.
Na planu distribucije i dalje će lokalna i regionalna distributivna poduzeća kupovati iz mreže i prodavati električnu energiju konzumentima. Jedino što od 1. siječnja 1995. neće biti 33 distributivne kompanije, nego samo 15, jer se provodi integracija.
Radi usuglašavanja prijelaza na novi sustav formiran je vladin ured za reguliranje energije, koji izdaje licence za proizvodnju, distribuciju i isporuku energije, koji ujedno regulira cijene i štiti interese potrošača. Bez obzira na taj ured, cijene električne energije i tarife određuje ministar financija.
Bilo je predviđeno da se ovaj proces završi do sredine 1993, ali rasprave o organiziranju velikih holdinga proizvođača, posebno onih za lignit i povezivanje s rudnicima lignita, otegnuli su se. Bilo je i velikih rasprava sa sindikatima, a i dosadašnjim menadžmentom, tako da nisu još dovršeni dokumenti, doneseni nacionalni zakoni ni propisi, pa se ne može sa sigurnošću reći kada će u potpunosti saživjeti »britanski model«.
Ovaj prijelaz privatizaciji elektoprivredne djelatnosti podržavaju i financijski podupiru internacionalni partneri iz EZ, Svjetska banka, EBRD, USAID i Know-How Found.
U vrijeme komunizma cijene električne energije bile su vrlo niske. Zato su u zadnje vrijeme bile znatno povećavane. Tijekom 1990. vlada je postupno počela uvoditi liberalizaciju cijena, između ostalog i električne energije. PPGC nastoji predlagati takve cijene koje će pokriti troškove, ali i zaštititi od neracionalnog i velikog trošenja energije. Bez obzira na to, pokazalo se, cijena električne energije je politički vrlo osjetljivo pitanje, jer je upravo ona bila 1992. uzrokom velikoga nacionalnog štrajka.

DRŽAVE S MJEŠOVITIM BROJEM PODUZEĆA RAZNIH VLASNIČKIH ODNOSA

Ovdje treba analizirati deset država, dakle gotovo trećinu svih europskih zemalja. Sve one imaju vrlo različite oblike organiziranja svoje elektroprivredne djelatnosti i k tome vrlo različite vlasničke odnose u njoj.

Belgija

Struktura vlasništva belgijske elektroprivrede vrlo je kompleksna.

Glavni proizvođač električne energije (90%) i distributer (87%) u Belgiji jest tvrtka ELECTRABEL, *dioničko društvo,* nastala ujedinjenjem triju najvećih proizvodnih i distribucijskih kompanija u Belgiji. Nju kontrolira holding TRACTABEL, koji kontroliraju Societe Generale de Belgique i Groupe Bruxelles Lambert. Electrabel ima konkurenciju u 40 distributivnih poduzeća u vlasništvu lokalnih vlasti ili privatnih investitora. Taj sustav koordinira Societe pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Energie Electrique (CPTE), vlasništvo kojeg čini 40 distributivnih poduzeća.

Uz ta poduzeća postoji još i *javno poduzeće* Societe Cooperative de Production d'Electricite (SPE), koje je jedina konkurencija Electrabelu u proizvodnji električne energije (10%).

CPTE djeluje kao pool za kupoprodaju električne energije po najnižoj otkupnoj cijeni radi postizanja maksimalne razlike između cijene kupljenog kWh od proizvodnje i prijenosa i prodanog u distribuciji. Krajnji potrošač u distribuciji plaća jedinstvenu cijenu na cijelom teritoriju zemlje.

Electrabel vrlo često dijeli vlasništvo elektrana, posebno nuklearki i termoelektrana, s drugim tvrtkama, tako u NE Doel 3 i 4 blok (900 i 1 010 MW) su 96% Electrabel i 4% SPE. Isto je u NE Tihange 2 i 3, dok je u NE Tihange 1 (870 MW) 50% Electrabel i 50% EDF. U gradnji je NE Chooz 2 (na francuskom teritoriju) od 1 400 MW s 25% vlasništva Electrabel i 75% EDF.

Electrabel ima i druge tržne djelatnosti u Belgiji i inozemstvu. Vlasnik je 50% cjelokupnog belgijskog tržišta kabelske televizije, te 70% belgijskog tržišta prirodnog plina. U inozemstvu 10% dionica španjolske elektroprivredne kompanije Iberdrola, 94% dionica jedne manje kompanije za prijenosnu mrežu Gecoli u Španjolskoj, 10% dionica njemačkog brzooplodnog reaktora Kalkar i 2,36% dionica reaktora Super-Phenix u Francuskoj. Sve te dionice donose oko 10% ukupnog prometa tvrtke Electrabel.

Danska

Oko 120 je elektroprivrednih kompanija u Danskoj — neke su *komunalne,* neke *kooperativa* a neke *dioničk a društva.* Dvije najveće su:

Elkraft

Kooperativa je za opskrbu električnom energijom i toplinom istočne Danske. To je *dioničko društvo,* 50% SK Power Company i 50% City of Copenhagen. Sama kooperativa ELKRAFT posjeduje proizvodne kapacitete 3 792 MW, prijenosnu mrežu i distribuciju električne energije i topline, te dvije internacionalne interkonekcije (Zealand — Švedska i Zealand — Istočna Njemačka, dok veza između Zealanda i zapadnoga dijela Danske postoji, ali se ne koristi).

Elsam

Zajednica za *kooperaciju sedam regionalnih elektroprivrednih poduzeća* zapadne Danske, na Jutlandu i Funenu. Ova poduzeća su *dionička društva* s polovicom dionica u rukama pokrajinskih vlasti. Ostali dio drže dioničari, uglavnom korporacije i banke. Zajednica koordinira rad elektrana u vlasništvu svih sedam poduzeća, kao i isporuku topline za oko 2,8 milijuna stanovnika Danske.

Ova zajednica nabavlja gorivo za sve članice, financira projekte izgradnje, koordinira dispečing i pogon i brine za optimalni rad sustava svih članica (4 808 MW). Ona je zadužena i za koordinaciju rada distribucije električne energije i topline svojih članica.

Te dvije kompanije prodaju, svaka na svom području, drugim kompanijama električnu energiju i toplinu na temelju ugovora, a za distribuciju cijena je jedinstvena. Određuje ju parlament (Danish Folketing), koji brine i o smanjenju ovisnosti o uvozu energenata, kao i o zaštiti okoliša.

Finska

Finska elektroprivreda je visoko decentralizirana s oko 160 proizvodnih i distributivnih poduzeća koja pokrivaju sve distrikte, društvenopolitičke organizacije Finske i pojedine elektrane, sve do pojedinačnih nuklearnih elektrana.

Neka poduzeća su *privatno vlasništvo,* neka u *posjedu vlasti distrikta,* a mnoga u *vlasništvu velikih industrijskih poduzeća* te uz proizvodnju za vlastite potrebe proizvode i prodaju električnu energiju.

Prijenosna mreža je uglavnom u vlasništvu i pod kontrolom *državnoga javnog poduzeća* i najvećeg proizvođača električne energije koja kontrolira i razmjenu, Imatran Voima Oy (IVO).

Neki regionalni vodovi su u rukama lokalnih distributivnih poduzeća.

Iznad svih tih poduzeća elektroenergetski sustav nadzire i kontrolira *državna tvrtka* Power Producers Coordinating Council, koji nadzire izgradnju, razvoj elektroenergetskog sustava i upravlja spot tržištem električne energije potičući konkurenciju između proizvođača i distributera električne energije.
Interesantna je organizacija državne tvrtke:

Imatran Voima Oy (IVO)

To je grupa od 30 kompanija za proizvodnju i distribuciju koju u 95% iznosu *posjeduje država* Finska. Ona ima proizvodnju (5 410 MW od ukupno 15 000 MW u Finskoj), 15 891 GWh od oko 60 000 GWh u Finskoj. IVO ima pravo kupovine od drugih i u inozemstvu, te jedini pravo izvoza električne energije.

IVO ima supstidijare IVO International, inženjering kompaniju, IVO Generation Services i IVO Transmission Services, koja vode cijelu nacionalnu prijenosnu mrežu. Zanimljivo je da IVO ima i dvije elektrane u Velikoj Britaniji i da tamo sudjeluje kao ravnopravni partner u poolu elektroenergetskog tržišta.

Teollisuuden Voima Oy (TVO)

To je finska *državna tvrtka* koja ima nuklearne elektrane i jednu klasičnu TE na ugljen. To je neprofitna kompanija koja prodaje državi, po troškovima proizvodnje, svu proizvedenu električnu energiju, a to je oko 18% ukupno proizvedene električne energije u Finskoj. Ta energija plasira se potrošačima preko IVO.

Luksemburg

Compagnie grand-ducale d'electricite du Luxembourg (CEGEDEL)
Societe electrique de l'Our (SEO)
Societe electrique du Luxembourg (SOTEL)

Te tri kompanije drže elektroprivredu velikoga kneževstva Luksemburg, koja svega 1% potrošnje električne energije pokriva iz svoje proizvodnje. To je pumpna hidroelektrana Vianden od 1 100 MW. Sve ostale potrebe pokrivaju se uvozom iz Belgije, Njemačke i Francuske.

CEGEDEL je *nacionalna državna tvrtka, javno poduzeće,* koje kontrolira prijenosnu i distributivnu mrežu u Luksemburgu.

SOTEL je *dioničko društvo,* čija struktura vlasništva je:

40% država Luksemburg,
60% koncern luksemburških željezara.

To poduzeće uglavnom kupuje električnu energiju od Belgije i koristi za potrebe željezara, a 40% kupljene energije predaje CEGEDEL-u za potrebe potrošnje.

Societe electrique de l'Our (SEO) je *dioničko društvo* koje je osnovano na bazi joint venture ulaganja SEO i RWE pri gradnji pumpne HE Vianden. Njezina struktura vlasništva je:

40% država Luksemburg preko CEGEDEL-a,
40% RWE,
20% SOTEL.

U Luksemburgu je običaj da se i vrlo mali proizvodni objekti rade na bazi joint venture. Tako je u gradnji 4,5 MW HE Schengen, na granici Francuske, a formirano je i posebno poduzeće CEFRALUX. Upravo je u pogon ušla mala TE od 12 MW koju su kao joint venture gradili partneri CEGEDEL i industrija DuPont de Nemours, formiranjem posebne tvrtke CEDUCO. Na isti način država, SEO, CEGEDEL i Agence de l'Energie sklopili su ugovor o šestogodišnjem planu za renoviranje i modernizaciju luksemburške mreže prijenosa i distribucije, te obnovljivih izvora.

Inače, Luksemburg, sa samo 1 238 MW instalirane snage, ima potrošnju 4 221 GWh, odnosno 10 981 kWh po stanovniku godišnje, što je najviše među zemljama Europske unije.

Nizozemska

Prema zakonu o elektroprivredi od 1989. elektroprivredna djelatnost u Nizozemskoj povjerena je sustavu koji čini pet kompanija, i to:

Samenwerkende elektriciteits productiebedrijven (SEP),

koja je zadužena za prijenos i distribuciju, i

Elektriciteits-productiemaatschappij oost-en-noord--Nederland (EPON)
Elektriciteits-productiemaatschappij zuid-Nederland (EPZ)
Elektriciteitsbedrijf zuid-Holland (EZH)
Energieproduktiebedrijf una (UNA),

koje su zadužene za proizvodnju i distribuciju električne energije u Nizozemskoj na regionalnom načelu. U oko 30 elektrana, koje su vlasništvo ovih četiriju kompanija, ukupna instalirana snaga iznosi 13 935 MW, a proizvodnja 75,6 TWh. Tome treba dodati još oko 3 000 MW instalirane snage individualnih proizvođača, koji osim za svoje potrebe, proizvode i prodaju električnu energiju SEP-u.

Svih pet tvrtki su *dionička društva* s kapitalom 50 do 60% u rukama države odnosno pokrajine, a ostatak imaju individualni dioničari.

Načelo rada je sljedeće: Četiri regionalna proizvođača prodaju proizvedenu električnu energiju SEP-u, koji kupuje i od individualnih proizvođača i iz inozemstva, u prvom redu iz Norveške. SEP onda prodaje prenesenu energiju nužnu za svaku regiju, za distribuiranje. Prodaje se po National Basic Tariff (NBT), a ako električnu energiju izravno prodaju regijama bez prijenosa kroz nacionalnu mrežu SEP-a, tada se obračunava po Regional Basic Tariff (RBT), koja može varirati od kompanije do kompanije. NBT se sastoji od dva dijela: komponenta za snagu (kW) i za energiju (kWh). Komponenta za energiju pokriva troškove goriva, a za snagu ostale troškove.

Komponenta za energiju fiksira se svakoga kvartala, ovisno o kretanju cijene goriva, a za snagu svake godine na početku kao predujam i na kraju godine kao konačni obračun troškova, pri čemu se uzimaju u obzir utjecaji sezona. Rezultat je ovog načina obračuna da se postiže ujednačenost cijene u cijeloj Nizozemskoj, a regionalne razlike na razini distribucije rezultat su razlika u distributivnim sustavima pojedinih regija, uglavnom zbog različite gustoće stanovanja i duljine mreža.

Premda Nizozemska mnogo investira u izgradnju novih proizvodnih kapaciteta brzina izgradnje je sporija od rasta potražnje, te se sve više energije uvozi.

Norveška

Gotovo cjelokupna proizvodnja električne energije potječe iz hidroproizvodnje (99%), a u 1992. od 117,7 TWh je u HE proizvedeno 117,3 TWh. U siječnju 1990. donesen je novi zakon o elektroprivredi u Norveškoj po kojem je razbijen monopol na proizvodnju i distribuciju električne energije, tako da svatko smije proizvoditi i distribuirati električnu energiju, koristeći se pritom državnom prijenosnom mrežom. U Norveškoj postoji mnogo elektroprivrednih subjekata, ali država je organizirala prijenosnu mrežu kao *javno državno poduzeće,* Statnett i odvojila ga od *državnog javnog poduzeća* za proizvodnju električne

energije Statkraft, koje ima 47 elektrana i koje proizvodi jednu trećinu norveških potreba. Ostalo proizvode samostalni proizvođači, koji su *javna* ili *privatna* ili *komunalna poduzeća,* ili pak *dionička društva.* Cijenu električne energije na razini prijenosne mreže Statnett nadzire i kontrolira vladina agencija Norges vassdragesog energieverk (NEV, Norvegian Water Recources and Energy Administration). Odstupanje od propisanoga povlači za sobom zabranu rada.

Španjolska

U Španjolskoj postoji 13 velikih elektroprivrednih kompanija. Sve su one vertikalno integrirane, organizirane kao *dionička društva,* osim kompanije ENDESA koju kontrolira država kao *javno poduzeće* i koja pokriva trećinu proizvodnje i prodaje električne energije u Španjolskoj. Spomenut ćemo neke od najznačajnijih španjolskih kompanija.

Empresa Nacional de Electricidad sa (ENDESA)

ENDESA je najveće španjolsko elektroprivredno poduzeće po proizvodnji, *javno nacionalno poduzeće dioničko društvo pod kontrolom države.* Nastala je kao grupacija šest kompanija koje su privatizirane 1988. Grupa ENDESA istodobno funkcionira kao holding u tvrtkama Sevillana de Electricidad i u FECSA. Osim s proizvodnjom električne energije ENDESA se bavi i rudnicima te uvozom ugljena.

Godine 1993. ENDESA je imala instaliranu snagu od 12 037 MW, a čitava Španjolska 42 359 MW, dok je proizvodnja ENDESA-e bila 55 633 GWh, ili oko 35% ukupne proizvodnje električne energije u Španjolskoj (147 359 GWh). Oko 60% proizvodnje je iz klasičnih TE na ugljen, NE daju 23% ukupne proizvodnje ENDESA-e, a HE oko 10%.

Iberdrola

IBERDROLA je najveća španjolska *privatna kompanija,* koja drži više od 26% proizvodnje električne energije i 40% potrošnje. Procjenjuje se da je to treća po veličini kompanija koja je privatno vlasništvo u elektroprivredi. Inače, belgijski Tractabel drži 3% dionica kompanije, a to je kupio 1992. za 178 milijuna USD.

IBERDROLA proizvodi i distribuira električnu energiju u sjeverozapadnom i centralnoistočnom dijelu Španjolske, dakle u najvažnijim industrijskim područjima Španjolske. Ukupna instalirana snaga je 16 713 MW (50% hidroelektrana, 31% konvencionalne termoelektrane i 19% nuklearne elektrane). Što se proizvodnje tiče, 57% IBERDROLA dobiva iz NE, 16% iz klasičnih TE i 27% iz HE.

Osim u elektroprivrednoj djelatnosti, IBERDROLA ima vlasništvo u 89 neelektričnih kompanija, posebno u osiguravajućim društvima i informatičkoj tehnologiji.

Sevillana de Electricidad

Sevillana de Electricidad proizvodi, prenosi i distribuira električnu energiju u osam provincija Andaluzije i u dijelu provincije Badajoza, na jugu Španjolske. *Dioničko* je *društvo.*

U 1993.proizvodnja je dosegla 18 010 GWh, a Sevillana ima vlastitih elektrana ukupne snage 4 457 MW, od čega HE 1 195 MW i TE 3 255 MW.

Union Electrica fenosa (UNION FENOSA)

UNION FENOSA je *privatno elektroprivredno poduzeće, dioničko društvo,* zaduženo za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. Pokriva područje središnje i zapadne Španjolske. Ima ukupnu instaliranu snagu 5 406 MW, od čega je 1 972 MW klasičnih TE na ugljen, 1 781 MW u HE, 866 MW u NE, 784 u TE na loživa ulja i 3,0 MW vjetrenjača. Proizvodnja je 20 874 GWh, pa je 51% proizvodnje 1993. bilo iz TE na ugljen, 32% iz NE, 12% iz HE a ostatak iz ostalih elektrana.

Red Electrica de Espana (REE)

REE je *javna državna tvrtka* koja posjeduje visokonaponsku prijenosnu mrežu i odgovorna je za dispečing i koordinaciju rada nacionalnoga elektroprivrednog sustava i provođenje vladine energetske politike. REE kupuje i prodaje električnu energiju između pojedinih 13 elektroprivrednih poduzeća Španjolske i iz inozemstva, odnosno brine se za razmjenu sa susjednim zemljama.

Španjolska vlada određuje cijenu električne energije za krajnje potrošače, a sustavom cijena između proizvodnje i distribucije diktira REE. Svaka od elektroprivreda koja ima i distribuciju smije i direktno prodavati potrošačima i ostvarivati veću dobit ako je njihova proizvodna cijena niža od cijene iz REE. Ali ipak moraju voditi brigu o obvezama prema sustavu onako kako određuje nacionalni dispečing u REE.

Pri izgradnji velikih elektrana, posebno nuklearnih ili termoelektrana na plin i loživa ulja, često se više kompanija udružuje u zajednička ulaganja. To su najčešće prije spomenute ENDESA, IBERDROLA i UNION FENOSA, ali i druge, posebno Hidrocarbonico, a ima i primjera sudjelovanja stranih tvrtki. Po istom načelu kod eksploatacije dijeli se i dobit. Najinteresantniji primjer jest postrojenje za plinofikaciju ugljena od 330 MW u Puertollanu, koje bi trebalo u pogon 1997. Ono gradi posebna tvrtka ELCOGAS, u kojoj su vlasnički odnosi sljedeći: Endesa 30,52%, EDF 29,13%, Iberdrola 11,10%, Sevillana de Electricidad 7,4%, Hidrocarbonico 4%, Electricidade de Portugal 4%, ENEL 4%, National Power 4%, Siemens 2,34%, Babcock Wilcox Espana 2,5% i Krupp Koppers 1%. Ukupni troškovi izgradnje procijenjeni su na 77,81 milijardu peseta. Ovaj projekt dobio je podršku Europske unije kao vodeći projekt programa THERMIE za promociju čiste tehnologije goriva, u vrijednosti garancije od 50 milijuna funti sterlinga.

Švedska

Dvanaest elektroprivrednih tvrtka proizvodi oko 90% električne energije u Švedskoj. Polovicu proizvodnje pokriva najveća tvrtka Vattenfall, a druge veće su: Sydkraft, Göteborg Energi, Kristianstad Energiverk, GRAAB, Falu Elverk, Tekniska Verken i Linkoping Ab, te ENA Kraft.

Neke od njih su *privatna industrijska poduzeća* (20%), neka *općinska* (20%), dok je Vattenfall *nacionalno državno poduzeće.*
Od siječnja 1992. iz sastava Vattenfalla izdvojeno je posebno *državno javno poduzeće* Svenska Kraftnat, koje je zaduženo za visokonaponsku prijenosnu mrežu. Potrošači na visokom naponu mogu birati isporučioca električne energije, a potrošači na niskom naponu mogu kupovati samo od poduzeća koje na dotičnom području ima koncesiju za prodaju i distribuciju električne energije. Cijenu kupnje i prodaje električne energije određuje država.
Švedska je imala 1992. ukupnu instaliranu snagu 32 701 MW, od čega 7 311 MW u konvencionalnim TE, 10 000 MW u NE i 15 378 MW u HE, a ukupna potrošnja bila je 121 586 GWh. Polovica potrošnje bila je pokrivena radom NE — 73 514 GWh, oko 63 000 GWh iz HE, dok je mali ostatak pokriven radom konvencionalnih TE. Švedska raspolaže s 12 nuklearnih elektrana, od čega Vatterfall 7 sa PWR. Nakon incidenata s reaktorima u Three Mile Islandu i Černobilju, švedska vlada je naredila dekomisiju svih NE do 2010. godine, te su postupno elektrane zatvarane. Ali nakon 16. rujna 1992, ponovno su puštene u pogon jer su svima poboljšani zaštitni sustavi a ustanovilo se da Švedska ne može tako brzo izgraditi nedostajućih 10 000 MW u hidroelektranama. S radom konvencionalnih termoelektrana povećala bi se pojava kiselih kiša u pojedinim zonama. Zato su ponovno aktivirane nuklearne elektrane uz strogu kontrolu. Pokazalo se da se prestankom rada termoelektrana i s radom nuklearnih elektrana osjetno poboljšava stanje zaštite okoliša. Osim toga, treba znati da se oko četvrtine energetskih potreba u Švedskoj troši na grijanje. Za izgradnju termoelektrana–toplana postoji posebno državno tijelo koje izdaje posebne ugovore i dozvole za rad postrojenja i koje na temelju rezultata promatranja rada može dozvolu trenutačno uskratiti.
Nekoliko podataka o nekim švedskim elektroprivrednim poduzećima.

Sydkraft

SYDKRAFT je dioničko društvo, djelomično vlasništvo šest švedskih općina, odnosno gradova, s 37% vlasništva temeljnog kapitala i 59% prava glasa. Država ima 35% vlasništva i 27% glasačkog prava, a 12% kapitala i samo 4% prava glasa ima njemačka kompanija PreussenElektra. Zauzvrat, Sydkraft ima vlasništvo nad 3,2% PreussenElektrine vlasničke kompanije VEBA. Postoji više od 50 različitih kompanija koje su u potpunosti ili dijelom vlasništvo grupacije Sydkraft, a veći dio bavi se elektroprivredom.

Grupacija Sydkraft ima ukupnu instaliranu snagu 6 400 MW, a od toga 2 496 MW u NE. Za nju je bio težak udarac odluka švedske vlade o zatvaranju nuklearnih elektrana. U hidroelektranama je 2 176 MW, nafta i ugljen 1 152 MW, a u plinskim turbinama 576 MW. Godine 1993. puštena je u pogon prva u svijetu termoelektrana na biomasu (drvena prašina) 24 MW, a ova kompanija gradi još dvije takve elektrane, koje bi ujedno trebale biti i toplane za centralno grijanje nekih gradova.
Sydkraft drži i trećinu kapitala u Baltic Cable, zajedno s Vattenfallom i PreussenElektra, a ovaj konzorcij gradi vezu 600 MW između Švedske i Njemačke.

Vattenfall

Vattenfall je šesta elektroprivredna tvrtka u Europi po proizvodnji električne energije. Ona pokriva oko 50% svih potreba Švedske. Organizirana je od 1992. g. kao *dioničko društvo,* ali je 100% u *vlasništvu države.*
Proizvodnja električne energije predstavlja oko 90% prihoda firme, ostalih 10% donosi toplinarstvo. Vattenfall je vlasnik oko 70 velikih hidroelektrana u Švedskoj, stopostotni vlasnik nuklearke Ringhals (795 + 875 + 2 × 915 = 3 500 MW) i 75% vlasnik NE Forsmark (2 × 968 + 1 158 = 3 094 MW). Osim toga, vlasnik je niza manjih toplana-termoelektrana u zemlji. Godine 1992. polovica proizvodnje bila je iz nuklearnih elektrana, a ukupna proizvodnja iz nuklearki bila je 36 200 GWh, dok je proizvodnja iz hidroelektrana iznosila 37 300 GWh.

Švicarska

U elektroprivrednoj djelatnosti Švicarske ima oko 1 200 kompanija, među kojima je šest velikih regionalnih tvrtki i tri velike gradske tvrtke. Neke od njih su *javne kantonalne,* neke su *potpuno privatne,* ali većinom su *dionička društva,* u kojima regionalne, kantonalne i općinske vlasti drže većinski udio vlasništva.
Švicarska ima vrlo malo prirodnih energetskih resursa i oni se u elektroenergetici svode na hidropotencijal. Danas je u pogonu 441 velika hidroelektrana s ukupnom instaliranom snagom 11 680 MW, dok je u nuklearnim elektranama instalirano 2 950 MW, a u klasičnim termoelektranama 800 MW. Bez obzira na to, za potrebe Švicarske oko 42% ukupne potrošnje treba pokriti uvozom. Ukupna potrošnja je iznosila 56 078 GWh. Švicarska je, zbog svog geografskog položaja, elektroenergetsko raskrižje Europe jer povezuje sve velike proizvođače i potrošače, tako da je bitna za razmjenu unutar unije UCPTE. Tu ulogu ima ciriška tvrtka Elektrizitaetswirtschaft Laufenburg (EGL), *dioničko društvo,* koje osim relativno male proizvodnje i relativno velike prodaje lokalnim distributerima organizira razmjenu unutar same Švicarske i s inozemstvom.
Godine 1990. u Švicarskoj je proveden referendum kojim je prihvaćen tzv. energetski članak u konfederalnom Ustavu kojim je ustanovljen desetogodišnji moratorij na gradnju novih elektrana (svih vrsta) i postupno isključivanje nuklearnih elektrana. Time je usvojen plan Energy 2000, — švicarski energetski plan kojim bi se trebale potrebe zemlje pokriti iz hidropotencijala i iz uvoza, tako da bi proizvodnja i izgradnja u HE rasla stopom od 5% godišnje. Međutim, novim zakonom o zaštiti vodotoka hidropotencijal je također sveden na minimum, jer su postale minimalne mogućnosti za gradnju novih hidropos-

trojenja, a također i problemi za obnovu koncesija za postojeće elektrane. Zbog toga Association of Swiss Power Stations predviđa da će švicarska proizvodnja električne energije opasti između 8 i 15%.

Nekoliko značajnih elektroprivrednih organizacija u Švicarskoj jesu: Nordostschweizerische Kraftwerke (NOK), Electrowatt, Bernische Kraftwerke, Centralschweizerische Kraftwerke Elektrizitaetsgesellschaft Laufenburg (CKEGL), Bielersee Kraftwerke (BKW), Baselische Kraftwerke, Energie d'Ouest Suisse i druge.

Velika Britanija

Elektroprivredna djelatnost u Ujedinjenom Kraljevstvu privatizirana je, no razlikuju se one u Engleskoj i Walesu od onih u Škotskoj, a obje od onih u Sjevernoj Irskoj. Sve elektroprivredne organizacije povezane su interesno u udruženje Electricity Association, koja povezuje elektroprivrednu strukturu u Velikoj Britaniji. Kratki opis je sljedeći:

Engleska i Wales

Elektroprivredna djelatnost u Engleskoj i Walesu odvojena je na proizvodnju, prijenos i opskrbnu djelatnost. Na području proizvodnje djeluju tri velika britanska poduzeća: National Power, PowerGen i Nuclear Electric, zatim niz malih individualnih proizvođača i EDF kao peti faktor. Dionice National Power i PowerGena bile su prodane u ožujku 1991. tako da je vlada zadržala po 40% dionica, a ostale dionice kupilo je 12 regionalnih elektroprivrednih kompanija o kojima će kasnije biti riječi. Jedino je Nuclear Electric u potpunosti javno državno poduzeće čije vlasništvo drži država, premda se očekuje da će i ova kompanija uskoro biti stavljena na tržište slično kao dvije spomenute.

Prijenos električne energije kroz visokonaponsku mrežu vlasništvo je tvrtke Nacional Grid Company (NGC), koja je u djelomičnom vlasništvu spomenutih 12 regionalnih kompanija (60% svaka po 5%), a 40% je vlasništva u vladinim rukama.

Prije privatizacije većina elektrana bila je na ugljen, premda je bilo i dosta elektrana na teška loživa ulja. Danas, zbog konkurentskih razloga, TE na ugljen uglavnom su u rezervi. Mali individualni proizvođači nastoje da njihove elektrane rade na prirodni plin ili na tehnologiju kombiniranog ciklusa. Nuclear Electric ima 12 nuklearnih elektrana, od kojih je 7 Magnox i pet s plinom hlađenim reaktorima. Posebna kompanija British Nuclear Fuels (BNFL) posjeduje jedno Magnox-postrojenje u Calder Hallu. Nove investicije u nuklearne elektrane podliježu odluci britanske vlade.

Dvanaest regionalnih elektroprivrednih organizacija na teritoriju Engleske, Walesa i Škotske čini takozvani Regional Electricity Companies (RECs). Njihova obveza je opskrba potrošača na teritoriju za koji su dobili ovlasti, a ti prostori su uglavnom isti kao kod bivših Area Electricity Boards. Njihova glavna aktivnost je distribucija i opskrba korisnika, a podliježu licenci koja se zove Public Electricity Supply Licence (PES), premda se smiju baviti i drugim trgovačkim djelatnostima. Bez PES-a nitko ne smije pristupiti elektroprivrednom Poolu kod kojeg se kupuje električna energija iz mreže NGC-a. Tako se većina REC bavi i prodajom prirodnog plina komercijalnim i industrijskim potrošačima, premda se poneke zalijeću i u nove poslove, kao što su poslovi osiguranja, trgovine, pa i čuvarske službe.

National Grid Company (NGC) je *dioničko društvo* koje u obliku holdinga drži 12 REC-a. NGC ima središnju ulogu u opskrbi zemlje, posebno Engleske i Walesa. Statutarno je dužna razvijati i održavati efikasnim elektroenergetski sustav, koordinirati ga i provoditi dispečing te ostvariti konkurentnost svih sudionika u kupnji i prodaji električne energije. NGC je vlasnik i korisnik prijenosnog sustava i koordinira djelovanje velikih elektrana u Engleskoj, Walesu i Škotskoj. Istodobno je vlasnik nekih 2 088 MW u pumpnim akumulacijskim elektranama, kojim djeluje na konkurentnost drugih proizvođača električne energije. Ova kompanija ima monopol na vezama interkonekcije s Francuskom i administrira Poolom preko NGC Settlement Ltd. Kroz supstidijarnu kompaniju Energis NGC je razvio najjaču telekomunikacijsku mrežu s optičkim kabelima, temeljenu na svom prijenosnom sustavu, tako da sada vlada prijenosom informacija unutar Engleske povezujući 17 najvećih gradova.

National Power je najveće proizvodno poduzeće s instaliranom snagom 24 633 MW, privatizirano 1991. i organizirano kao *dioničko društvo.* Uglavnom posjeduje klasične termoelektrane na ugljen premda forsira razvoj kombi-elektrana. Ta kompanija drži 41% elektroprivrednog tržišta u Engleskoj i Walesu. Kompanija je vlasnik National Wind Powera, koji ima 4 vjetrofarme (oko 15 MW). Osim toga, National Power ulaže mnogo u traženje i eksploataciju plina iz Sjevernog mora. Kroz National Power International sudjeluje u nizu projekata i dionica u inozemstvu (u preko 4 000 MW), uglavnom ugljen, nafta i plinske TE. Tako posjeduje posebnu kompaniju u SAD koja ima 7 elektrana u eksploataciji.

PowerGen je drugo po veličini proizvodno poduzeće, sa snagom 16 386 MW, također uglavnom s klasičnim TE na ugljen ili s kombi-procesom. *Privatizirano* 1990. godine, a danas predstavlja 27% tržišta u Poolu. Ujedno je najveći opskrbnik velikih industrijskih kompleksa u Engleskoj. Diversificira svoju djelatnost baveći se prijenosom i distribucijom prirodnog plina, zatim kroz sustave centralnih grijanja u gradovima, a ima i intenzivnu međunarodnu djelatnost, investirajući u proizvodne objekte, posebno u Portugalu.

Nuclear Electric je *državno vlasništvo,* koje ima 8 253 MW instaliranih u nuklearnim elektranama i danas predstavlja 22% elektroenergetskog tržišta u Poolu. Unutar Poola djeluje EDF iz Francuske s 2 000 MW, koje dugoročnim ugovorom prodaje NGC-u.

Škotska

U Škotskoj djeluju tri velike kompanije: ScottishPower i Hydro-Electric, koje su i proizvođači i distributeri, i Scottish Nuclear, koja je proizvodno poduzeće. ScottishPower i Hydro-Electric su privatizirane u lipnju 1991. g. dok je Scottish Nuclear državno vlasništvo.

Hydro-Electric je vertikalno integrirana kompanija koja sadrži proizvodnju, prijenos, distribuciju i komercijalne poslove prodaje električne energije. Ona je *dioničko društvo* s 2 897 MW uglavnom u HE, premda je najveća elektrana Peterhead na kombi-plin i teško ulje. Ugovorom s drugim škotskim kompanijama, ScottishPower i Scottish Nuclear, ona kupuje njihovu proizvodnju i otprilike s polovicom pokriva potrebe Škotske, dok za drugu polovicu ima PES i isporučuje Poolu u Engleskoj i Walesu.

ScottishPower je *dioničko društvo,* također vertikalno integrirana kompanija za proizvodnju, prijenos i opskrbu električnom energijom. Ona pokriva potrebe 1,7 milijuna potrošača na svom području i ostatkom konkurira na tržištu Poola. Osim električnom energijom, bavi se plinom, telekomunikacijama, elektroindustrijom i kućanskim aparatima.

Scottish Nuclear proizvodi 47% potreba u Škotskoj. To je *javno nacionalno poduzeće* u rukama države i dugoročnim ugovorima vezano je na prodaju sve svoje proizvodnje Hydro-Electricu i ScottishPoweru. Ukupno raspolaže dvjema NE ukupne snage 2 400 MW.

Sjeverna Irska

Zbog zemljopisnog položaja izdvojena je iz Poola i funkcionira posebno. Od 1993. privatizirana Nothern Ireland Electricity funkcionira kao *dioničko društvo.* Ona proizvodi, prenosi i distribuira električnu energiju za 624 000 potrošača u Sjevernoj Irskoj. Ta kompanija ima dugoročne ugovore sa svakom proizvodnom jedinicom u zemlji: kontrolira njihov rad, dispečing i pokriva potrebe na temelju dnevnog rada. Osim toga ona drži tržište kućanskih električnih aparata u Sjevernoj Irskoj.

ORGANISATIONAL AND OWNER FORMS IN EUROPEAN POWER SUPPLY COMPANIES

Organisational and owner forms are very different throughout European countries. There is no rule in it. Therefore we analyse all European electric supply companies through four main groups: those organised as unique, national, state and public companies owned only by the state, then companies organised as share-holders and trade companies, but owned by the government of the country, the third group includes pure share-holders companies in the world market and the fourth group consists of countries with a mixed combined organisation. In the paper all important European countries have been analysed, in total 31.

ORGANISATIONS- UND EIGENTUMSVERHÄLTNISSE DER VERBUNDGESELLSCHAFTEN IN EUROPA

Organisationsformen und Eigentumsverhältnisse in den europäischen Ländern sind sehr unterschiedlich. Es gibt dabei keine Regeln. Darum werden in dieser Übersicht zwecks Analyse die Verbundgesellschaften in 4 Hauptgruppen gruppiert: die erste Gruppe umfasst einheitliche nationale staatliche und öffentliche Unternehmen, die zweite bilden Aktien- und Handelsgesellschaften jedoch ausschließlich im Staatseigentum, in der dritten sind reine auf dem Weltmarkt bestehende Aktiengesellschaften und in der vierten sind kombinierte Gesellschaften in denen einige der vorherangegebenen Möglichkeiten repräsentiert sind. In dieser Arbeit sind alle wichtigeren europäischen Länder, 31 insgesammt, bearbeitet.

Naslov pisca:

Josip Moser, dipl. ing.
HEP, Ured generalnog direktora,
10000 Zagreb,
Ulica grada Vukovara 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1995–12–01

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

OSNOVNI STATISTIČKI POKAZATELJI ZA RAZDOBLJE I – IX. 1995.

Državni statistički zavod mjesečno objavljuje osnovne gospodarske pokazatelje za poslovne subjekte. Poslovni subjekti razvrstani su prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (NKD). Podaci se prikupljaju temeljem godišnjeg programa statističkih istraživanja. Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje skupni su indeksi proizvoda prema nomenklaturi. Ponderacijski koeficijenti društveni su proizvod za jediničnu proizvodnju određenog proizvoda. Ponderacijski koeficijenti korigiraju se svake godine na razini grane i na temelju društvenog proizvoda, a u skladu s preporukom Statističkog ureda UN.

Izabrani su najvažniji podaci za elektroprivrednu djelatnost za prvih devet mjeseci ove godine. Obuhvaćeni su indeksi fizičkog obujma proizvodnje, podaci o proizvodnji električne energije, broju zaposlenih u elektroprivredi, o bruto i neto plaći po zaposlenom, te podaci o bruto-proizvodu za neke zemlje u svijetu. Znak »Ø« ispred brojčane vrijednosti označava godišnji prosjek.

Indeksi fizičkog obujma proizvodnje po granama NKD-u za elektroprivrednu djelatnost prikazani su u tablici 1.

U tablici 2. prikazana je ukupna proizvodnja električne energije, te količina proizvedene energije u hidroelektranama i termoelektranama. Podaci se odnose na 1993, 1994. i 1995. godinu. U 1995. godini obuhvaćeno je razdoblje od VI. do IX.

Podaci o radnicima prema tablici 3. iskazani su kao godišnji prosjek izvještaja sa stanjem 31. ožujka i 30. rujna. Godišnji prosjeci broja zaposlenih izračunati su kao aritmetičke sredine dvaju polugodišnjih stanja. Podaci o zaposlenima koji se odnose na mjesečno stanje, rezultat su obrade podataka redovnog mjesečnog izvještaja.

Podaci o prosječnim neto-plaćama po zaposlenom u elektroprivredi prikazani su u tablici 4. U zaposlene se ubrajaju svi zaposleni bez obzira na to jesu li svoj radni odnos zasnovali na neodređeno ili određeno vrijeme. Pod prosječnim neto-plaćama po zaposlenom razumijevaju se primanja zaposlenih po osnovi redovnog radnog odnosa. Osim isplata za stvarno izvršeni rad, obuhvaćene su i ostale isplate koje ulaze u neto-plaće, tj. naknada za godišnji odmor, držav-

Tablica 1.

Elektroprivreda	1992. Ø 1994.	1993. Ø 1994.	I – IX. 1994. I – IX. 1993.	I – IX. 1995. I – IX. 1994.	1995/Ø1994.			1995/Ø1994.				
					VIII.	IX.	X.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Indeksi fizičkog obujma proizvodnje	101,6	108,3	94,0	102,9	87,4	111,1	92,7	103,93	84,1	89,5	95,6	95,6

Tablica 2.

Elektroprivreda	1993.	1994.	I – IX.		1994.			1995.			
			1994.	1995.	VIII.	IX.	X.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Proizvodnja električne energije											
Ukupno MWh	9 436 920	8 716 727	6 547 448	6 741 504	634 352	807 242	672 958	611 224	649 856	694 161	694 331
Hidroenergija MWh	4 483 851	5 425 994	3 809 647	3 765 098	327 659	395 534	342 045	407 795	423 875	417 107	440 688
Termoenergija MWh	4 953 069	3 290 733	1 930 559	2 282 075	306 693	411 708	330 913	203 429	225 981	277 054	253 643

Tablica 3.

Elektroprivreda	Prosjek		1994.			1995.							
	1993.	1994.	VIII.	IX.	X.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Broj zaposlenih (u tisućama)	16,3	16,0	6,1	16,0	16,0	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,3	16,2	16,2

Tablica 4.

	Prosjek		Prosjek I – VIII.		1994.			1995.			
	1993.	1994.	1994.	1995.	VI.	VII.	VIII.	V.	VI.	VII.	VIII.
Prosječne neto-plaće (u kunama)	568	1 350	1 249	1 952	1 378	1 288	1 269	1 925	1 923	1 904	1 969

Tablica 5.

Elektroprivreda	Prosječne plaće po zaposlenom, u kunama					Indeksi bruto-plaće po zaposlenom		
	V. 1995.	VI. 1995.	VII. 1995.	VIII. 1995.	I–VIII. 1995.	VI. 1995. / V. 1995.	VII. 1995. / VI. 1995.	VIII. 1995. / VII. 1995.
	3 002	2 992	2 956	3 079	3 044	99,7	98,8	104,2

ne blagdane i neradne dane utvrđene zakonom, bolovanja do 42 dana, odsutnost za stručno obrazovanje, obnašanje vojne obveze, te naknade za topli obrok od prosinca 1994. godine.

Bruto-plaća po zaposlenom u elektroprivredi prikazana je u tablici 5. Bruto-plaća obuhvaća sve vrste neto isplata, tj. plaće iz radnog odnosa u koje su uključena i zakonom propisana obvezna izdvajanja, a to su doprinosi (23,85%), porezi i prirezi.

Za potrebe učlanjivanja Republike Hrvatske u Međunarodni monetarni fond izračunan je bruto domaći proizvod za 1990. godinu prema metodologiji Sustava nacionalnih računa Ujedinjenih naroda SNA. To je prvi obračun takve vrste jer se u nas izračunavalo osnovne makroekonomske agregate samo po sustavu materijalne proizvodnje. Uz pomoć eksperata MMF-a procijenjen je bruto domaćeg proizvoda u stalnim cijenama za Hrvatsku za razdoblje od 1990. do 1994. bez podataka za vojsku. Procjena je obavljena na temelju već izračunatog bruto domaćeg proizvoda u tekućim cijenama za 1990. izračunanog po djelatnostima (NKD) i na temelju statističkih podataka o kvantitativnim indikatorima proizvodnje koji reprezentiraju kretanje proizvodnje pojedinih djelatnosti u posljednje tri godine.

Tablica 6.

Naziv zemlje	Bruto domaći proizvod, 1992.		Bruto domaći proizvod ukupno, milijarde USD 1993.
	ukupno, milijarde USD	po stanovniku, USD	
Hrvatska	12,7	2 660	14,6
Austrija	174,8	22 110	181,4
Češka	25,3	2 440	31,7
Francuska	1 278,7	22 300	1 251,1
Italija	1 186,6	20 510	993,2
Mađarska	30,7	3 010	38,1
Norveška	110,5	25 800	103,2
Njemačka	1 846,1	23 030	1 712,9
Slovačka	10,2	1 920	10,8
Slovenija	12,3	6 334	12,0
Švedska	233,2	26 780	186,1
Švicarska	248,7	36 230	234,3
V. Britanija	1 024,8	17 760	939,3
Australija	299,3	17 070	278,8
Japan	3 507,8	28 220	4 227,1
Kanada	565,8	20 320	545,1
SAD	5 904,8	23 120	6 251,7

SBK

100-GODIŠNJICA HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

U kolovozu ove godine obilježena je stota godišnjica javne elektroprivredne djelatnosti. Prvi sustav je izgrađen na rijeci Krki i u Šibeniku, a pušten je u trajni rad u kolovozu 1895. godine. U tehničkom pogledu sustav javne elektroprivrede obuhvaća proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije.

Prva naša hidroelektrana izmjenične struje HE Jaruga izgrađena je 1895. godine pokraj Skradinskog buka na rijeci Krki. Kompletnu električnu i strojarsku opremu za ovu elektranu isporučila je tvrtka »Ganz« iz Budimpešte. Elektrana i Šibenik bili su povezani bakrenim vodom 35+50 mm² dužine 11 km, napona 3 kV. Prva izmjenična dvofazna razdjelna mreža napona 110 V izgrađena je u Šibeniku, a napajala je svjetiljke javne rasvjete.

U organizaciji Hrvatske elektroprivrede, pod državnim pokroviteljstvom, obilježen je ovaj jubilej simpozijom, izložbom, predavanjima i akademijom. Izdan je Zbornik simpozija, monografija i prigodna marka, a na hidroelektranu na Krki postavlja se spomen-obilježje.

SBK

MEĐUNARODNA KONFERENCIJA O SANACIJI BRANE PERUČA

U rujnu ove godine u Brelima je održana Međunarodna konferencija sanacije brane Peruča pod pokroviteljstvom Hrvatske elektroprivrede i Društva za velike brane.

HE Peruča je pribranska elektrana oko 14 km uzvodno od Sinja s akumulacijom za godišnje izravnavanje protoka za nizvodne hidroelektrane na Cetini. Jezero Peruča ima zapreminu 541 km³ pri usporu vode na koti 360,00 m n. m. Prosječna godišnja proizvodnja električne energije iznosi oko 3 000 MWh. Izgradnjom HE Peruča učinjen je prvi korak u realizaciji energetskog iskorištenja šireg porječja Cetine. HE Peruča s istoimenom akumulacijom građena je u razdoblju od 1954. do 1960. godine.

Početkom 1993. godine vojska bivše Jugoslavije zajedno s pobunjenim Srbima iz Hrvatske eksplozivom je oštetila branu na injekcijskoj galeriji i preljevnoj građevini brane. Kako je prijetila opasnost da se brana uruši, moralo se odmah početi sanirati branu. Zbog specifičnosti oštećenja uzrokovanih namjernim rušenjem nisu se mogla koristiti svjetska iskustva za saniranje brane. Najprije je obnovljena injekcijska galerija u dužini 356 m. Zatim je uslijedila rekonstrukcija brane, te izvedba dijafragme od plastičnog betona. Da bi se međunarodna javnost upoznala sa ovim nesvakidašnjim graditeljskim pothvatom organizirana je Međunarodna konferencija u Brelima 20–23. rujna. U uvodnom dijelu Konferencije iznesena je uloga brane Peruča u hidroenergetskom sustavu rijeke Cetine, okupacija brane i pokušaj rušenja. Slijedilo je izlaganje o izboru varijante tehničkog rješenja sanacije brane, o projektu brane, te organizaciji građenja i izvođenja radova na sanaciji. Zatim se govorilo o utvrđivanju seizmičkih parametara područja brane, analizi velikih voda na pregradnom profilu brane, geotehničkim istražnim radovima i proračunskim parametrima za analize stabilnosti brane, analizi seizmičke stabilnosti brane, analizi stanja naprezanja i deformacije brane, te istražnim radovima i kontroli ugradnje materijala u nasuti dio brane također su izloženi. Nakon toga je izloženo konsolidacijsko injektiranje po trasi dijafragme, tehnologija izvođenja glineno-betonske dijafragme, laboratorijska ispitivanja i ispitivanja kvalitete izvedbe glineno-betonske dijafragme, prikaz oštećenja u injekcijskoj galeriji i izvođenje sanacije, konsolidacijsko injektiranje u galeriji i na bokovima brane, sustav za tehnička promatranja brane, te iz-

vođenje preljevne građevine i hidromehanička oprema preljeva.

SBK

MEĐUNARODNI SIMPOZIJ »STOLJEĆE HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE 1895 – 1995.«

Potkraj rujna ove godine održan je Međunarodni simpozij »Stoljeće Hrvatske elektroprivrede 1895 – 1995«. Simpozij je sa znanstvenog i stručnog gledišta razmatrao mjesto i ulogu prvoga elektroprivrednog sustava u Hrvatskoj. Obrađene teme svrstane su u tri skupine:

- razvoj elektroprivredne djelatnosti, graditelji prvih sustava i gospodarska motrišta rane elektrifikacije u Europi
- demografsko-gospodarska i sociološka obilježja i aspekti trgovačkog prava prvoga elektroprivrednog sustava, kao i drugih tadašnjih pothvata na tlu Hrvatske i njihov utjecaj na razvoj proizvodnje i projektiranje opreme
- počeci, razvoj i perspektiva nacionalnih elektroprivreda Mađarske, Austrije, Italije, Slovenije, Bosne i Hercegovine te Hrvatske.

Prezentirani referati objavljeni su u publikaciji »Stoljeće Hrvatske elektroprivrede« na engleskom i hrvatskom jeziku. U nastavku su navedeni neki od njih:

- Tehnički razvoj rane elektroprivredne djelatnosti u svijetu
- Graditelji sustava u počecima elektroprivrede u svijetu
- Prvi hrvatski izmjenični sustav
- Značaj eksperimentalnih postrojenja na rijeci Krki za razvoj proizvodnje i projektiranja
- Zaštita okoliša, izgradnja i korištenje prvoga elektroprivrednog sustava Krka – Šibenik
- Prvi tarifni sustav i razvoj tarifnog sustava u proteklih sto godina
- Počeci i razvoj Hrvatske elektroprivrede.

SBK

DISTRIBUCIJSKO PODRUČJE »ELEKTRA« BJELOVAR PRIPREMA IZGRADNJU NOVIH OBJEKATA

Potkraj rujna ove godine Distribucijsko područje »Elektra« Bjelovar raspisalo je natječaj za prikupljanje ponuda za postavljanje dviju gradskih kabelskih transformatorskih stanica TS 20(10)0,4 kV 1 × 630 kVA sa odgovarajućim kabelskim vodovima 20(10) kV. Jedna od ovih transformatorskih stanica bit će postavljena na gradskom području Bjelovara, a druga kod Križevaca. Transformatorske stanice će biti montažno betonske, 24 kV/630 kVA opremljene sa T + 3Vz, niskonaponskim sklopnim blokom NBO-10 i blokom za javnu rasvjetu BJR-6.

SBK

IZGRADNJA LOKALNE MREŽE INFORMATIČKOG SUSTAVA NA LOKACIJI DP »ELEKTRA« BJELOVAR

Potkraj rujna raspisan je natječaj za prikupljanje ponuda za izvedbu lokalne informatičke mreže na lokaciji distribucijskog područja »Elektra« Bjelovar te pogona Križevci. Lokalna mreža informatičkog sustava predviđena je kao višerazinska lokalna Ethernet-mreža, koja mora omogućiti:

- jedinstven način uključivanja terminala, osobnih računala, radnih stanica i host-računala u informatičku mrežu HEP-a
- korištenje svih informatičkih resursa u informatičkom čvorištu
- uspostavljanje jedinstvene komunikacijske strukture.

Kao prenosni medij u lokalnoj mreži koristit će se 100-omska telefonska parica zaštićena PVC-om.

SBK

ENERGETSKA BUDUĆNOST HRVATSKE

U sklopu projekta PROHES (Razvoj i organizacija hrvatskog energetskog sektora) načinjena je studija »Prethodni rezultati sagledavanja budućnosti hrvatske energetike« u kojoj su dane prve procjene gospodarskog razvoja i pripadne potrošnje električne energije u razdoblju 2000. do 2010. godine. Studiju je izradio Energetski institut »Hrvoje Požar«. Rasprava o tome vođena je na skupu Upravnog odbora, stručnog i regionalnog savjeta PROHES-a. Ta studija je početak rada na projektu PROHES, pa će njezini rezultati i postavke biti preispitane i proširene na područja i teme koje sada nisu obrađene. Tu su dani samo osnovni parametri mogućega energetskog razvoja i temeljne teze za rješavanje ustroja energetskog sektora.

Što se tiče strateške opcije, u elektroprivredi se nastoji postići kombinacija energenata kako poteškoće s jednim energentom ne bi izazvale raspad energetskog sustava. S obzirom na vlastite mogućnosti osuđeni smo na uvoz energije bez obzira na to o kojem je energentu riječ. Kao što su odredile države većine razvijenih zemalja, tako i naša država mora jasno definirati svoje ciljeve. Među tim ciljevima svakako mora biti bolja organiziranost energetskog sektora, racionalnost u korištenju novih tehnologija, bolja iskorištenost kod proizvodnje, prijenosa i distribucije te potrošnje električne energije, uspostava efikasnih tarifnih sustava itd.

SBK

UPORABA BIOMASE ZA POGON TE-TO DELNICE

Da su neka naša razmišljanja ista kao i europska, pokazuje primjer istraživanja uporabe biomase i drvnih otpadaka na području Delnica. Europska istraživanja pokazuju da drvo i otpaci mogu biti učinkovit izvor energije. U tu svrhu predviđaju se posebne plantaže jablana i vrba, te plantaže šiblja. Kako na području Delnica ima drvnih ostataka iz šumarstva i drvne industrije poglavarstvo je došlo na ideju da se istraži mogućnost izgradnje gradske elektrane-toplane, koja bi koristila drvne ostatke i biomasu. Angažirana je Tvornica energetskih postrojenja »Đuro Đaković« iz Slavonskog Broda da načini procjenu mogućnosti energetske uporabe. Prema zamisli TE-TO bila bi dimenzionirana za 4 MWe i 15 MWt. Na raspolaganju je približno 77 000 t/god. drvnog ostatka, iskoristivo oko 40 000 t/god. Na temelju toga procjenjuju se značajke elektrane:

— snaga turbine	4,58 MWe
— snaga generatora	4,50 MWe
— toplinska snaga grijanja	14,54 MWt
— godišnja proizvodnja:	
• električne energije	16 000 MWh
• toplinske energije	58 160 MWht.

Projektom su obuhvaćeni potprojekti korištenja biomase, TE-TO ecofluid i toplifikacija Delnica. Uz nositelja projekta, sudionici u ostvarenju projekta bili bi INA, HEP, Hrvatske šume i Šumarski fakultet iz Zagreba.

U nadzornom timu za praćenje i kontrolu projekta bili bi predstavnici općine i grada Delnica, Županije primorsko-goranske, Ministarstva gospodarstva, Državne uprave za zaštitu okoliša, te Ministarstva poljoprivrede i šumarstva. Od ideje do ostvarenja treba riješiti niz poblema, od kojih je svakako najveći financijska konstrukcija.

SBK

KATALOG VODOTOKA ZA MALE HIDROELEKTRANE

Da smo sve bliže realizaciji projekta izgradnje malih elektrana, pućuje upravo završena izradba dokumentacije:

— Prostorno planiranje podloge za ocjenu poteza vodotoka za korištenje i lociranje malih hidroelektrana u Hrvatskoj, te pripadajući
— Katalog vodotoka.

Dokumentaciju je izradio Urbanistički institut Hrvatske. Vlada Republike Hrvatske i Hrvatska elektroprivreda financirali su izradbu dokumentacije, dok su usklađivanje obavili Ministarstvo gospodarstva prostornog planiranja, graditeljstva i stanovanja.
Zainteresirani pojedinci i tvrtke mogu kompletnu dokumentaciju ili pojedine separate dobiti na korištenje kod Ministarstva gospodarstva.

SBK

PROGRAM MEAD (Model for Analisys of the Energy Demand)

U ožujku i travnju ove godine u SAD je održana obuka za rad s programom MAED. Uz predavanja o uporabi programa MAED polaznici su upoznati s pripremom podataka za ovaj program. Održana su također predavanja o ostalim područjima energetike uz posebno isticanje mjera o DSM (Demand Side Management). Na toj obuci sudjelovala su trojica stručnjaka iz naše zemlje. To je bila prilika i da se unesu novi podaci u program ELECTRIC. Ovaj program daje optimalan plan izgradnje elektroenergetskih objekata. Kao podloga za obradu izrađena je CASE STUDY s projekcijom potrošnje energije odnosno električne energije za razdoblje do 2010. godine. Zbog kratkog vremena nije se mogla načiniti i obrada s novim podacima. Rezultati obrade programom MAED s novim podacima uspoređeni su s rezultatima obrade programom ELECTRIC s prošlogodišnjim podacima, te je utvrđeno da su odstupanja manja od 3,0%.
Ovom obukom zaokružen je dio analiza u energetici. Osim tih programa, potrebno bi bilo detaljnije upoznavanje programa za izračunavanje troškova u elektroenergetskom sustavu — ICARUS, te programa koji obrađuje ekološke probleme u elektroenergetskom sustavu — IMPACT.

SBK

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

NOVI KORACI U ISTRAŽIVANJU FUZIJE

Američki odsjek za energiju (DOE) objavio je izvješće o pokusima da se »energija paljenja« nuklearne fuzije dovede laserom, a ne magnetskim poljem. Laserom, koji zrači ultraljubičastim dijelom spektra, djeluje se na atome deutrija i tricija. Laserske se zrake proizvode u pokusnom uređaju »Nova«, a snaga zračenja iznosi više TW, ali u trajanju od nekoliko nanosekundi. Laserski impuls ima energiju oko 20 kJ.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94 (1995), br. 12

Mrk

POVEĆANJE SNAGE PARNIH TURBINA

Pokazalo se da se određenim konstruktivnim preinakama na postojećim parnim turbinama može povisiti nominalna snaga za 3%. Takva je mogućnost provedena i dokazana preinakom na dvjema niskotlačnim turbinama u švicarskoj nuklearnoj elektrani Gösgen. Preinake su provedene prilikom godišnjeg remonta 1994. Nazivna je snaga od 1. siječnja 1995. porasla bruto od 990 MW (električki) na 1 015 MW (električki), a neto od 940 MW (električki) na 965 MW (električki). U tijeku 1995. bit će tako pregrađena i treća turbina.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94 (1995), br. 12

Mrk

VLASTITI POTROŠAK NJEMAČKIH ELEKTRANA

Njemačke su elektrane potrošile za svoje vlastite potrebe oko 7,2% svoje proizvodnje. Elektrane zapadnog dijela zemlje imale su nešto niži potrošak od 7%, a u istočnom dijelu 8,9%. To povećanje vlastitog potroška izaziva intenzivni pogon termoelektrana na smeđi ugljen. Osim toga, u tom dijelu Njemačke tehnike za racionalni potrošak energije još nisu toliko napredovale.

ETZ, god. 116 (1995), br. 6/7

Mrk

KONKURENTNA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

U Europskoj uniji (EU) proizvedeno je 1993. ukupno 1 683 milijarde kWh, a od toga u industrijskim i privatnim elektranama više od 9%. Najveći udio takve proizvodnje bio je u Luksemburgu (52,3%), zatim u Nizozemskoj (18,7%) i Italiji (15,9%). Najmanji udio imala je Danska (1,8%) i Irska (1,7%). Jaka konkurencija u proizvodnji električne energije ipak nije kriterij za nisku cijenu struje. Tako je cijena struje u Italiji najviša od zemalja EU, dok su cijene u Danskoj vrlo povoljne.

ETZ, god. 116 (1995), br. 9

Mrk

SVJETSKI VODNI POTENCIJALI

Svjetski vodni potencijal koji se može praktički iskoristiti iznosi 3 000 GW, s mogućnošću proizvodnje energije od okruglo 13 000 TWh godišnje. Tom bi se energijom moglo zadovoljiti oko dvije trećine potrebne električne energije u svijetu prognozirane za godinu 2010. Danas vodne snage pokrivaju 20% svjetske potrošnje električne energije. Otprilike dvije trećine ekonomski iskoristivoga vodnog potencijala nalazi se u južnim zemljama, prvenstveno u Aziji i Južnoj Americi. Dok su u Sjevernoj Americi i Europi vodne rezerve gotovo potpuno iskorištene, u Aziji, Južnoj Americi i Africi iskorišteno je tek 10%. Na primjer, Azija raspolaže korisnim potencijalom od 751 GW, prema instaliranoj snazi od 110 GW. Slični odnosi vrijede i za Srednju i Južnu Ameriku.

ETZ, god. 116 (1995), br. 10

Mrk

U NJEMAČKOJ SE PROŠIRUJE LOŽENJE ZEMNIM PLINOM

Prema procjeni poduzeća Ruhrgas AG, Essen, u 1994. godini zemni je plin potisnuo loživo ulje za grijanje stanova. Zemnim se plinom grijalo 35,5% stanova, a udio grijanja loživim uljem pao je od 34,8% na 34,4%. Udio ugljena i daljinskoga grijanja iznosio je 11,9%, a električne energije samo 6,9%. U tijeku minulih deset godina troškovi su grijanja u zapadnom dijelu Njemačke znatno sniženi. Razlog su snižene cijene loživog ulja i bolje iskorištenje goriva. Prema studiji Instituta za gospodarsko unapređenje (München) pokazuje se da troškovi grijanja zemnim plinom leže 10% ispod troškova grijanja loživim uljem, a 13% ispod troškova daljinskog grijanja. To objašnjava da se u 1994. godini u zapadnom dijelu Njemačke 70% investitora odlučilo za grijanje stanova zemnim plinom, a u istočnom dijelu čak 80%. Udružene elektrane Westfalije predviđaju da će početkom sljedećeg stoljeća u grijanju prostorija udio loživig ulja iznositi 41%, zemnog plina 38%, 8% daljinsko grijanje i elektrika, a 5% ugljen.

ETZ, god. 116 (1995), br. 10

Mrk

USKORO MOŽDA PREMALO DIPLOMIRANIH INŽENJERA U NJEMAČKOJ

Broj upisanih brucoša na elektrotehniku u prošlih je pet godina pao od nekih 10 000 na nešto ispod 4 000. Razlog je tome da diplomirani inženjeri elektrotehnike za sada teško dobivaju odgovarajući posao, no prognozira se znatno poboljšanje. S jedne strane raste potreba za diplomiranim elektroinženjerima u elektroindustriji, a s druge se pak strane, zbog poodmaklih godina inženjera, oslobađa oko 3 000 radnih mjesta.
Ako se uzme da oko polovice upisanih završava studij, trebalo bi da njih 6 000 započne studij. Prema tome, danas manjka oko 2 000 brucoša godišnje. U suradnji s organizacijama za savjetovanje studija i uredima za zapošljavanje treba opet preporučati studij elektrotehnike.

ETZ, god. 116 (1995), br. 10

Mrk

NAJVEĆA SVJETSKA ELEKTROPRIVREDNA PODUZEĆA

Danas, kad se u svijetu mnogo radi na prestrukturiranju i reorganizaciji elektroprivrednih poduzeća, zanimljivo je pogledati podatke o količini električne energije koju najveća takva svjetska poduzeća isporučuju svojim potrošačima (podaci 1993).

Poduzeće	Zemlja	TWh
EdF Electricité de France	Francuska	347
Tokyo Electric	Japan	244
ENEL Ente Nazionale per I' Energia Electtrica	Italija	214
TVA Tenessee Valley Authority	SAD	147
RWE Rheinische Westfälische Elektrizitätswerke	Njemačka	121
AEP American Electric Power Co.	SAD	118

Electric Power, 4. kv. 1994.

Mrk

SMRTNE NESREĆE OD ELEKTRIČNOG UDARA

Unatoč vrlo strogim sigurnosnim VDE propisima u Njemačkoj se ipak pogiba od udara električne struje. Prema statističkim podacima 1989. bila je ukupno 121 takva nesreća, 1992. – 152, a 1993. – 113. To je doduše vrlo malo u usporedbi s brojem smrtnih nesreća u prometu, kojih je godišnje oko 20 000, no svaki se slučaj pomno ispituje kako bi se mogle donijeti dodatne zaštitne mjere. Godine 1991. izrađena je studija o smrtnim nesrećama od strujnog udara za razdoblje 1968 – 1990. Utvrđeno je da je u velikoj većini slučajeva uzrok nesreće bila lakomislenost, bilo da su nestručnjaci uređaje popravljali ili ugrađivali. To dokazuje da su se gotovo sve nesreće mogle izbjeći. Trećina nesreća dogodila se u kućanstvima, i to razmjerno manje u istočnom nego u zapadnom dijelu Njemačke.

Elektric, god. 49 (1995), br. 4

Mrk

ELEKTROAUTOMOBILI U CESTOVNOM PROMETU

U godini 1994. u Njemačkoj je u cestovnom prometu bilo 4 400 elektroautomobila, koji su uglavnom služili za dostavu unutar grada. Navedena brojka čini se dosta velikom, ali

je to tek 0,01% od sveukupnih motornih vozila kojih ima u Njemačkoj 41,3 milijuna. Prednost je takvih vozila upravo u tome da mnogo manje od motornih vozila zagađuju okoliš. Stručnjaci iz elektroprivrede tvrde da bi u prometu moglo biti oko 10 milijuna elektroautomobila, što bi prouzročilo povećanje potroška električne energije samo za 5%, što još uvijek ne bi tražilo izgradnju novih elektrana.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94 (1995), br. 5

Mrk

MOGUĆNOST ZAPOSLENJA ELEKTROINŽENJERA U NJEMAČKOJ

U rujnu 1994. bilo je u zapadnom dijelu Njemačke nezaposleno 11 000 elektroinženjera, a to je 14% više nego prethodne godine. Od toga je njih 4 500 imalo sveučilišnu diplomu, a 6 500 završilo je visoku stručnu školu. U istočnom dijelu Njemačke bilo je 3 100 nezaposlenih elektroinženjera, od toga 2 400 diplomiranih. Nezaposlenost je stalno rasla od 1986, kad je bilo 2 100 nezaposlenih, zatim 1990. — 4 500, a 1994. — 14 100. Tek početkom 1995. potražnja za elektroinženjerima lagano se povećala. Najviše izgleda za zaposlenje imaju inženjeri s praksom, sa znanjem tehnike automatizacije, razvijanja softwera i instalacija u zgradama. Posebno se cijene znanje rada na kompjutoru i znanje stranih jezika. Početnici teško pronalaze mjesto.[1]

ETZ, god. 116 (1995), br. 18

Mrk

EMISIJA UGLJIČNOG DIOKSIDA

Prema zaključku Svjetske konferencije o klimi emisiju ugljičnog dioksida treba smanjivati, no prognoze govore drukčije. Glad za energijom u svijetu traži povećanu upotrebu fosilnih goriva, a time se povećava i emisija ugljičnog dioksida. Trend povećanja potroška energije u svijetu u milijardama tona ekvivalentne nafte (10 000 kgcal) i povećanja emisije ugljičnog dioksida također u milijardama tona daje sljedeća tablica.

Godina	1971.	1992.	2000.	2010.
Potrošnja energije mld. t	4,9	7,9	8,8 – 9,1	10,7 – 11,5
Emisija CO_2 mld. t	14,7	21,1	23,2 – 24,1	28,2 – 30,7

Mjere da se smanji štetna emisija sastoje se u štednji energije i povećanju uporabe nuklearne i obnovljive energije.

ETZ, god. 116 (1995), br. 18

Mrk

ELEKTRIČNO ČIŠĆENJE ISPUŠNIH PLINOVA

Katalizatori ugrađeni u motorna vozila ne mogu dovoljno pročistiti ispušne plinove od ugljikovodika i dušičnih oksida. Dodatkom električnog pročišćivača, koji je razvijen u Fraunhoferovom institutu u Achemu, moguće je i ove plinove učiniti neškodljivim. U dodatnom pročišćivaču plinovi prolaze kroz komoru u kojoj se vrši pulsirano električno izbijanje, što razdvaja dušične okside na dušik i kisik. Ovakav postupak traži dodatnu energiju pa se nastoji da ona bude što manja. Stručnjaci nastoje to postići kombinacijom električnog izbijanja i stijenkama koje djeluju katalitički, kao npr. staklo ili keramika.

ETZ, god. 116 (1995), br. 19

Mrk

PIEZOKERAMIČKI TRANSFORMATOR

Poduzeće Philips Components uspješno je završilo razvojna ispitivanja potrebna za proizvodnju piezoelektričnog transformatora. Takvi transformatori koji rade na bazi piezoelektriciteta vrlo su maleni, lagani i pouzdani, bez rasipnih magnetskih tokova. Piezoelektrični materijali pokazuju kod jednoosnog pritiska električku polarizaciju i, obrnuto, izvana narinuto električno polje dovodi do rastezanja ili kompresije. Za razliku od postojećih transformatora, koji koriste magnetsku energiju za posredovanje, kod piezoelektričnih transformatora električna se energija pretvara u mehaničku. Sekundarni napon, a time i odnos transformacije, ovisi o osobinama piezoelektričnog materijala, geometrijskog oblika transformatora, kao i električne sheme spoja. Kao primjer dani su podaci za takav izvedeni uređaj. Laboratorijski izvedenom transformatoru narinut je primarni napon od 1,5 V, a na sekundarnoj strani, u praznom hodu, dobiven je napon od 160 V, a pri opterećenju od 500 oma 70 V. Maksimalna korisnost iznosila je 30%. Moguća primjena je područje elektronike.

ETZ, god. 116 (1995), br. 19

Mrk

OTKRIVENO NOVO AGREGATNO STANJE

Znanstvenici Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju (NIST – Colorado USA) uspjeli su dokazati novo stanje materije pri ekstremno niskim temperaturama. Takvo se stanje naziva Bose-Einstein kondenzat, a bilo je pretskazano već prije 70 godina od Alberta Einsteina i Satgendra Nath Bose. Istraživači su u NIST ohladili rubidijeve atome na 170 nK (nano Kelvina). Pri toj se temperaturi atomi spajaju u »superatom« koji se ponaša kao čestica. Prije nego je ta čestica bila fotografirana temperatura je snižena na 20 nK, što je dosad najniža postignuta temperatura.

ETZ, god. 116 (1995), br. 19

Mrk

NUKLEARNA ENERGIJA U EU

Zemlje Europske unije (EU) pokrivaju svoje potrebe u električnoj energiji u vrlo različitim količinama iz nuklearnih elektrana. Od 15 zemalja Unije nuklearnom energijom koristi se tek 8. Francuska, Belgija i Švedska više od polovice potrebne električne energije dobivaju iz nuklearki. Italija nema nuklearne elektrane, ali električnu energiju uvozi iz Francuske koja je najjača u proizvodnji iz nuklearnih elektrana.

Udio (u postocima) električne energije dobivene iz nuklearki u ukupnoj proizvodnji električne energije tijekom 1994. za osam zemalja članica EU daje sljedeća tablica.

[1] Vidjeti Energija, god. 44 (1995), br. 1 i 2.

Zemlja	Udio u postocima
Francuska	75
Belgija	56
Švedska	51
Španjolska	34
Finska	30
Njemačka	29
Velika Britanija	27
Nizozemska	6

ETZ, god. 116 (1995), br. 19

Mrk

GUSTOĆA SNAGE OBNOVLJIVE ENERGIJE

Obnovljiva energija vode, vjetra i sunca, uzimajući sasvim računski, više je nego dostatna da pokrije sve energetske potrebe svijeta. No, poteškoća je u njezinu korištenju, što traži velike površine i vrlo često ima malu gustoću snage. Prema istraživanjima se pokazalo da je energetska gustoća vode pri brzini 6 m/s 100 kW/m². Energija vjetra varira između 0,1 kW/m² i 1 kW/m², dok energija Sunčeva zračenja u Srednjoj Europi iznosi 0,12 kW/m². U usporedbi s tim podacima iznosi gustoća toplinske struje na košuljici gorivog elementa nuklearne elektrane 650 kW/m².

ETZ, god. 116 (1995), br. 19

Mrk

NUKLEARNA ELEKTRANA BITNO SMANJUJE EMISIJU UGLJIČNOG DIOKSIDA

Proizvodnjom električne energije tijekom 1994. u njemačkim nuklearnim elektranama od 151 TWh izbjegnuta je emisija od 150 milijuna tona ugljičnog dioksida. Od početka uporabe nuklearne energije u Njemačkoj 1961. do danas proizvedeno je u nuklearkama 2 123 TWh električne energije, čime je smanjeno opterećenje atmosfere za 2 milijarde tona ugljičnog dioksida. Ta bi količina bila emitirana da se navedena električna energija proizvela u klasičnim termoelektranama.

Elektrizitätswirtschaft, god. 94 (1995), br. 5

Mrk

BIOMASA KAO DODATNO GORIVO U TERMOELEKTRANAMA

Bavarska elektroprivreda namjerava u svojoj termoelektrani Schwandorf upotrijebiti biomasu kao dodatno gorivo smeđem ugljenu. Pri tome ne bi se u elektrani činile nikakve preinake na postrojenju. Navedenim načinom loženja namjerava se smanjiti emisija ugljičnog dioksida i drugih štetnih plinova. Biomasa bi dolazila u elektranu u prešanom stanju kao briketi, a sastojala bi se od slame i biljnih ostataka. Biljni bi se materijal najprije usitnio, zatim osušio na 10% do 20% vlage i pod jakim pritiskom prešao u brikete. U planu su ispitivanja od jeseni 1995. i tijekom 1996. izgaranjem u kotlu bloka od 105 MW. U smjesi sa smeđim ugljenom bilo bi biomase u gorivoj vrijednosti 5% do 20% gorive vrijednosti ugljena.

Pokusnim loženjem trebalo bi razjasniti:

- kako se ponaša biomasa pri izgaranju
- kakav je sastav pročišćenih dimnih plinova
- pokazuje li se neki negativni utjecaj na uređaje za pročišćavanje
- kakav materijal ostaje poslije izgaranja
- kakva je najpovoljnija priprema biomase
- kakvi se logistički problemi pojavljuju.

Do kraja 1996. znat će se mogući rizici i troškovi ovakve tehnike.

ETZ, god. 116 (1995), br. 18

Mrk